

GIPFELFLUG BEI MITTERNACHTSSONNE

DAS LETZTE WORT HAT DER WIND: Die Mission MAPHEUS-5

ENERGIE BESSER SPEICHERN: Batteriesysteme der nächsten Generation

EINE FRAGE DER OPTIK: Werkstoffproben und wilde Schönheiten





Bild: DLR/Gesine Born

Liebe Leserinnen und Leser,

der für hiesige Breiten ungewöhnlich heiße Sommer hat sich hoffentlich noch nicht verausgabt. Für den Tag der Luft- und Raumfahrt am 20. September hätten wir schon gern noch trockenes und sonniges Wetter. Die Luftfahrtausstellung, Bühnenprogramme für Groß und Klein sowie das Rahmenprogramm machen bei Sonnenschein einfach noch mehr Spaß. Und auch den Wissenschaftlern in den Kölner DLR-Instituten ist das Wetter nicht ganz egal, zumindest nicht den Kollegen vom Sonnenofen. Das Wetter macht aber auch Versuchskampagnen ab und zu einen Strich durch die Rechnung. So geschehen beim Start der MAPHEUS-5-Forschungsrakete in Kiruna am Polarkreis, wo der Wind das letzte Wort für den Countdown hatte. Mit welchen Tücken die Teams vor Ort zu kämpfen hatten, lesen Sie in unserer Reportage.

Es läuft eben nicht immer alles nach Plan, auch nicht bei akribisch vorbereiteten Flugversuchen. Da kann ein verschlossenes Tor, das unser Forschungsflugzeug Falcon in einem Hangar auf Island vorübergehend gefangen hielt, schon mal den Schweiß auf die Stirn treiben. Denn auch für das Vermessen von Windfeldern in der Atmosphäre gab es ein „Wetterfenster“.

Doch bevor der Eindruck entsteht, DLR-Forscherinnen und -Forscher sind permanent unterwegs: Wir berichten auch vom hiesigen Alltag: Denn der hält ebenso besondere Geschichten bereit: Etwa die von Albert Manero, der sich mit zerstörungsfreien Tests von Materialien für die Luft- und Raumfahrt befasst und sich nebenbei in einem „Collective Project“ engagiert. Darin geht es um Prothesenfertigung mittels 3D-Druck und die freie Verfügbarkeit der Daten dafür. Sein Motiv: Kein Kind soll für seine Prothese bezahlen müssen. Oder wir begegnen Dr. Klemens Kelm, der sich als Werkstoffforscher mit Rasterelektronenmikroskopie beschäftigt. Nach Feierabend fotografiert er auf dem Gelände des DLR wilde Orchideen. – Alles eine Frage der Perspektive – und des Wetters ...

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation



DIE MISSION MAPHEUS-5

8



MIT DER FALCON ÜBER ISLAND UND GRÖNLAND

26



BATTERIESYSTEME DER NÄCHSTEN GENERATION

16



DER EUROPÄISCHE TRANSSCHALL-WINDKANAL ETW

46



KOMMENTAR

4

DLRmagazin 147

KOMMENTAR	4
MELDUNGEN	5
DAS LETZTE WORT HAT DER WIND Die Mission MAPHEUS-5	8
ENERGIE BESSER SPEICHERN Grundlagen für Batteriesysteme der nächsten Generation	16
IN EINEM BETT AUS KLEINEN KISSEN Thermalschutzsystem beim Wiedereintritt des ATV-5	20
TABLET AM STEUER – ABER SICHER Fahrerassistenzsysteme sprechen mit mobilen Geräten	24
GIPFELFLUG BEI MITTERNACHTSSONNE Mit der Falcon über Island und Grönland	26
RASANTE ENTWICKLUNG UND ZÄHER VERKEHR Interview mit dem Verkehrssystemtechniker Dipl.-Ing. Alexander Sohr	34
STERNE UND FLUGHÄFEN Astronomen und Luftfahrtforscher verbindet mehr als der Blick zum Firmament	36
VERSTEHEN, WIE DER SCHADEN ENTSTEHT Neuer Prüfstand zeigt, wie Vulkanasche auf Flugzeugturbinen wirkt	38
EINE FRAGE DER OPTIK Interview mit Dr. Klemens Kelm zu präparierten Proben und wilden Schönheiten	40
DINGE VERÄNDERN Albert Manero – Werkstoffforscher mit einem bewegenden Projekt	44
EUROPAS VORZEIGEWINDKANAL STEHT IN KÖLN Teil 7 der Serie „Die Windmaschinen“	46
IN MUSEEN GESEHEN	50
REZENSIONEN	53

MIT DEM DLR IN DIE ZUKUNFT

Von Pascale Ehrenfreund

2015 wird vieles anders. Eine neue Aufgabe für mich. Gesellschaftliche Entwicklungen, die unser ganzes Wissen, unsere ganze Schöpferkraft herausfordern. Globale Fragen, bei deren Beantwortung wir mit unseren bisherigen Erfahrungen an Grenzen stoßen.

Als Vorstandsvorsitzende an der Spitze des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt zu stehen, ist in der Tat eine neue große Aufgabe für mich. Sie geht zwangsläufig mit Veränderung einher: Verantwortung für 8.000 Beschäftigte an 16 Standorten. Themen aus Luft- und Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit, von denen manche für mich neu sind. Doch wird damit alles anders? Ich bin Astrophysikerin. Mit Raumfahrtthemen bin ich sehr vertraut. Ich war an vielen Raumfahrtmissionen sowie Experimenten auf der Internationalen Raumstation beteiligt. Meine Professur am Space Policy Institute der George Washington University (DC) ist gelebte Erfahrung in Raumfahrtpolitik. Als Präsidentin des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) Österreichs habe ich mich intensiv mit der Förderung der Grundlagenforschung und mit ihrem Einfluss auf die Innovationskette auseinandergesetzt.

Es geht hier aber auch nicht um mich. Es geht um das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Das DLR mit seinem Portfolio an Forschungsaktivitäten gehört weltweit zu den führenden Einrichtungen. Diese in eine herausfordernde Zukunft zu führen, ist eine interessante und ehrenvolle Aufgabe. Sie zu übernehmen, war für mich ein großer Wunsch. Mit den Forschungsergebnissen, die hier erzielt werden, werden nicht nur Kernbereiche der deutschen Industrie gestärkt, sondern das DLR liefert auch wichtige Lösungsmöglichkeiten für die globalen Herausforderungen unserer Zeit: Klimaschutz, Nutzung neuer Energieformen, nachhaltige Mobilität, Kommunikation und Navigation in neuer Qualität. Für ein führendes Forschungszentrum wie das DLR ist „Frontier research“ essenziell. Die zunehmende Bedeutung radikaler Innovationen erfordert mehr Risikobereitschaft in der Forschung. Sonst ist auf Dauer kein Fortschritt möglich.

Das DLR verfügt über den Schatz mehr als einhundertjähriger Erfahrung in der Luftfahrt. Es ist der Platz in Deutschland, an dem Raumfahrtforschung und Raumfahrtmanagement zu Hause sind. In Energie- und Verkehrsforschung hat sich das DLR in den letzten Jahrzehnten wichtige Kernkompetenzen angeeignet. Als Forschungseinrichtung, Raumfahrtagentur und Projektträger ist das DLR eine einzigartige Einrichtung mit hohem Synergiepotenzial. Wenn wir dieses Potenzial durch eine intensivere Zusammenarbeit aller Bereiche nutzen, darin bin ich mir sicher, kann das DLR noch mehr leisten. Darüber hinaus halte ich es für ganz wichtig, die europäische und internationale Vernetzung des DLR zu stärken. Keine Nation kann allein die Probleme der Welt, wie sie sich uns heute zeigen, lösen.

2015 ist ein Jahr der Veränderung, für mich und auch für das DLR. Das DLR muss sich dazu aber nicht neu erfinden. In seiner strategischen Ausrichtung sind wichtige Basisbausteine für die weitere Entwicklung gesetzt. Sie mit Leben zu erfüllen, die internationale Zusammenarbeit als große Chance zu begreifen, in den Industriekooperationen den innovativen Spirit wie einst im Silicon Valley zu fördern, Wissen für Morgen in diesem EINEN DLR zu generieren, das ist eine großartige Aufgabe.

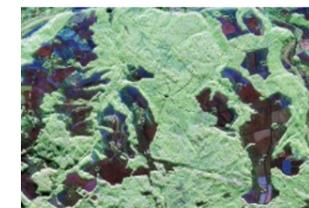
Prof. Dr. Pascale Ehrenfreund, seit August 2015
Vorstandsvorsitzende des DLR



BLICK DURCH DAS DICKICHT

Radar erlaubt Vermessung von Waldgebieten in drei Dimensionen

Für dreidimensionale Bilder von Waldgebieten haben das DLR und die NASA neue Radartechnologien und deren Nutzung zum Ermitteln verschiedener Parameter – wie Höhe oder vertikale Struktur des Waldes – erfolgreich getestet. Für die Bilder kam das vom DLR entwickelte F-SAR-System zum Einsatz. Bei der SAR-Technologie (Synthetic Aperture Radar) werden Oberflächen mit elektromagnetischen Wellen abgetastet. Auf der Grundlage der gewonnenen Daten kann dann ein dreidimensionales Bild erstellt werden. Bei einem Waldgebiet ist das allerdings nicht so einfach, denn nur wenige Sensoren sind in der Lage, durch das dichte Blattwerk zu blicken. Mit seinem F-SAR-System entwickelte das DLR eine Radartechnologie, mit der Waldgebiete in hoher Auflösung dreidimensional von den Wipfeln bis zum Boden abgebildet und so Strukturen sichtbar gemacht werden können. Das System erlaubt Messungen in mehreren Wellenlängen gleichzeitig, womit die verschiedenen Ebenen eines Gebiets genauer erfasst werden können.



Polarimetrische Radaraufnahme eines Waldgebiets bei Traunstein, aufgenommen durch den F-SAR-Sensor. Waldgebiete erscheinen in Grün, Oberflächen mit niedriger Vegetation in Blau/Rot.

Das Ziel solcher Messungen ist es, anhand der Struktur des Waldes dessen Biomasse zu bestimmen. Diese hat als Kohlenstoffspeicher Einfluss auf den Treibhauseffekt. Die Radartomografie eröffnet so neue Möglichkeiten, um einen grundlegenden Klimafaktor zu bestimmen. Als nächsten Schritt wollen die DLR-Wissenschaftler die 3D-Radarvermessung von Waldgebieten für den Regelbetrieb etablieren und auch für Satelliten einsetzbar machen.

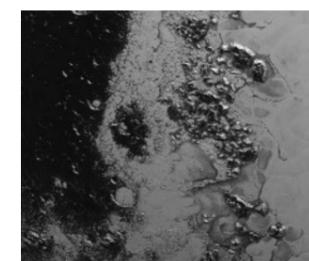
s.DLR.de/97tw

BIS AN DEN RAND DES SONNENSYSTEMS

NASA-Sonde New Horizons besucht den Kuiper-Gürtel

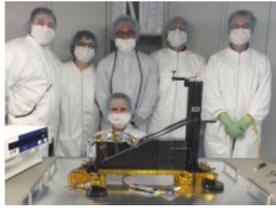
Sie ist auf einer Reise durch eine Region am äußersten Rand des Sonnensystems: Die NASA-Sonde New Horizons passierte bei ihrem Weg durch den Kuiper-Edgeworth-Gürtel den Zwergplaneten Pluto und seine Monde. Dabei gelang es, Details und Oberflächenstrukturen in bisher nie erreichter Deutlichkeit sichtbar zu machen. Nach einer neunehalb Jahre währenden Reise hatte die Raumsonde am 14. Juli 2015 in einer Entfernung von etwa 4,9 Milliarden Kilometern zur Erde den Zwergplaneten und seinen Mond Charon passiert. Aus einer Distanz von 12.500 Kilometern konnten in insgesamt sieben wissenschaftlichen Experimenten Fotos, Spektren und physikalische Messwerte aufgezeichnet werden.

„Besonders verblüffend war die hohe geologische Aktivität von Pluto, was ihn für Planetenwissenschaftler besonders interessant macht. Seine Oberfläche ist durch Vulkanismus viel jünger als beispielsweise die des Jupiter-Mondes Kallisto. Die Strukturen entstanden aber nicht durch silikatische Lava, wie auf der Erde, sondern auf Pluto ergossen sich flüssige Eismische über die Oberfläche“, kommentiert Prof. Dr. Tilman Spohn vom DLR-Institut für Planetenforschung die Bilder. Das DLR Raumfahrtmanagement förderte im Auftrag der Bundesregierung die Beteiligung am REX-Experiment (Radio Science Experiment). Dieses sondierte mit Radiowellen die Atmosphäre, erfasste die Oberflächentemperaturen und bestimmte die Einzelmassen von Pluto und Charon. Neben REX befinden sich auch drei optische Geräte, zwei Plasma-Instrumente und ein Staubdetektor an Bord von New Horizons. Nach dem erfolgreichen Vorbeiflug an Pluto setzte die Sonde ihren Weg durch den Kuiper-Edgeworth-Gürtel fort und liefert weiter Daten vom Rand des Sonnensystems.



Pluto aus einer Entfernung von 768 Kilometern, aufgenommen von der Telekamera LORRI an Bord der Sonde New Horizons. Darunter: Bergkette im Herzen des Zwergplaneten.

s.DLR.de/f10u



„MAULWURF“ HP³ BEGANN SEINE GROSSE REISE

Zur Komplettierung der nächsten Mars-Mission der NASA wurde ein wichtiges Gerätepaket fertiggestellt. Der „Maulwurf“ für den Landeroboter hat die erste Etappe seiner Reise zum Mars angetreten.

Am 5. August 2015 wurden die noch fehlenden Komponenten des HP³-Experimentpakets für den NASA-InSight-Lander in die USA geschickt. Dort wird das Instrument, dessen Name sich aus Heat Flow and Physical Properties Package ableitet, auf dem Lander angebracht und dann auf Herz und Nieren getestet. Im März 2016 öffnet sich dann das Startfenster für den Flug zum Mars; gelandet wird am 20. September 2016. InSight ist ein geophysikalisches Observatorium für den Mars mit einer Wärmeflussmesssonde vom Institut für Planetenforschung und sechs weiteren DLR-Instituten sowie einem Seismometer aus Frankreich (mit deutscher Beteiligung).

NEUER EUROPÄISCHER WETTERSATELLIT

Ein neuer Satellit verstärkt seit 15. Juli 2015 die Flotte der Wetterwächter im All: MSG-4 wurde mit einer Ariane-5-Rakete vom Weltraumzentrum Kourou in Französisch-Guyana ins All gebracht. MSG-4 (METEOSAT Second Generation) ist der letzte von vier Satelliten der zweiten METEOSAT-Generation und wird die primäre Datenquelle für die Wettervorhersage und die Echtzeitwarnsysteme des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sein. Eine Hauptaufgabe der MSG-Satelliten ist es, extreme Wetterereignisse wie Starkregen, Hagel oder Sturm vorherzusagen und so die Schäden zu reduzieren, die durch Unwetter entstehen können. Dazu dreht sich der 2,4 Meter hohe tonnenförmige Satellit etwa 100-mal pro Minute um seine parallel zur Erdrotationsachse ausgerichtete Längsachse. Dabei scannt er die Erde zeilenweise ab.



SCHNELLERE BEHANDLUNG IM NOTFALL

Eine schnellere Kommunikation zwischen medizinischem Fachpersonal, Patienten und den einzelnen Fachkliniken ist Ziel des Projekts MA-RIKA. Es trägt dem wachsenden Schlaganfall- und Herzinfarkttrisiko einer älter werdenden Gesellschaft Rechnung. Dazu entwickelt das DLR derzeit zusammen mit der Universität Münster, der opwoco GmbH und der metacrew consulting GmbH ein Kommunikationssystem für Rettungsdienste und Bürger. So wird die Suche nach der optimal behandelnden Klinik und dem passenden Arzt verbessert, damit im Notfall schneller richtig geholfen werden kann. Die Grundlagen für das Projekt bieten Apps, die dem Fachpersonal eine engere Zusammenarbeit untereinander, mit direkter Kontaktaufnahme, ermöglichen sollen.



SONNE SCHMILZT ALUMINIUM

Südafrika hat Sonnenenergie im Übermaß und gleichzeitig eine große Anzahl an aluminiumverarbeitenden Industriebetrieben. Im Projekt SOLAM (Solares Schmelzen von Aluminium in einem direkt bestrahlten Drehrohrföfen) erarbeiten Wissenschaftler und Unternehmen aus Südafrika und Deutschland ein Verfahren, um es Aluminium-Gießereien zu ermöglichen, Sonnenenergie zum Schmelzen des Metalls einzusetzen. Damit könnten die Betriebe ihren Stromverbrauch und den Ausstoß von Kohlendioxid deutlich reduzieren. Dazu wird in einem „solaren Drehrohrföfen“ Aluminiumschrott geschmolzen. Durch die Drehbewegung des Ofens wird er gleichmäßig mit der Energie der Sonne erhitzt. Die benötigten Temperaturen von etwa 700 Grad Celsius erreichen die Forscher durch die Konzentration der Sonnenstrahlung mit Solarspiegeln.



WENIGER FLUGLÄRM UND BESSERE HUBSCHRAUBER

Zur Flugzeuglärmsimulation und Hubschrauber-aerodynamik vereinbarten die NASA und das DLR, intensiver zusammenzuarbeiten. Sie wollen hochgenaue Lärmvorhersagen für zwei virtuelle Flugzeugkonfigurationen erstellen. Als Basis werden akustische Messdaten herangezogen, die das DLR bei früheren wissenschaftlichen Flügen mit dem mittlerweile außer Dienst gestellten DLR-Forschungsflugzeug VFW/614 ATTAS sammelte. Das zweite Abkommen bezieht sich auf die Entwicklung einer neuen Abbildungstechnik, um die Luftströmung über den Rotorblättern eines Helikopters während des Fluges zu untersuchen. NASA- und DLR-Wissenschaftler wollen herausfinden, wo genau an den Rotorblättern die Strömung turbulent wird und den Auftrieb schwächt. Die neue Abbildungstechnik soll auch helfen, die Struktur des Hauptrotorwirbels im Vorwärtsflug detailliert zu erfassen.

MEHRZWECK-SATELLIT FÜR BILDER AUS DEM ALL

Der aktuelle „Korean Multi Purpose Satellite“, KompSat3a, leistet seit seinem Start am 25. März 2015 ganze Arbeit. Die Auswertung der Bilder zeigt, dass die elektronische Kamera-Einheit präzise arbeitet. Der Satellit mit einem hochauflösenden optischen Instrument sowie einer Infrarot-Facility an Bord gehört zu einem Satellitenprogramm des Korea Aerospace Research Institute (KARI). Das DLR-Institut für Optische Sensorsysteme entwickelte die Fokalebene sowie den Fokussierungsmechanismus des optischen Kanals und sorgt unter anderem dafür, dass die Aufnahmen die richtige Schärfe haben. Einsatzmöglichkeiten für KompSat3a sind die Schiffsdetektion, aber auch die Erfassung von „Hot spots“, also Hochtemperaturereignissen.



www.udo-geisler.de



HÖHENFLUG MIT SOLAREM GLEITER

Im Experiment HABLEG (High Altitude Balloon Launched Experimental Glider) hat ein DLR-Team ein unbemanntes Segelflugzeug für Forschungsflüge sowie eine neue Methode für den Höhenflug entwickelt. Das kleine Fluggerät wurde mit Hilfe eines Ballons in 20 Kilometer Höhe gebracht und dort automatisch in den Gleitflug überführt. Dies ist der erste erfolgreiche Flug dieser Art in Europa. Unbemannte Solarflugzeuge können bezüglich ihrer Einsatzhöhe Lücken zwischen Flugzeugen und Satelliten schließen. Sie lassen sich schnell positionieren, sind flexibel einsetzbar und erzielen eine große Reichweite. Die Stratosphäre bei rund 20 Kilometer Höhe gilt als optimal für die Nutzung zur flächendeckenden Internetversorgung, für Kommunikationsnetzwerke in Krisengebieten oder für Forschungen zum Schutz von Umwelt und Klima.



TAPELEGER FÜR FORSCHUNG AN FERTIGUNGSPROZESSEN

Ob in der Luft- und Raumfahrt oder im Automobilbereich – extrem leichte und gleichzeitig sehr schadenstolerante Bauteile aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen sind von großem Interesse für die Industrie. Mit Hilfe einer neuen, hochmodernen Anlage erforscht das DLR, wie die Fertigung effizienter gestaltet werden kann. Mit der rund 2,2 Millionen Euro teuren Anlage soll als erstes Projekt ein spezielles Triebwerksblatt hergestellt werden, das sich durch eine wesentlich höhere Schadenstoleranz auszeichnet und gleichzeitig um bis zu zwei Drittel leichter ist als Strukturen aus Titanmetall. Anders als im Metallbau, wo ein Bauteil oft aus einem größeren Materialblock herausgearbeitet wird, wird in diesem Fall nur dort Material abgelegt, wo man es auch benötigt.

PLASMAFORSCHUNG: NEUES LABOR AUF DER ISS

Für die Plasmaforschung auf der Internationalen Raumstation ISS ging im Juni 2015 eine neue Forschungseinheit in Betrieb: das Plasmakristall-Labor PK-4. Die DLR-Forschungsgruppe Komplexe Plasmen hat die Funktionsfähigkeit der Laboreinheit getestet und bestätigt. Mit dem Plasmakristall-Labor lässt sich in der Schwerelosigkeit die Bewegung einzelner Teilchen beobachten. Physikalische Prozesse, die auf Atom- oder Molekülebene ablaufen und normalerweise nicht zu sehen sind, werden sichtbar – und können gezielt untersucht werden. Die nächsten PK-4-Experimente sollen unter anderem Teilchenladungen und Ionenreibungskräfte bestimmen. Diese Größen sind grundlegend für das Verständnis der Experimente auf der Raumstation.



REGIONALMELDUNGEN

STUTTGART. Ein Reparaturkonzept für Strukturen aus faserverstärktem Kunststoff könnte diese für Flugzeug- und Automobilbau wettbewerbsfähiger machen. Es sieht vor, die Schadstelle per Laser abzutragen, diese dann mit einem mittels Induktion erwärmten Blech für eine Art Pflaster vorzubereiten und schließlich den Patch unter Druck und Temperatur aufzupressen. Bisher bedeutet ein Schaden an einer Kunststoffstruktur, dass diese komplett ersetzt werden muss.

BRAUNSCHWEIG. Ein System, das vor unbeschränkten Bahnübergängen warnt, kann auch unabhängig von der Bahn-Infrastruktur funktionieren. „PeriLight“ basiert auf einer LED-Blitzlichtquelle, die neben den Gleisen, etwa 50 Meter links und rechts vom Bahnübergang, angeordnet wird. Passiert der Autofahrer einen Fahrbahn-Sensor, wird automatisch ein Lichtpuls ausgelöst, der Autofahrer veranlasst, nach links und rechts zu schauen.

KÖLN. Mit der Studie „SpaceCOT“ untersuchen deutsche und amerikanische Wissenschaftler, wie sich die Verschiebung der Körperflüssigkeiten zum Kopf hin sowie der erhöhte Kohlendioxidgehalt in der Luft auf das menschliche Gehirn und die Augen auswirken. Beides könnte dafür verantwortlich sein, dass bei rund 70 Prozent der Astronauten während und nach mehrmonatigen Langzeitmissionen Sehbeeinträchtigungen auftreten.

GÖTTINGEN. Das gemeinsam vom DLR und dem Architekturbüro Andreas Vogler Studio (AV Studio) entwickelte Zugkonzept „Aeroliner3000“ gehört zu den drei Finalisten des weltweit ausgeschriebenen Wettbewerbs „Tomorrow’s Train Design Today“. Ingenieure, Designer und Architekten waren aufgerufen, innovative Lösungen zu entwickeln, um den Schienenverkehr in Großbritannien fit zu machen für die Zukunft.

BREMEN. Ein neues Labor für Raumfahrtforschung wurde in Bremen eröffnet. In dem aus fünf Räumen bestehenden Labor sollen neuartige Technologien entwickelt werden, die Raumfahrtmissionen möglich machen. Themen von Machbarkeitsstudien sind beispielsweise optische Instrumente, Triebwerke für kleinen Schub und Sensoren.

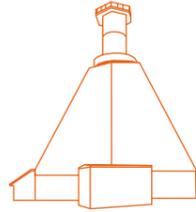
NEUSTRELITZ. Jeweils zehn Studierende aus Deutschland und den USA erhielten im Summer Camp 2015 Einblicke in die aktuelle Weltraumwetterforschung und deren Anwendung. Themen waren unter anderem grundlegende Prozesse in Bezug auf das Plasma im Weltraum und der Zusammenhang von Sonne und Sonnensystem.

MELDUNGEN AUF DER DLR-WEBSITE UND ANMELDUNG FÜR DEN DLR-NEWSLETTER

Alle Meldungen können in voller Länge und mit Bildern oder auch Videos online im News-Archiv eingesehen werden. Möchten Sie die Meldungen per E-Mail zugeschickt bekommen, abonnieren Sie einfach den Newsletter.

DLR.de/news-archiv DLR.de/newsletter

DAS LETZTE WORT HAT DER WIND



MAPHEUS-5 – eine Mission in die Schwerelosigkeit und ihre Tücken

Von Manuela Braun

Eine Bayernfahne an der Wand. Pappbecher, mit Filzschreiber markiert. Schrauben. Drähte. Boxen mit Handschuhen. Vor einer Woche haben die Teams der Mobilien Raketenbasis MORABA, des Instituts für Materialphysik im Weltraum und des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin die Container ausgepackt und sind in die „Church“ gezogen. Diese „Kirche“ nahe Schwedens nördlichster Stadt Kiruna, 200 Kilometer hinter dem Polarkreis, hat allerdings weder etwas Festliches, noch etwas Besinnliches, denn sie ist Werkstatt und Labor zugleich. Die DLR-Ingenieure und -Wissenschaftler starten vom schwedischen Raketenstartplatz Esrange aus regelmäßig Höhenforschungsraketen mit wissenschaftlichen Experimenten an Bord. Im Juni 2015 ist es die fünfte Mission des MAPHEUS-Projekts (Materialphysikalische Experimente unter Schwerelosigkeit). In der „Church“ genannten Halle werden dafür vier Experimente vom DLR-Institut für Materialphysik im Weltraum und vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin für den Flug durch die Schwerelosigkeit vorbereitet und anschließend zusammengebaut. In einer Ecke der Halle arbeitet ein Team der MORABA am Bergungssystem, das dafür sorgen soll, dass alle Experimente auch wieder sicher am Fallschirm zur Erde zurückkehren. Das Team, das für das Service-Modul und somit unter anderem für die Kommunikation vom Boden zur fliegenden Rakete zuständig ist, hat sich in der rechten hinteren Ecke eingerichtet. Mittlerweile ist aus der „Church“ eine Art heimisches Labor geworden.

Sechs Minuten Schwerelosigkeit erlaubt der Flug der MAPHEUS-5-Rakete. Dann sollen im Inneren der goldfarbenen Module vier Experimente ablaufen. In MEGraMa 2.0 (Magnetically Excited Granular Matter) werden acht Magnete wechselweise insgesamt 2.500 kleine Kugeln in Bewegung setzen, anschließend zeichnet eine Kamera auf, wie sie nach den Stoßprozessen wieder zur Ruhe kommen. Im Elektrostatischen Levitator (GOLD-ESL; Gravity Impact on Liquid Drops – Electrostatic Levitation) sollen Proben schwebend geschmolzen werden, also ohne dass sie die Tiegelwand berühren. Die Röntgenradiografieanlage X-RISE soll während des Fluges durch die Schwerelosigkeit Diffusions- und Erstarrungsprozesse mit einer Kamera aufzeichnen. Die Biologen hingegen setzen Arabidopsis thaliana – die Acker-Schmalwand – der Schwerelosigkeit aus und erforschen, wie die Pflanzen auf das Fehlen der Erdanziehungskraft reagieren.

Post aus Brasilien

Aus einer Ecke in der Halle quäkt Musik aus dem Radio. Die Kaffeemaschine ist nur einen Flur weit entfernt. In der Halle brennt das Neonlicht, draußen scheint die Sonne. Allerdings: Wann ist mal kein Tageslicht? In Schweden rückt die Mittsommernacht näher, und es wird niemals dunkel. Die Mission allein gibt dem Tag seine Struktur. Er beginnt morgens um 8:30 Uhr mit einem Treffen mit den Kollegen der Swedish Space Corporation SSC. Frank Scheuerpflug, Projektleiter der MORABA für MAPHEUS, hat gute Nachrichten fürs Team, das sich in dem kleinen Besprechungsraum zusammendrängt: Die in Brasilien angefertigte Düse für einen der beiden Raketenmotoren wird heute Nachmittag ankommen, der zweite Motor kann von der MORABA integriert werden. Der brasilianische Partner kommt bei den vielen Missionen der DLR-Raketenbasis mit der Produktion dieses entscheidenden Teils für den S30-Motor kaum hinterher.



Auf einem Wagen wird der Raketenteil mit den vier Experimenten zur Startrampe transportiert

Zur selben Zeit werden einige Ballonstarts auf Esrange durchgeführt. Das Team von MAPHEUS-5 wird sich mit den Bedürfnissen und Terminen dieser Starts arrangieren müssen. „Nicht so schlimm“, findet Frank Scheuerpflug. „Die Ballone benötigen einen in engen Toleranzen definierten Wind, sodass auch eine Situation nicht unwahrscheinlich ist, in der sich ein Countdown für einen Ballon nicht lohnt, wir aber mit unserer Rakete durchaus eine Chance haben“. Zu diesem Zeitpunkt weiß allerdings auch noch niemand, wie schwierig der Wind es dem MAPHEUS-Team machen wird. Niemand weiß, dass alle eine gute Woche später eine zähe Nachtschicht verbringen werden, nur um dann doch am frühen Morgen den Countdown wegen des ungünstigen Windes abzubrechen. Der Start wird letztendlich bis zum 30. Juni warten müssen – und dann wie im Bilderbuch ablaufen.

Stück für Stück zur fertigen Nutzlast

Aber noch sieht alles gut aus. Gleichmäßig surrt der Kran unter dem spitzwinkigen Dach der „Church“. Aus vier einzelnen Experiment-Modulen, einem Bergungssystem, einem Service-Modul, einem Kaltgassystem und einer Raketen Spitze soll die meterhohe Payload, die Nutzlast, zusammengefügt werden, die dann von den zwei Raketenmotoren bis in eine Höhe von fast 260 Kilometern zu befördern ist. Marcus Hörschgen-Eggers drückt auf den Knopf: Das zweite Element schwebt in die Luft und wird von oben auf das erste Experiment-Modul gesetzt. Schraube um Schraube wird angezogen, goldfarbenedes Modul um goldfarbenedes Modul montiert. Die Nutzlast wächst in die Höhe. Dann schwebt die Raketen Spitze fast bis unters Dach. Die letzten Schraubarbeiten erledigt Jürgen Knof auf dem obersten Tritt der fahrbaren Leiter, während Philipp Koudele, Frank Scheuerpflug und Nils Höger ganz oben auf der Plattform stehen und die Raketen Spitze dafür in die richtige Position bringen.

Währenddessen montiert das Launch-Team der MORABA in der angrenzenden Halle die eingetroffene brasilianische Düse. „Tillträde Fjörbudet“, Eintritt verboten, warnt rote Neonschrift. Auf der Metalltür zur Motoren-halle klebt ein Schild: Danger Area. Wer hier arbeitet, legt sein Handy in den Holzkasten vor der Tür und betritt die Halle in antistatischer Kleidung. In den Motoren schlummern 1.566 Kilogramm Explosivstoff und sollen auch nicht vorzeitig geweckt werden.

Am Abend eine schlechte Nachricht: Das Experiment MEGraMA 2.0 macht Schwierigkeiten im Flight Simulation Test, bei dem die gesamte Nutzlast mit der Kommunikationseinheit am Boden zusammenarbeiten und funktionieren muss. Die Kamera, die die Stoßbewegungen von

Eine der beiden Raketenstufen auf dem Weg in den Skylark-Tower



Die letzten Schraubarbeiten in der „Church“

„ALLES WIEDER AUS DER STARTRAMPE HERAUS!“

2.500 Kugeln in der Schwerelosigkeit aufzeichnen soll, macht nicht, was sie soll, eine Festplatte im Instrument versagt außerdem ihren Dienst und muss ausgetauscht werden. Der Kran surrt erneut, vorher sorgfältig angezogene Schrauben werden wieder gelöst und das unterste Modul wird wieder von der Nutzlast getrennt. Das Team des Instituts für Materialphysik im Weltraum nimmt es mit Fassung. Was mit der Höhenforschungsrakete fliegt, ist Grundlagenforschung und keine Routine. „So etwas ist bei einem solchen Vorhaben normal und der professionelle Umgang damit ein Teil der Aufgabe“, sagt DLR-Ingenieur Frank Scheuerpflug.

Mittlerweile ist es spät geworden, draußen ist es wie immer hell. Das Team des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin verschwindet in

dieser Zeit immer wieder in seinem Labor und zieht die nächsten Probanden für den Flug. Noch ist das Modul für die Pflanzen leer – erst wenige Stunden vor dem Start werden die lebenden Proben samt Anlage in die startbereite Rakete eingebaut.

Abwechslung im Missionsalltag auf Esrange bringen die vereinzelt Besuche von Elchen am Waldesrand oder auf den Parkplatzflächen. Insgesamt drei Elche leben auf dem weitläufigen Gelände des Raketenstartplatzes und tauchen ab und an unvermutet an der Montagehalle auf. Ansonsten spielt sich das Leben der Teams zwischen Neonlicht-Halle, Aufenthaltsraum mit Billard- und Kickertisch sowie den Küchen ab, in denen zwischendurch schnell gekocht wird. Bayerische Wurst und ein paar Flaschen Bier aus der Heimat, im Container nach Schweden verschickt, ein paar Zutaten aus dem 45 Kilometer entfernten Supermarkt oder unkomplizierte Fertigsuppen. Esrange liegt für deutsche Verhältnisse weitab vom Schuss, für schwedische Verhältnisse gleich ums Eck von Kiruna, das nach nur einer dreiviertel Stunde Autofahrt durch den Wald entlang malerischer Seenlandschaften erreicht wird.

Klettern in der Stahl-Kathedrale

Während die Festplatte des MEGraMA-Instruments ausgetauscht wird, rollt nebenan der erste Motor der zweistufigen Rakete durch den Tunnel in Richtung Startturm. Im Schritt-Tempo fährt der Wagen mit seiner Last zum Skylark-Tower. 1.566 Kilogramm Explosivstoff werden gleich aufgerichtet und an der 30 Meter hohen Rampe montiert. Für den Zeitplan sieht alles noch gut aus. Am Wochenende ist Mittsommer in Schweden – und dann ruht für die schwedischen Kollegen, die beim Einbau in die Startrampe helfen, die Arbeit. Doch Startrampe ist schlichtweg das falsche Wort. Der Skylark-Tower ist eine Kathedrale in Rostfarben: Stahlverstreben, steile Treppen und Plattformen bilden eine Konstruktion, in die die insgesamt 13 Meter hohe Forschungsrakete eingebaut wird. Die Stimmen hallen durch die Stahl-Kathedrale, grelles Lampenlicht strahlt das Team an, das mit Helm und Werkzeug in die Streben klettert. Knirschend hebt der Wagen den ersten Raketenmotor in die Vertikale. Auf allen Etagen des mächtigen Turms werden nun Hände in Richtung Raketenmotor ausgestreckt. Sobald der erste Teil der Rakete am Stahlseil in die Höhe gezogen wurde, kann der nächste, der untere Teil, folgen. Dann würde nur noch die Nutzlast selbst fehlen, die zuletzt als Spitze aufgesetzt wird.

Doch dann kommen die ersten Warnrufe: Das Stahlseil, an dem der Raketenmotor in die Höhe gezogen wird, läuft an einer schlecht einsehbaren Stelle über eine Kante und beginnt sich aufzuspleißen. – „Alles wieder aus der Startrampe heraus!“, ruft Per Baldemar, der schwedische Sicherheitsbeauftragte. „Morabist“ Wolfgang Jung klettert die letzte Treppe hinunter. „Jetzt müssen die Schweden erst ein neues Stahlseil besorgen und einbauen“, sagt er. Eine doppelt schlechte Nachricht, denn diese Stahlseile gibt es nicht überall – und schon gar nicht am Mittsommerwochenende, wenn jeder Handel geschlossen ist. Aber niemand möchte riskieren, tonnenschwere Raketeile mit Zündstoff an einem leicht angeschlagenen Stahlseil zu ziehen. Zwangspause für alle Beteiligten. Projektleiter Frank Scheuerpflug gewinnt dem Ganzen etwas Positives ab: „Alle haben die letzten Tage ohne Pause durchgearbeitet, jetzt gibt es zum ersten Mal einen freien Tag in der Mission.“ Das Team der Swedish Space Corporation SSC klemmt sich dahinter – und schafft es, selbst über die Feiertage ein Stahlseil für ihren Startturm zu besorgen. Am Montag soll das Seil eingebaut und geprüft werden. Für die Ingenieure und Wissenschaftler des DLR bedeutet dies zunächst: Zeit für einen kurzen Ausflug nach Kiruna, vielleicht endlich mal Wäsche waschen oder die Arbeiten erledigen, die in den vergangenen Tagen liegen geblieben sind. Bisher hat die Mission dafür nur wenig Zeit gelassen und den Rhythmus vorgegeben.

Schließlich ist die Anlage im Skylark-Tower wieder startklar – die MAPHEUS-5-Mission kann weitergehen. Das MEGraMA-Experiment ist wieder eingebaut, das Team hat erneut mit einem Flight Simulation Test geprüft, ob die zusammengebaute Nutzlast auch im Flug miteinander und mit dem Boden kommuniziert. Das DLR-Team legt los: Wie am Fließband werden zwei Raketenmotoren in den Skylark-Tower gebracht und am neuen Seil in die Höhe gezogen. Die Nutzlast erhält ihren Schriftzug MAPHEUS-5, und Frank Scheuerpflug trommelt das Missionsteam für das traditionelle Gruppenbild zusammen. Mit der Ankunft der Nutzlast im Skylark-Tower beginnt dort die Millimeterarbeit in großer Höhe und auf engstem Raum. Zwischen Streben, schmalen Plattformen und der obersten Etage des Startturms turnen und klettern die MORABA-Männer. Fällt hier ein Werkzeug aus der Hand, schlägt es 30 Meter weiter unten auf. Konzentriert wird gemeinsam die Nutzlast auf die beiden Motorenteile gesetzt und verschraubt.

DIE EXPERIMENTE AN BORD DER RAKETE



Experiment MEGraMA: Acht Magnete setzen wechselweise 2.500 kleine Kugeln in Bewegung, eine Kamera filmt, wie diese in Schwerelosigkeit wieder zur Ruhe kommen.



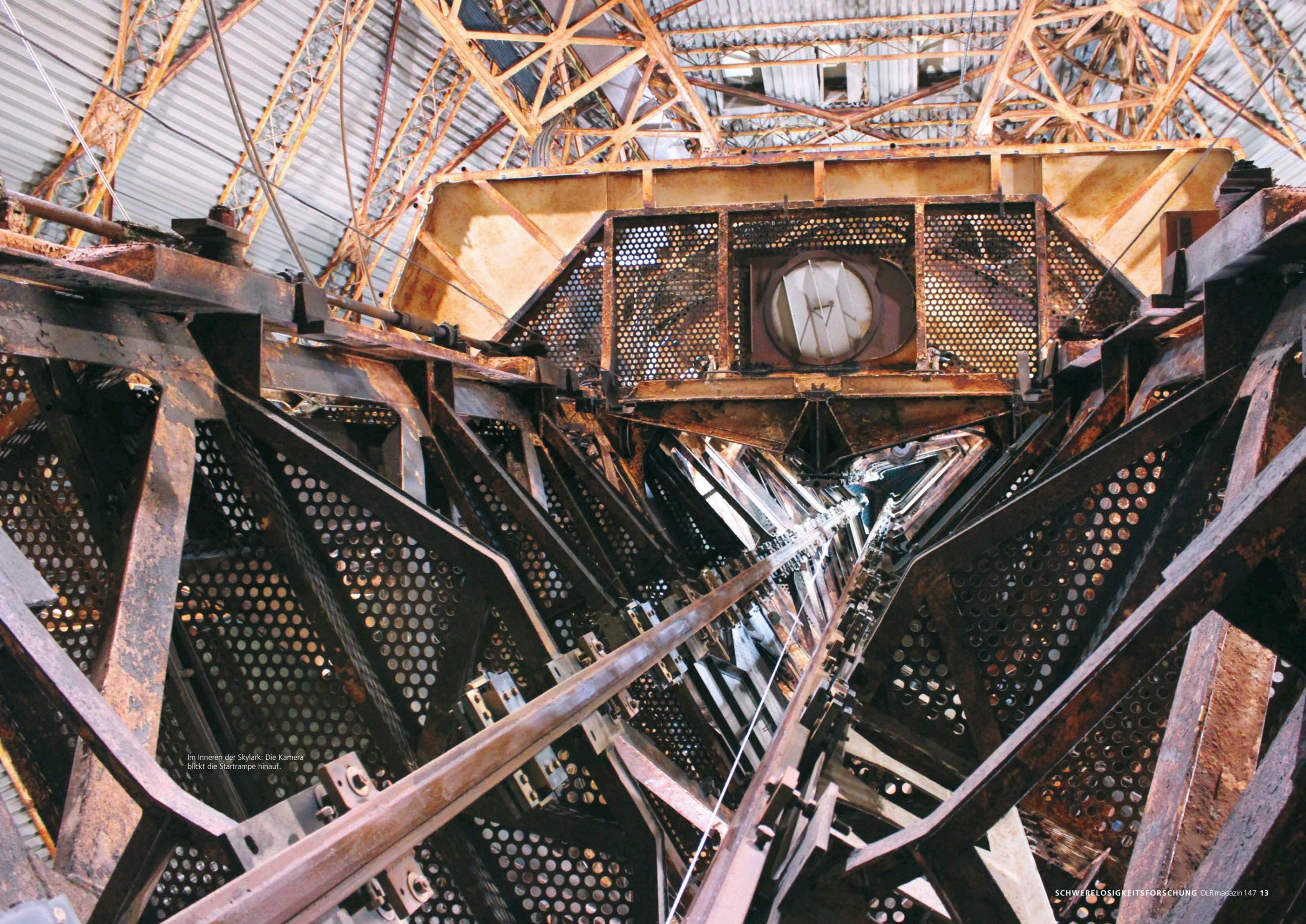
Experiment Röntgenradiografie: Während des Fluges durch die Schwerelosigkeit zeichnet X-RISE mit einer Kamera Diffusions- und Erstarrungsprozesse im Sekundenrhythmus auf.



Experiment GOLD-ESL: Im Elektrostatischen Levitator werden Proben im Schwebezustand geschmolzen.



Experiment Biologie: Wie reagiert die Acker-Schmalwand (Arabidopsis thaliana) auf das Fehlen der Erdanziehungskraft?



Im Inneren der Skylark: Die Kamera blickt die Startrampe hinauf.

„VOR ZWEI UHR
KÖNNEN WIR SOWIESO NICHT
STARTEN.“

Montage im Skylark-Tower: Millimeterarbeit auf engstem Raum und in großer Höhe



Schon einen Tag später werden alle im Testcountdown an ihren Konsolen sitzen und über vier Stunden lang den Ernstfall proben. Es wird ein kurzes Kommunikationsproblem zu einem der Experimente geben, das behoben werden kann. Und einige Zeitverzögerungen, die für den richtigen Countdown noch in den Plan eingearbeitet werden. Dann beginnt das Warten. Auf einen Wind, bei dem die Rakete nach ihrem Start auch wieder sicher im 5.200 Quadratkilometer großen Gebiet der schwedischen Range landet – und nicht in Norwegen oder Finnland herunterkommt.



Aus dem Skylark-Tower wird MAPHEUS-5 starten

Eine Nacht ohne Ende

Freitag sieht es schlecht aus. Samstagmorgen sieht es schlecht aus. Doch in der Nacht von Samstag auf Sonntag könnte der Wind der Forschungsrakete eine Chance geben. Also wird am Samstag tagsüber entspannt. Bei strahlendem Sonnenschein legen sich einige ins Bett, um vorzuschlafen für die kommende schlaflose Nacht. Am Billardtisch wird mit halber Kraft gespielt. Um 22 Uhr soll der vierstündige Countdown beginnen, um dann doch 50 Minuten vor Start wieder auf Halt gesetzt zu werden, bis der Wind in den Höhen günstiger ist.

Der Countdown beginnt. Niemand vermutet, dass es gerade ernst wird – die Stimmung ist zwar konzentriert, aber gelassen. „Wenn irgendetwas beim Countdown jetzt etwas länger dauert, ist das nicht schlimm“, sagt Wolfgang Jung von der MORABA. „Vor 2 Uhr können wir sowieso nicht starten.“ Die Kommunikationskanäle werden geprüft, die Biologen bringen ihre Pflanzen zur Rakete und bauen ihre Experimentanlage ein, Bergungssystem und Raketenmotoren werden scharf gestellt. Alles läuft. Nun würden die letzten 50 Minuten des Countdowns beginnen, in denen die Experimente eingeschaltet und die ersten Proben für den Versuch aufgeschmolzen werden würden. Doch der Countdown wird angehalten, für das Team beginnt nun das Warten auf einen milden Wind. Es wird ruhig im Blockhaus, dem Bereich, hinter dessen Türen das Team auch bei einem Fehlstart sicher wäre. Im Skylark-Tower steht eine startbereite Rakete, die nur noch auf den Zündpuls wartet.

Im Kontrollraum klingelt das Telefon. Die Windprognose hat sich verändert. Warten bis mindestens 4 Uhr morgens. Zwei Stunden Leerlauf. Die ersten stellen die Lehnen ihres Stuhls nach hinten, nicken ein oder dösen. Es wird nicht bei 4 Uhr bleiben. 5:30 Uhr, das könnte jetzt die Zeit sein, zu der es weitergeht. Vor der Halle scheint die Sonne. In der Halle scheint die Zeit zu schleichen. Zwischendurch ist das Brummen der Kaffeemaschine zu hören, jemand macht sich noch ein Brot. Abendessen? Frühstück? Irgendetwas dazwischen. Dann wird es wieder still. Der Wind macht indessen nicht das, was man sich erhofft hat – stattdessen weht er weiterhin aus nördlicher Richtung und das zu kräftig. 7:30 Uhr ist nun der nächste Zeitpunkt, an dem es klappen könnte. Alle hoffen, dass die Forschungsrakete starten kann.

Die schlechte Nachricht kommt um 7:40 Uhr über die Lautsprecher: „Der Countdown für MAPHEUS-5 wird abgebrochen.“ Der letzte Wetterballon hat gezeigt, dass die Windbedingungen nicht passen. Eine ganze Nacht im Countdown und kein Start – die Stimmung ist gedrückt. Neu ist so ein Geduldsspiel für Ingenieure und Wissenschaftler allerdings nicht: Das Wetter hat immer das letzte Wort.

Starten wird die MAPHEUS-5-Rakete dann Dienstagfrüh, am 30. Juni, um 6:55 Uhr. Auch für diese Nacht ist die Windprognose suboptimal, kann niemand sagen, ob der Wind nicht wieder einen Strich durch die Rechnung macht. Doch das MAPHEUS-5-Team will die Chance nutzen und beginnt mit dem mehrstündigen Countdown. Alle Plätze für die verschiedenen Raketensysteme im Kontrollraum sind besetzt, in der Telemetriestation bereitet sich das DLR-Team darauf vor, den Flug der Rakete mit der Antenne zu verfolgen und die Daten zu empfangen. Die Wissenschaftler-Teams sitzen vor den Bildschirmen, auf denen die Daten ihrer Instrumente angezeigt werden.

Sieben Minuten vor dem Start muss DLR-Ingenieur Christoph Dreißigacker bei seiner ersten Kampagne dann noch mal Nervenstärke beweisen, als der Countdown unerwartet gestoppt wird: Der Scherzellen-Ofen arbeitet nicht perfekt. Christoph Dreißigacker übernimmt die manuelle Steuerung des Ofens und startet während des Fluges das Experiment per „Fernbedienung“ vom Boden aus. Um sich für diese manuelle Bedienung zu entscheiden, blieben dem Instrument-Team gerade einmal 20 Minuten – denn danach hätte der stärker werdende Wind einen Startabbruch erfordert.

Flug in die Schwerelosigkeit

Schließlich fliegt die Rakete bei schönstem Sonnenschein bis in eine Höhe von 253 Kilometern und kehrt am Fallschirm sicher zur Erde zurück – auf dem Trockenen – direkt neben morastigem, nassem Torf. Die Abtrennung der beiden Raketenstufen, die Stabilisierung der Rakete mit dem Yoyo-Despin-System, der Wiedereintritt, der Fallschirm – alle Raketensysteme haben fehlerlos gearbeitet. Auch das Team der Telemetriestation ist zu-

frieden: „Die Datenübertragung während des Fluges hat komplett ohne Unterbrechungen funktioniert“, sagt Andreas Kimpe von der MORABA. Einige Systeme wie das Kaltgasregelungssystem oder das Service-Modul mussten für die anspruchsvolle Mission bis an ihre Grenzen gebracht werden. Mit Erfolg. „Wir sind mit MAPHEUS-5 noch mal eine Liga aufgestiegen“, sagt Projektleiter Frank Scheuerpflug.

Jetzt beginnt die Analyse der Experimentdaten und das Lernen für die nächsten Missionen. Das MEGraMa-Experiment hat so funktioniert, wie es sich die Wissenschaftler erhofft hatten: Viermal lief das Experiment in der Schwerelosigkeit ab. Später, im heimischen Labor, werden die ersten Datenauswertungen zeigen, dass die Partikel im Flug wie geplant in Bewegung versetzt wurden und die Kamera die folgenden Stoßprozesse in 3D aufgezeichnet hat. Im Elektrostatischen Levitator konnten viele Regelparameter eingehend getestet werden. Allerdings schwebten die Proben nicht stabil – auf einem Parabellflug werden noch einmal neue Parameter getestet werden müssen, bevor der ESL wieder auf einer Höhenforschungsrakete zum Einsatz kommt. Die Röntgenanlage X-RISE hat zu nächst fehlerlos funktioniert, wie die aufgezeichneten Bilddaten zeigen. Allerdings schaltete sie sich nach zwei Minuten unerwartet ab, sodass das wissenschaftliche Ziel nicht vollständig erreicht wurde. Doch die gewonnenen Daten geben den Wissenschaftlern Aufschluss sowohl über Diffusion als auch Erstarrung der Proben. Die Biologen haben ihre Acker-Schmalwand sicher geborgen und aus der Höhenforschungsrakete ausgebaut. Die Pflanzen mit Schwerelosigkeitserfahrung werden nun im irdischen Labor ganz genau unter die Lupe genommen. Im Mai 2016 soll die nächste MAPHEUS-Mission starten.

Dann, wenn der Wind es zulässt.

s.DLR.de/zt88

MAPHEUS-5 legt einen Bilderbuch-Start hin



Erleichtert über die sichere und trockene Landung der Forschungsrakete setzt das Team zum letzten Kraftakt an



ENERGIE BESSER SPEICHERN

Grundlagen für Batteriesysteme der nächsten Generation

Von Prof. Dr. Arnulf Latz und Dr. Norbert Wagner

Batterien sind der Schlüssel in die Welt der Elektromobilität. Aber auch bei der stationären Energieversorgung, zum Beispiel der Haustechnologie, ist eine effiziente, bezahlbare und kundenfreundliche Batterie gefragt. Seit circa fünf Jahren entwickeln wir im DLR Batteriesysteme. Unser Fokus liegt dabei auf Systemen der nächsten Generation wie Metall-Schwefel- und Metall-Luft-Batterien. Dabei verzahnen wir experimentelle Analysen und virtuelle Modellierungen.

Neue Materialien im Test

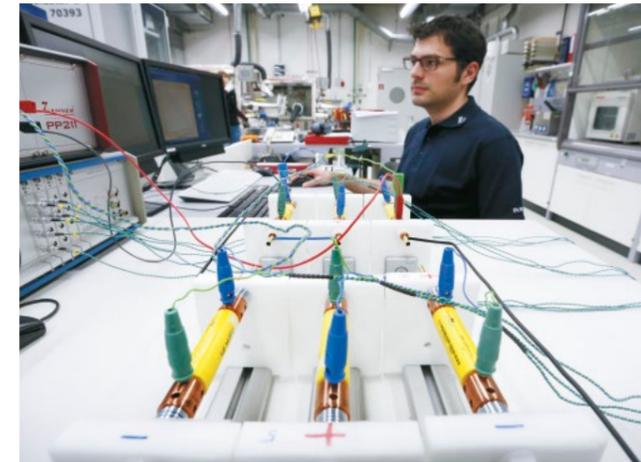
Metall-Schwefel- und Metall-Luft-Batterien haben viele Vorteile: Sie verfügen über eine hohe spezifische Energiedichte; bei Lithium-Luft-Batterien liegt diese zum Beispiel zehnmal höher als bei den Lithium-Ionen-Batterien, die heute auf dem Markt üblich sind. Dieser Effekt wird vor allem durch die Verwendung von metallischem Lithium erreicht. Es hat mit 3.861 Milliamperestunden pro Gramm Lithium eine sehr hohe Speicherdichte. In herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien liegt Lithium immer in Ionenform vor und hat eine deutlich geringere Speicherdichte von 372 Milliamperestunden pro Gramm Kohlenstoff. Bei den Metall-Schwefel- und Metall-Luft-Batterien wird beim Entladevorgang das Aktivmaterial der Anode (Metall: Li, Zn, Mg, Al ...) oxidiert. Beim Laden werden die Metall-Ionen dann wieder auf der Anode abgeschieden. An der Kathode wird beim Laden, je nach Batterietyp, entweder Schwefel oder Sauerstoff reduziert und beim Laden wird Schwefel abgeschieden oder Sauerstoff entwickelt. Die Materialien für die Zukunftsbatterie sind in der Regel gut verfügbar, was die zu erwartenden Materialkosten niedrig hält. Allerdings haben diese Systeme derzeit noch eine Reihe von Problemen, die durch Grundlagenforschung verstanden und behoben werden müssen. Von Nachteil sind zum Beispiel die starke Degradation der Batteriekapazität bei jedem Lade- und Entladevorgang sowie die leichte Entflammbarkeit. Ziel unserer Forschung ist es, Materialien und Strukturen im Inneren der Batterie zu verbessern und die Systeme leistungsfähiger, sicher und langlebig zu machen.

Das Innenleben einer Batterie besteht, vereinfacht gesagt, aus gepressten Pulvern mit Hohlräumen, die durch einen porösen Separator oder eine ionenleitfähige Membran getrennt sind, damit es nicht zum Kurzschluss kommt. Im Batterielabor am DLR-Institut für Technische Thermodynamik in Stuttgart können wir die Prozesse, die sich in einer Batterie abspielen, auf verschiedenen Wegen untersuchen: Mit Hilfe von Computertomografie und Rasterelektronenmikroskopie erkennen wir unter anderem die Degradationsprozesse an Kathode und Anode im Mikrometerbereich. Mit diesen Erkenntnissen haben wir Batterien mit neuen Strukturen und Materialien, zum Beispiel Komposite aus Kohlenstoff mit einer Porengrößenverteilung zwischen zwei und 50 Nanometern (nm), sogenannten Mesoporen, und Schwefel entwickelt. Dadurch ist es uns gelungen, die Anzahl der Be- und Entlade-Zyklen von 30 auf 100 und die Speicherkapazität von 300 Milliamperestunden pro Gramm Aktivmasse in der Kathode auf 800 zu steigern. Im Vergleich dazu hat das aktive Kathodenmaterial einer derzeit im Handel erhältlichen Lithium-Ionen-Batterie auf der Basis von Lithium-Nickel-Mangan-Kobaltoxid, NMC) eine Speicherkapazität von nur etwa 180 Milliamperestunden pro Gramm Aktivmasse.

Modellierung ist Grundlagenforschung

Parallel zu der experimentellen Entwicklung in Stuttgart entwickelt das DLR am Helmholtz-Institut in Ulm (HIU) mathematisch-physikalische Modelle von Batterien, mit denen die Vorgänge im Batterieinneren bis auf die Ebene der kleinsten Komponenten im Computer simuliert werden können. Hier leisten wir Grundlagenarbeit an der vordersten Front der Forschung. Die realitätsgetreue Modellierung vom nanoskaligen Bereich bis zur ganzen Batterie ist essenziell für den Wechsel von einer langwierigen rein empirisch getriebenen Batterieentwicklung zu einer schnellen und systematischen Identifikation neuer Batteriesysteme. Ziel ist es, in engem Zusammenspiel zwischen Experiment und Simulation

Glove-Box im Batterielabor des DLR-Stuttgart. In ihr werden Batteriekomponenten vermessen und getestet. Für ihre Arbeit unter Reinraumbedingungen streifen sich die Forscher die schwarzen Ausstülpungen wie Handschuhe (Glove) über ihre Arme.



Messaufbau zur simultanen Impedanzmessung von sechs in Serie geschalteten Batterien im DLR Stuttgart, Fachgruppe Batterietechnik



Batterien in der Klimakammer: Hier wird ihre Funktionsweise bei verschiedenen Temperaturen, von minus 40 bis plus 160 Grad Celsius untersucht.

effizientere und langlebigere Elektrodenstrukturen für das Innere der Batterie zu entwickeln. So kann zum Beispiel eine intelligente räumliche Verteilung der Korngrößen und Materialzusammensetzung des Pulvers das schnelle und sichere Be- und Entladen unterstützen.

Durch diese systematische Bearbeitung können wir erfolgversprechende Batteriekonzepte mit Hilfe der numerischen Simulation vorhersagen, die durch die Trial-and-Error-Herangehensweise im Labor nur schwer und in einem teuren und aufwändigen Prozess gefunden werden können. So legt die theoretische Grundlagenforschung des DLR in Zusammenarbeit mit den Partnern am HIU und in der Helmholtz-Gemeinschaft den Grundstein für eine systematische wissenschaftsbasierte Batterieentwicklung. Durch diese Zusammenarbeit hoffen wir, die Forschung soweit voranzutreiben, dass Metall-Schwefel-Batterien bereits in den nächsten

drei Jahren kommerziell erhältlich sein werden. Metall-Luft-Batterien hingegen befinden sich noch in der Entwicklungsphase und werden erst zu einem späteren Zeitpunkt marktreif sein.

Prof. Dr. Arnulf Latz und Dr. Norbert Wagner arbeiten im DLR-Institut für Technische Thermodynamik. Arnulf Latz leitet die Abteilung für Computergestützte Elektrochemie und ist Professor für elektrochemische Multiphysikmodellierung an der Universität Ulm. Norbert Wagner ist Fachgruppenleiter Batterietechnik der Abteilung Elektrochemische Energietechnik.

Im Batterielabor verfügt das DLR Stuttgart über verschiedene Batterietester und Glove-Boxen zum Zusammenbau von Lithium-Metall-Batterien



LUFTKURORT STUTTGART

Warum Batterieforschung noch viel Potenzial hat

Von André Thess

Stuttgart ist die deutsche Stadt mit der schlechtesten Luft. Nirgendwo in Deutschland lassen Autos mehr Feinstaub und Stickoxide zurück. Was hat dies mit Batterieforschung zu tun?

Rund um den Erdball arbeiten Forscher mit Hochdruck an besseren Batterien. Alle sind sich in drei Zielen einig: Batterien der Zukunft sollen leichter, billiger und zyklenfester, also für viele Be- und Entladungen geeignet sein. Doch welcher Durchbruch würde den größten gesellschaftlichen Nutzen zeitigen? Zehnfache Energiedichte – eine Kilowattstunde pro Kilogramm Gewicht (kWh/kg) statt 0,1? Nur ein Zehntel des Preises – 50 Euro pro Kilowattstunde (€/kWh) statt 500? Oder eine zehnfache Ladezyklenzahl – 20.000 statt 2.000? – Möglicherweise ist keiner dieser Innovationssprünge in dieser Dimension realisierbar. Trotzdem lohnt es sich, über die Frage nachzudenken.

Meine Überlegungen führen mich zu dem Schluss, dass unsere Lebensqualität von einem Preissprung nach unten am meisten profitieren würde. Versetzen wir uns einmal in eine Welt, in der Batterien ähnlich billig sind wie (volle) Bierkästen. Dies wäre aus mindestens drei Gründen erstrebenswert.

Erstens: Billige Batterien könnten Großstadtbewohner von Smog befreien. In der öffentlichen Diskussion wird Elektromobilität in erster Linie als Klimaschutzoption angepriesen. Dabei leistet ein deutscher Elektroautofahrer keinen nennenswerten Beitrag zur Minderung des Kohlendioxid-Ausstoßes, solange Deutschland – anders als Frankreich – die Hälfte des Stroms aus fossilen Quellen erzeugt. Der Hauptvorteil heutiger Elektroautos besteht vielmehr darin, dass sie ihre Umgebung weder mit Feinstaub noch mit Stickoxiden belasten. Ließe sich der Stadtverkehr auf Elektroautos umstellen, würden sich Stuttgart, Peking und Los Angeles in Luftkurorte verwandeln.

Was steht diesem Traum im Weg? Solange das Batteriemodul eines Elektroautos mit 20.000 Euro etwa genauso viel kostet wie ein Mittelklassewagen, ist diese Mobilitätsform für den Massenmarkt schlicht zu teuer. Ließen sich hingegen Batteriekosten signifikant senken – nicht durch Subvention, sondern durch Forschung – so könnten wir eines Tages nicht nur emissionsfrei fahren. Batterie- und brennstoffzellenbetriebene Kleinflugzeuge könnten uns dereinst sogar abgasfrei durch die Lüfte tragen. Wenn Deutschland in ferner Zukunft eine kohlendioxidarme Elektroenergieversorgung hat, tragen Batterieautos auch zum Klimaschutz bei.

Zweitens: Billige Batterien könnten kohlendioxidneutrale Wohnhäuser ermöglichen, in denen Energiesparen zuweilen unnötig wird. Das romantische Bild vom energieautarken Eigenheim mit Fotovoltaikanlage auf dem Dach und Batterie im

Keller ist derzeit leider nur ein Wunschtraum. Denn echte Autarkie – vollständiger Verzicht auf das öffentliche Stromnetz – dürfte mit heutiger Technik nicht unter 50.000 Euro an Batteriepreisen zu haben sein. Würden hingegen die Batteriepreise um eine Größenordnung fallen, wäre Autarkie schon für einige Tausend Euro möglich. Dann könnten weltweit nicht nur Millionen Wohnhäuser „dekarbonisiert“ werden. Nach sonnigen Tagen wäre Energiesparen unnötig: Man könnte ohne schlechtes Gewissen stundenlang staubsaugen und das virtuelle Kaminfeuer im Fernseher über Nacht brennen lassen.

Drittens: Billige Batterien könnten eine Mobilitätsrevolution für alte und behinderte Menschen auslösen. Während wir über Elektromobilität diskutieren, verlieren wir leider aus dem Auge, dass Treppenhäuser, Flugzeugtüren und Waldwege für Senioren und Rollstuhlfahrer oft unüberwindliche Hindernisse sind. Ich kann mir gut vorstellen, dass künftige Batterieforscher, Robotertechniker und Navigationsfachleute gemeinsam neuartige Personalroboter entwickeln, die gehbehinderte Menschen je nach Beschaffenheit des Untergrunds sanft eine Treppe hochtragen oder auf aktiv gedämpften Rädern über holprige Wege rollen. Ich hätte im Übrigen schon heute nichts gegen einen mobilen Helfer, der die Getränkekästen in unsere Wohnung im zweiten Stock wuchtet.

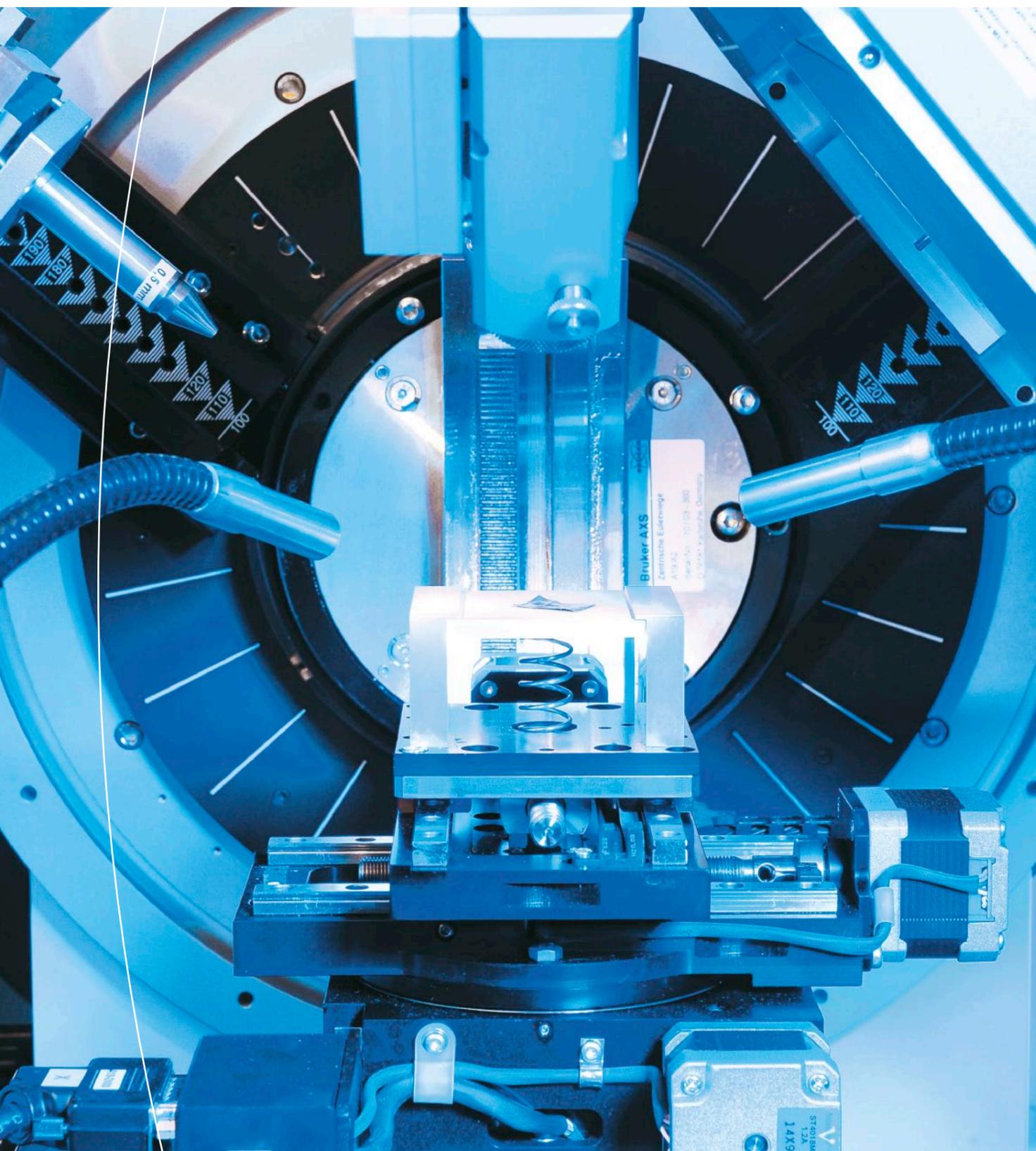
Wenn ich im Jahr 2050 mit 86 Jahren nicht mehr gut zu Fuß bin, hoffe ich, dass die Batterieforscher alles Nötige getan haben, damit mich mein Serviceroboter im Luftkurort Stuttgart die „Stäffele“ zum energieautarken Wohnhaus hochträgt. Deshalb liegt mir Batterieforschung auch ganz persönlich am Herzen.



Prof. Dr. André Thess ist Direktor des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik in Stuttgart

Bild: DLR/Frank Eppler

DLR.de/TT



Röntgendiffraktometer (XRD) für In-situ- und Ex-situ-Messungen an Batterien und Batteriematerialien

IN EINEM BETT AUS KLEINEN KISSEN

Im DLR-Magazin 144 vom Dezember 2014 berichteten wir über das Automated Transfer Vehicle (ATV) „Georges Lemaître“ – das letzte von fünf europäischen Transportraumschiffen des ATV-Programms. Im Februar 2015 dockte ATV-5 von der Internationalen Raumstation ISS ab und trat in die Erdatmosphäre ein. Mit an Bord: eine vom DLR entwickelte Reentry-Kapsel zur Beobachtung dieser heißen Phase. Wie der Wiedereintritt ablief und welche Funktion die DLR-Kapsel hatte, schildert folgender Beitrag aus dem Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart.

Thermalschutzsystem sorgte beim Wiedereintritt des ATV-5
für einen kühlen Kern

Von Nicole Waibel

Was genau passiert, wenn ein Raumflugkörper in die Erdatmosphäre eintritt? – Dieser Frage gehen DLR-Wissenschaftler im Bereich Wiedereintrittstechnologien nach. Im Fall des Automated Transfer Vehicle (ATV) „Georges Lemaître“ untersuchten sie den Moment, in dem sich das ATV-5 aufheizt und in seine Einzelteile zerfällt. Dieses Wissen wird wichtig, wenn die Lebensdauer der Internationalen Raumstation ISS abläuft und sie gezielt zum Eintritt in die Erdatmosphäre gebracht wird. Um den Wiedereintritt des ATV-5 zu beobachten, wurde im Auftrag der ESA und unter Federführung von RUAG und seinen Partnern, der ETH Zürich, ViaSat und dem DLR, ein Kamerasystem entwickelt, das im Innenraum des ATV das Aufheizen sowie den Beginn des Auseinanderbrechens aufzeichnet und die Daten in einer Reentry-Kapsel sichert. Die Aufgabe des DLR-Instituts für Bauweisen und Strukturtechnologie war es, gemeinsam mit dem DLR-Institut für Werkstoff-Forschung in Köln die selbsttragende Kapselstruktur inklusive Isolationssystem aus faserkeramischen Werkstoffen zu entwickeln, herzustellen, zu testen und zusammenzufügen.

Protokoll des Auseinanderbrechens

Am Samstag, dem 14. Februar 2015 um 13:44 Greenwich Mean Time (GMT), löste sich das ATV von der ISS und trat damit in seinen letzten Lebensabschnitt ein. Der Arbeitstag der Break-Up Camera (BUC) begann am Sonntag, 17:47 GMT, kurz nach dem finalen De-Orbit-Manöver des ATV. Um 18:04 GMT brach das ATV laut ESA über dem Südpazifik in kleine Teile auseinander und die BUC begann, die aufgenommenen Infrarotbilder an das Iridium-Satellitennetzwerk zu senden. Vier Minuten später wurde eine erste Statusnachricht von der BUC empfangen. Die DLR-Wissenschaftler erhielten Daten zu Beschleunigungen, Magnetfeld, Temperatur des Prozessors, Drehraten sowie Speicherplatzbelegung. Aus noch nicht genau geklärten Gründen konnte die Verbindung nicht aufrechterhalten werden, sodass die Infrarotbilder nicht übertragen wurden. Enttäuschung machte sich breit, da die Kamera rund 6.000 Bilder aufnehmen konnte, die zur Sendung bereitstanden. „Immerhin wissen wir, dass das Kamerasystem funktioniert hat und alle Bilder in die Kapsel übertragen wurden“, erläutert Christian Dittert vom Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie, der das Projekt von Anfang an begleitet hatte. „Dank unseres Thermalschutzsystems konnten die Temperatur des Computerprozessors und der Elektronik in der Kapsel bei 32 Grad Celsius gehalten werden – und das bei Temperaturen von über 2.000 Grad Celsius beim Wiedereintritt.“ Nach dem heißen Ritt durch die Atmosphäre versank die Reentry-Kapsel schließlich im Pazifik.

Die Reentry-Kapsel mit Isolierung und die Elektronikbox mit der Antenne wurden bei RUAG in Zürich in das Subsystem integriert



Die Halbschalen aus WHIPOX™ bei der Endbearbeitung im DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart



Kleine Isolierkissen verhinderten den Wärmeeintrag auf die Elektronik



Die fertige WHIPOX™-Halbschale, gefüllt mit den Isolierkissen



Christian Dittert, geboren 1983 in Rüdersdorf bei Berlin, studierte Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart. Seit 2011 arbeitet er in der Abteilung Raumfahrtssystemintegration des DLR-Instituts für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart. Er ist Mitglied der Helmholtz-Nachwuchsgruppe „Hochtemperaturmanagement für den Hyperschallflug“ und promoviert zum Thema „Entwicklung und Charakterisierung einer transpirationsgekühlten scharfen Anlaufkante für den Wiedereintrittsflug“.

Kühl bleiben bei extremer Hitze

Damit bei extrem hohen Temperaturen ein kühler Kern bewahrt werden kann, wurde im DLR Stuttgart eine Kapsel mit einem Thermalschutz- und einem Isolationssystem entwickelt, die sowohl der Hitze als auch den mechanischen Belastungen während des Wiedereintritts standhält. Auch musste das Material für elektromagnetische Funkwellen durchlässig sein, um eine Verbindung mit dem Satelliten zu ermöglichen. Aufgrund der Erfahrung aus dem Wiedereintrittsprogramm SHEFEX wussten die Wissenschaftler, dass WHIPOX™, ein beim DLR in Köln entwickeltes faserverstärktes Material auf Aluminiumoxidbasis, genau die Eigenschaften mitbringt, die für die Kapsel benötigt wurden. Neben dem Material gibt es eine weitere „Stellschraube“, um die Temperaturen möglichst gering zu halten: Die Form. „Wir entschieden uns für eine runde Kapsel. Diese war zum einen einfach und schnell zu fertigen und zum anderen lässt sich die Wärmebelastung einer Kugel sehr gut abschätzen“, so Christian Dittert. „Außerdem taumelt eine runde Kapsel und so verteilen sich die Wärmelasten gleichmäßig. Die eigentliche Herausforderung war aber die kurze Zeitspanne, um das Projekt zu realisieren.“ Zwischen dem Kick-off am 15. Juli 2013 und dem Flug am 29. Juli 2014 lag gerade mal ein Jahr. In den vier Monaten bis zur Auslieferung an RUAG am 29. November 2014 wurde das Bauteil konstruiert, gefertigt, simuliert und getestet.

Aufgrund der kurzen Zeitspanne musste das Design einfach, robust sowie schnell zu fertigen sein und trotzdem allen thermischen, mechanischen und elektronischen Anforderungen gerecht werden. Bereits zwei Monate nach Beginn des Projekts stand das Design fest. Konstruiert und ausgelegt wurde die Kapsel im Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie; die Grundformen der faserverstärkten Keramik kapsel wurden im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung in Köln gefertigt. Endbearbeitet und für den finalen Einbau der Elektronik bei RUAG in Zürich vorbereitet wurde die Kapsel dann wieder im DLR Stuttgart. „Ziemlich schwierig war das Einsetzen der äußeren Stecker, die als Temperaturschalter, aber auch zur Datenübertragung der Bilder aus der Kamera genutzt werden. Da die Stecker deutlich schneller schmelzen als die Keramik, mussten sie von innen speziell abgedichtet werden, um zu verhindern, dass Heißgas in die Kapsel eindringt. Die Isolierung, deren Struktur sehr leichtem Filz oder gepresster Zuckerwatte ähnelt, wurde zur besseren Handhabung in 26 kleine handgefertigte Kissenbezüge eingenäht. Das war sehr zeitaufwändig“, erinnert sich Dittert. Nach der Auslieferung der Flughardware wurde

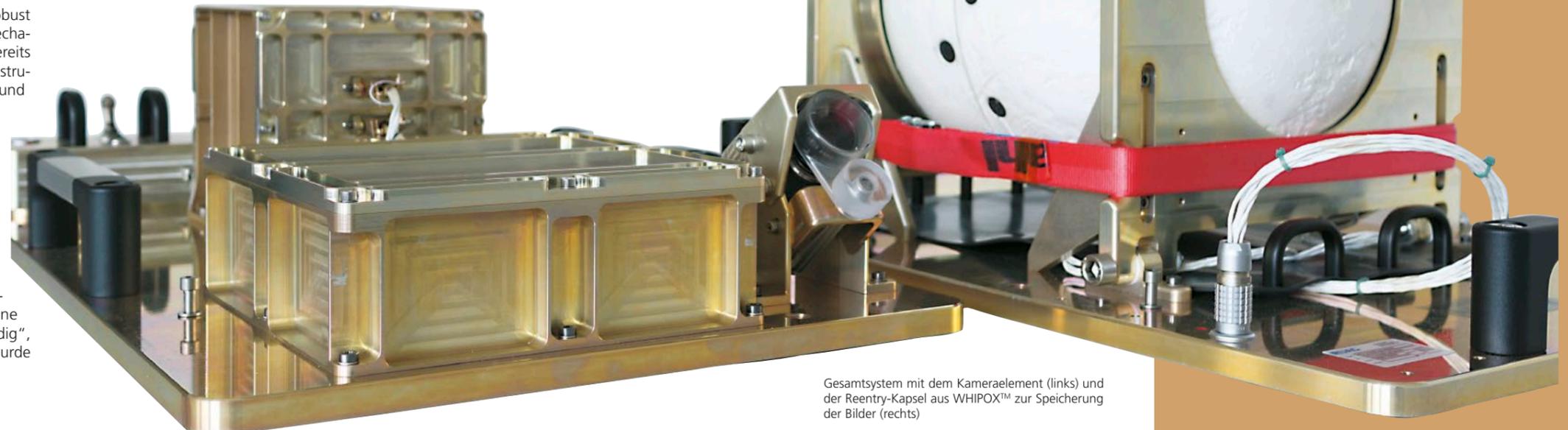
eine Testkapsel aufgebaut, die bei ähnlichen Belastungen wie beim Wiedereintritt getestet wurde. Die Ergebnisse dienten dazu, das Konzept und die Simulationen zu verbessern.

Wiedereintrittskapseln bleiben ein spannendes Thema

Wie werden Reentry-Kapseln in Zukunft aussehen und wie können sie eingesetzt werden? – Auf jeden Fall werden die Systeme zur Untersuchung der Prozesse beim Wiedereintritt noch kleiner werden. Schwierig dabei ist, dass bei kleinerer Fläche und somit kleinerem Radius die Wärmebelastung ansteigt. Ein anderes Konzept wäre eine aerodynamisch stabile Form ähnlich der eines Federballs, bei der die vordere Seite sehr heiß wird und die hintere kühler bleibt. Im Bereich Wiedereintrittstechnologien werden deshalb Möglichkeiten untersucht, solche Kapselkonzepte mit Hilfe neuartiger Ablatoren kleiner und leichter zu gestalten. „Kleine Reentry-Kapseln werden eine große Zukunft haben“, ist sich Christian Dittert sicher, sei es als Experimentierplattform oder Blackbox für Raumfahrzeuge oder als Transportbehälter für rückführbare Proben von der ISS. „Das Einsatzpotenzial ist riesig.“

Nicole Waibel ist im Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie unter anderem für Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

s.DLR.de/8v30



Gesamtsystem mit dem Kameraelement (links) und der Reentry-Kapsel aus WHIPOX™ zur Speicherung der Bilder (rechts)

GLOSSAR

ATV	Automated Transfer Vehicle (Automatischer Raumtransporter)
ESA	European Space Agency (Europäische Weltraumorganisation)
ISS	International Space Station (Internationale Raumstation)
RUAG	Schweizer Technologiekonzern mit Sitz in Bern, Kürzel geht zurück auf die Rüstungsunternehmen-Aktien-Gesellschaft
ETH Zürich	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
GMT	Greenwich Mean Time (Mittlere Greenwich-Zeit)
BUC	Break-Up Camera (Kamera zur Aufnahme des Auseinanderbrechens des ATV-5)
CPU	Central Processing Unit (Zentrale Prozessierungseinheit)
SHEFEX	Sharp Edge Flight Experiment (Scharfkantiges Flugexperiment)
WHIPOX™	Wound highly porous oxide composite (Oxidkeramischer Faserverbundwerkstoff)

TABLET AM STEUER – ABER SICHER

Fahrerassistenzsysteme sprechen mit mobilen Geräten

Von Vera Neumann

Autfahren und eine E-Mail schreiben? Das Fahrzeug führen und im Internet surfen? Oder gar einen Film schauen, während der Wagen von alleine fährt? – Fahrerassistenzsysteme werden das schon bald möglich machen. Doch in absehbarer Zukunft muss der Fahrer immer noch im Stande sein, rechtzeitig das Steuer wieder zu übernehmen. Die Forscher des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig untersuchen, wie Fahrzeugführer und Auto sich das Fahren teilen können.

Schon seit mehreren Jahren betreibt das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig Versuchsfahrzeuge und Simulatoren, um das hochautomatisierte Fahren zu erproben und zu perfektionieren. In einem solchen System ist die Automatik die Nummer eins und der Mensch ist quasi das Sicherheitssystem. Der Fahrer hat die Möglichkeit, temporär Verantwortung abzugeben und sich während der Autofahrt anderen Tätigkeiten zuzuwenden, doch er ist jederzeit in der Lage, das Steuer wieder zu übernehmen.

Rechtzeitig warnen

Am Beispiel des Surfens mit einem Tablet-PC untersuchen die Braunschweiger Forscher deshalb in dem Projekt MobiFAS (kurz für Mobilgeräteanbindung an fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme), wie und wann das hochautomatisierte fahrende Auto die Kontrolle an den Fahrer übergeben sollte. Solch eine Übergabe ist beispielsweise notwendig, wenn die Automation überfordert ist – etwa bei einer Autobahnauf- oder abfahrt, aber auch in einer engen Baustelle. „In einer solchen Situation muss der Fahrer die Arbeit am Tablet-PC unterbrechen und sich mit einer ausreichenden Zeitreserve darauf einstellen, um entsprechend der Fahrsituation zu reagieren“, erklärt Stephan Lapoehn, Leiter des Projekts MobiFAS am Institut für Verkehrssystemtechnik.

Forschungsergebnisse zeigen, dass zehn Sekunden Reaktionszeit hierfür angemessen sind. Dazu müssen jedoch einige Randbedingungen eingehalten werden: Der Fahrer darf auf keinen Fall einschlafen, da er dann innerhalb der zehn



Das Virtual-Reality-Labor der Braunschweiger Verkehrsforscher verfügt über eine 360-Grad-Frontprojektion. In die Simulation lassen sich verschiedene Fahrzeuge und Mock-ups integrieren.



Im sogenannten Head Down Display wird der Fahrer auf die bevorstehende Übernahme des Steuers hingewiesen



Übernimmt der Fahrer trotz Warnmeldung das Steuer nicht, wird das Tablet für Eingaben gesperrt

Sekunden nicht einsatzbereit wäre. Er darf sich die Sicht auf die Straße nicht versperren, indem er etwa eine Zeitung aufaltet. Idealerweise hat er auch kein Mobilgerät in der Hand, das er vorm Reagieren erst noch weglegen muss. Genau an diesem Punkt setzen die Forschungen der Braunschweiger Wissenschaftler an: Schon heute ist jeder vierte Autofahrer durch die Nutzung mobiler Endgeräte beim Autofahren abgelenkt. Das kann katastrophale Folgen haben. „Die Ablenkung der Fahrer durch Infotainment-Systeme und Mobilgeräte wird mit dem hochautomatisierten Fahren sicher auch nicht weniger werden“, so Lapoehn. Wie kann der Fahrer also möglichst komfortabel und schnell von seinem Tablet-PC wieder zurück an das Steuer geholt werden, ohne dass er dabei zum Sicherheitsproblem für sich und andere wird?

Um das zu erreichen, vernetzen die Forscher das Mobilgerät mit dem Assistenzsystem des Fahrzeugs. So kann der Fahrer im Notfall Warnmeldungen auf dem Bildschirm sehen. „Wir haben eine Interaktionsstrategie entwickelt, die frühzeitig Informationen auf dem Tablet anzeigt und den Nutzer wieder in die Fahraufgabe einbindet“, berichtet Stephan Lapoehn.

Bitte übernehmen Sie!

Im Versuchsszenario der Braunschweiger fährt das Fahrzeug 120 Stundenkilometer. Mittels Floating-Car-Data (FCD), also Daten aus dem fließenden Verkehr, oder Daten aus der drahtlosen Kommunikation zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur (V2X-Kommunikation) erkennt das Fahrzeug, dass eine Baustelle naht. Die Automation stößt an ihre Grenzen. Umgehend wird der Fahrer darüber informiert. Ein Hinweis auf dem Tablet beschreibt die bevorstehende Verkehrssituation und fordert den Fahrer erstmals auf, demnächst das Steuer zu übernehmen. Dafür hat er zunächst 16 Sekunden Zeit. Gemäß der Beschilderung vor der Baustelle reduziert das Fahrzeug seine Geschwindigkeit auf 80 Stundenkilometer. Zusätzlich wird dem Nutzer permanent angezeigt, wie viele Meter das Fahrzeug noch hochautomatisiert zurücklegt, bis die kritische Situation erreicht ist. Übernimmt der Fahrer nach den ersten 16 Sekunden nicht, wird eine zweite visuelle Meldung zeitgleich auf dem Tablet und dem Head Down Display im Armaturenbereich dargestellt, das Tablet wird für Eingaben gesperrt und zusätzlich ertönt ein akustisches Warnsignal. Jetzt hat der Fahrer noch zehn Sekunden Zeit. Erfolgt nun immer noch keine manuelle Übernahme, muss sich das Auto in einen sicheren Zustand versetzen: Abhängig vom nachfolgenden Verkehr bremst es stark oder vorsichtig, schaltet die Warnblinkanlage ein, steuert nach Möglichkeit zum Straßenrand und hält an. Erste Studienergebnisse zeigen, dass die Einbindung des Tablets als zusätzliches Anzeigeelement für Übernahmeaufforderungen von den Probanden besser akzeptiert wird als die ausschließliche Anzeige auf dem Head Down Display. Durch dieses Vorgehen wird eine sichere und komfortable Übernahme der Fahraufgabe gewährleistet.

Neue Rolle für den Fahrer

Natürlich wird dieses Szenario noch nicht morgen Realität sein. Doch Stück für Stück entwickelt sich das moderne Auto zum hochautomatisierten System: In absehbarer Zukunft kommen weiterentwickelte Assistenzsysteme zum Einsatz, die auf Basis der heutigen Technologie in den Fahrzeugen sogenannte Chauffeurfunktionen, wie Einparken oder Kolonnenfahrt, auf der Autobahn übernehmen. Mit MobiFAS kann der Fahrer eines hochautomatisierten Autos Zeit gewinnen, beispielsweise im Auto arbeiten oder sich im Internet informieren. Dabei wird er sicher und zuverlässig auf seinem mobilen Endgerät gewarnt, wenn das hochautomatisierte Fahrzeug an seine Grenzen stößt.

Vera Neumann arbeitet im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik und unterstützt die Wissenschaftler bei der Öffentlichkeitsarbeit.

DLR.de/TS

ERGEBNISSE DER STUDIE MOBIFAS

Im Oktober 2014 nahmen insgesamt 36 Probanden an einer Studie im 360-Grad-Simulator „Virtual Reality Laboratory“ des DLR teil. Das Fahrzeug der Probanden durchfuhr ein Autobahnscenario bis zu einer nahenden Baustelle automatisch. Vor der Baustelle sollte die Fahrzeugführung wieder an den Fahrer übergeben werden. Dieser wurde während der Fahrt mit einer haptisch und visuell anspruchsvollen Nebenaufgabe auf dem Tablet abgelenkt. Es galt, auf dem Tablet-PC einen größeren Kreis von vielen kleineren zu unterscheiden und durch Antippen auszuwählen. So konnte sichergestellt werden, dass die Probanden ohne Vorwissen zur Übernahmesituation in die Baustelle einfuhren. Während der Fahrt wurde das Verhalten der Probanden via Videokamera überwacht und die Fahrdaten (Beschleunigungs- und Bremsverhalten, Blinkerstatus und anderes) wurden aufgezeichnet. Das Ziel der Studie war es, ein Fahrerwarnkonzept zu erproben. Dabei stellte sich vor allem die Frage, ob die Einbindung des Mobilgeräts eine sicherere Übernahme durch den Fahrer ermöglicht als die Warnungs- und Signaltonausgabe über die Instrumente im Armaturenbereich. In der Tat wurde die Warnmeldung dort, wo der Fahrer hinguckt, nämlich auf dem Tablet, besser wahrgenommen.

Bergketten im Osten Grönlands bei 69 Grad Nord
im Lichte der tief stehenden Mitternachtssonne

GIPFELFLUG BEI MITTERNACHTSSONNE



Das über Jahrzehnte bewährte DLR-Atmosphärenforschungsflugzeug Falcon war im Mai 2015 für mehrere Wochen auf Island. Von dort aus unternahm die Falcon gemeinsam mit dem NASA-Forschungsflugzeug DC-8 Messflüge über dem Nordpolarmeer und über den Eisflächen Grönlands. Das Ziel: Hochpräzise Windmessungen. Ein neues Lasermessgerät, ein Wind-Lidar (Light Detection and Ranging), wurde im Flug erprobt und kalibriert. Ab 2017 soll die neue Technik an Bord des ESA-Satelliten ADM-Aeolus (Atmospheric Dynamics Mission) in den Weltraum starten und mit detaillierten Wind-Daten aus der Erdumlaufbahn heutige Wetterprognosen deutlich verbessern.

Mit der Falcon über Island und Grönland

Von Falk Dambowsky, Oliver Reitebuch, Philipp Weber

Voll bis unter die Kabinendecke bricht die Falcon am 11. Mai 2015 auf. Von Oberpfaffenhofen fliegt sie nach Island. Gerade einmal zwei Sitze sind in der Kabine verblieben, hinter den Messgeräten, die die Kabine füllen, in der sich eigentlich der Mittelgang befindet. Instrumentenschränke mit Anzeigen, Computern und vielen Leitungen benötigen weiteren Platz. Der Rest ist aufgefüllt mit Gepäck und der vorgeschriebenen Überlebensausrüstung bei Flügen über Wasser, dazu gehören Schwimmwesten und zwei aufblasbare Rettungsinseln. Über Prestwick in Schottland führt der Luftweg der Falcon D-CMET zum internationalen Flughafen Islands in Keflavik, etwa 50 Kilometer vor den Toren der Hauptstadt Reykjavik. 18 Tage mit rund 50 Flugstunden liegen vor der Crew. 13 Ingenieure, Wissenschaftler, Piloten und Techniker gehören ihr an. 18 Tage, die ihnen Glücksmomente der Forschung bringen, aber auch Stunden voller Aufregung.

Angekommen in Keflavik wartet bereits die DC-8 der NASA, die ebenfalls zwei Wind-Lidare an Bord hat. Damit sind die weltweit führenden Spezialisten für diese Form der Windmessung mit Lidar in diesen Tagen auf Island versammelt. Die NASA- und die DLR-Crew kennen sich teils bereits von den gemeinsamen Forschungsflügen 2014 in Kalifornien, als die Falcon hinter der DC-8 in enger Formation Messflüge zu Biotreibstoffabgasen absolvierte. Gemeinsam unternehmen die Teams jetzt parallele Messflüge in Richtung schottischer und grönländischer Küste. Immer im Blick müssen sie dabei den internationalen Flugverkehr zwischen Nordamerika und Europa haben, denn die Interkontinentalmaschinen nutzen in West-Ost-Richtung den starken Rückenwind des sogenannten Jetstreams über dem Nordatlantik, der auch für die Forscher und ihre Windmessungen besonders interessant ist.

Höhepunkt im doppelten Wortsinn

Zwei Wochen intensiver Forschungsflüge vergehen, dann öffnet sich ein lang ersehntes „Wetterfenster“ für einen besonderen Missionsteil. Der Höhepunkt soll für die Falcon diesmal ihr alleiniger Flug zum „Gipfel“ Grönlands werden. Es ist kein Berg im herkömmlichen Sinne, sondern dort, auf 3.200 Metern über dem Meeresspiegel, ist der höchste Punkt des gigantischen grönländischen Eistrückens. Und dort befindet sich eine amerikanische Forschungsstation, die mit aufsteigenden Messsonden verlässliche Vergleichsdaten zu den Windmessungen aus der Luft liefern kann.



Bild: NASA

Grönlands Ostküste mit seinen Gipfeln und im Mai noch gefrorenen Fjorden und See-Eis

FORSCHUNGSFLUG-KAMPAGNE ADM

Die Forschungsflugkampagne ADM (Atmospheric Dynamics Mission) ist ein Beitrag des DLR zur ESA-Mission ADM-Aeolus und wurde in Kooperation mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA durchgeführt. Beteiligt sind das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre, die DLR-Flugexperimente, die ESA und die Universität Leeds, die ein Wind-Lidar auf der grönländischen Gipfelstation installierte. Zudem wurde diese Mission in Kooperation mit der NASA durchgeführt. Weltweit erstmalig kamen dabei gleichzeitig vier Wind-Lidar-Instrumente auf zwei Flugzeugen zum Einsatz.

Die Windfelder werden derzeit noch optisch von Wettersatelliten über die Verfolgung der Wolkenbewegungen erfasst oder bodennah über den Ozeanen mittels Radar vom Satelliten vermessen. Über weite Höhenbereiche der Atmosphäre fehlen Windinformationen vollständig. Die Wind-Lidar-Messungen erlauben es zukünftig, direkt die Windgeschwindigkeiten vom Boden bis in 20 Kilometer Höhe mit deutlich höherer Präzision zu detektieren. Dabei nutzt die Technik Laserlicht einer genau bestimmten Wellenlänge, das in die Atmosphäre emittiert wird. Je nach Bewegung des Windfeldes wird das Licht mit einer nur minimal veränderten Wellenlänge zurückgestreut. Aus dem Wellenlängenunterschied errechnet sich die entsprechende Windgeschwindigkeit. Die Technik erlaubt es, zehn Milliardstel kleine Wellenlängenänderungen exakt zu erfassen.

Das Unternehmen beginnt bereits zwei Tage zuvor mit einem ausführlichen Wetterbriefing der DLR-Forscher. Im Licht des Videobeamers ist zu sehen, was die ersten zwei Wochen der Mission noch sehr unwahrscheinlich war: In der Nacht vom 21. auf den 22. Mai 2015 wird es über der Gipfelstation mitten auf Grönland keine Wolken geben. Die Forscher benötigen wolkenfreie Bedingungen, wie bei den Erprobungsflügen an den vergangenen Tagen Richtung Südgrönland, Nordschottland und über dem Nordpolarmeer, um das Wind-Lidar optimal testen zu können. Es kommt Euphorie auf. Die Vorbereitungen für den perfekten Forschungsflug werden intensiviert. Gemeinsam besprechen Wissenschaftler und Piloten den genauen Flugplan. Die Flugroute soll von Keflavik nordwestlich Richtung der grönländischen Ostküste verlaufen und von dort immer weiter nordwärts Richtung Inland führen, bis der höchste Punkt des grönländischen Eisschildes mit der dortigen Forschungsstation erreicht ist. Der Kraftstoff an Bord der Falcon wird für zwei Überflüge der Station und zwei Umkreisungen reichen, rechnen die Piloten aus. Danach muss der Rückweg auf gleicher Route eingeschlagen werden. Auch für die Mitarbeiter des abgelegenen arktischen Außenpostens auf Grönland ist es ein besonderes Ereignis, denn es kommt nur sehr selten vor, dass ein Forschungsflugzeug ihre Station passiert.

Die Nacht des Gipfluges

19:00 Uhr ist es am Abend des 21. Mai 2015, als der Bordtechniker die externe Stromversorgung der Falcon anschaltet, um die Messgeräte auf 25 Grad Celsius Betriebstemperatur zu heizen. Die Laser der Wind-Lidar-Geräte müssen in einem sehr engen Frequenzbereich Licht aussenden, um Windfelder exakt zu erfassen. Ein Spektrometer, welches das zurückgestreute Licht von Luftmolekülen analysiert, muss sogar auf ein Hundertstel Grad Celsius stabilisiert werden. Für die Wissenschaftler an Bord, die jetzt am Boden beginnen, ihre Detektoren, Sendergeräte und Analysetechniken zu kalibrieren, ist es ein besonderer Moment, vergleichbar mit der Aufbruchsstimmung in einem Basislager vor einer Gipfelbesteigung. Aus der Kabine hört man: „Das wird ein außergewöhnlicher Sunsetcruise heute Nacht!“

19:30 Uhr wird die Mannschaft von einem Systemausfall überrascht: Eines der Lidar-Instrumente macht Probleme. Genauer: Eine Kamera zum Justieren der empfindlichen Laser löst nicht mehr richtig aus. Ist das Problem noch kurzfristig zu beheben? Heute ist die einzige Nacht, die während der Islandmission den wolkenfreien Flug hinüber zum Gipfel Grönlands erlauben wird. Angespannt werden verschiedene Versuche unternommen, die Kamera wieder zum Laufen zu bringen. Ein Wechselbad der Gefühle unter Zeitdruck: Die Systeme herunterfahren, bängen, wieder hochfahren, alle Funktionen testen und hoffen, dass es wieder läuft. Nach einer Stunde ist es tatsächlich geschafft: Die Lidar-Laser sind voll einsatzbereit für den Gipflflug.

21:00 Uhr öffnet sich langsam das Hangartor. Doch bei einem Spalt von zwei Metern bleibt es plötzlich stehen. Davor wartet schon der Tankwagen. Die Falcon aber ist von einem Moment auf den anderen gefangen im Hangar und kann nicht mehr hinaus. Es gibt ein zweites Hangartor auf der Rückseite. Aber dorthin ist kein Durchkommen, seit vor wenigen Stunden von der isländischen Airline WOW-Air ein A320-Passagierjet zur Wartung hineingeschoben wurde. Die Gipfelmannschaft ist geschockt. Wird es noch möglich sein, den Gipfel rechtzeitig vor der heranziehenden Bewölkung zu erreichen? Noch einmal wird versucht, das Hangartor zurück- und wieder vorzuschieben. Es ist auf die Schnelle nichts zu machen. Der Hangar bleibt verschlossen. Da hat jemand eine Idee: „Wir können nur versuchen, die isländische Airline zu erreichen und diese fragen, ob sie für uns ihre Linienmaschine noch einmal aus dem Hangar ziehen kann!“ Die Airline wird



Blick in die Kabine der DLR-Falcon nach hinten mit den beiden Wind-Lidar-Instrumenten und dem DLR-Wissenschaftler Dr. Oliver Reitebuch vom Institut für Physik der Atmosphäre. Der optische Empfänger des Satelliten-Prototypen ALADIN ist zur thermischen Stabilisierung gut isoliert (graue Box, Bildmitte).

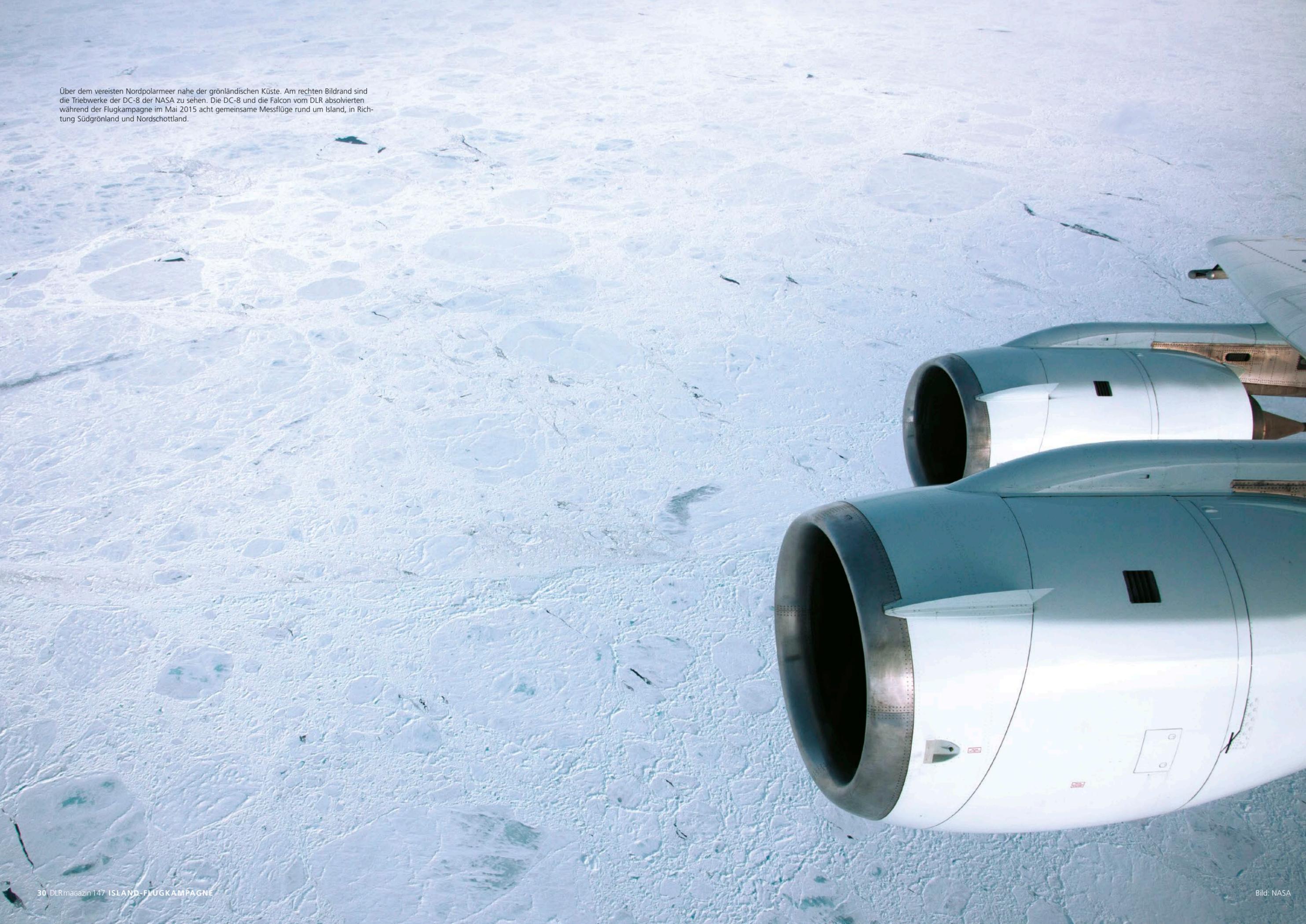
verständlich und ist zum Glück trotz der fortgeschrittenen Abendstunde bereit zu helfen. Allerdings wird ein massives Pushback-Fahrzeug benötigt. Das aber befindet sich bereits wieder im Einsatz bei den Passagierterminals am anderen Ende des internationalen Flughafens Keflavik. Parallel zu diesen Bemühungen um eine Lösung wird ein Elektriker per Telefon aus dem Feierabend geholt. Er soll das defekte Tor wieder zum Laufen bringen. Ein Wettlauf beginnt. Wird das Pushback-Fahrzeug rechtzeitig eintreffen oder schafft es der Elektriker, schneller zurück auf dem Flughafen zu sein?

21:20 Uhr trifft das Pushback-Fahrzeug tatsächlich zuerst am Hangar ein. Der A320 wird herausgeschoben und der Weg für die Falcon durch den Hinterausgang ist frei. Ganz überstanden ist die heikle Situation dennoch nicht. Die Falcon muss nun auf engstem Raum gewendet werden, ohne mit ihren Tragflächen das noch immer verschlossene vordere Hangartor zu streifen. Vier sanfte Züge und Schübe mit der Schleppstange sind nötig, dann ist die Falcon endlich befreit. Der Tankwagenfahrer hat geduldig auf die verhinderte Falcon gewartet, sodass es jetzt sehr schnell gehen kann.

22:30 Uhr rollt die Falcon im Abendlicht zur Startbahn und hebt mit nur halbstündiger Verspätung endlich ab. An Bord: zwei Piloten, ein Bordtechniker und zwei Wissenschaftler. Sie beginnen nun über der Wolkendecke, Schritt für Schritt alle Messgeräte anzuschalten. Die Falcon steuert auf einen Übergabepunkt mit Namen „HEKLA“ über dem Meer nordwestlich von Reykjavik zu. Hier übergibt die isländische Flugsicherung die Maschine an den Kollegen des nächsten Kontrollsektors. Es ist der einzige allgemein festgelegte Wegpunkt, den die Piloten bei diesem Forschungsflug überfliegen, alle anderen sind lediglich Koordinaten. Vor der fünfköpfigen Crew liegt noch ein Stück Polarmeer und dann die Weite des größten Festlandeisschildes der Welt. Hier oben, so weit im Norden, gibt es keine Radarabdeckung für die Flugsicherung. Die Piloten melden sich an vorher vereinbarten Wegpunkten bei der Flugsicherung, um ihre aktuelle Position durchzugeben.

23:30 Uhr erreicht die Falcon die Ostküste Grönlands. Die Berge ragen zu Beginn noch über das ewige Eis hinaus. Ein imposanter Anblick im Licht der tief über dem Horizont stehenden Sonne. Für die Wissenschaftler an Bord beginnt nun der spannendste Teil des Fluges. Über

Über dem vereisten Nordpolarmeer nahe der grönländischen Küste. Am rechten Bildrand sind die Triebwerke der DC-8 der NASA zu sehen. Die DC-8 und die Falcon vom DLR absolvierten während der Flugkampagne im Mai 2015 acht gemeinsame Messflüge rund um Island, in Richtung Südgrönland und Nordschottland.



dem Eis können sie anfangen, ihre Geräte zu kalibrieren. Sie checken das Frequenzspektrum der ausgehenden Laserpulse. Man sieht, dass es noch ein klein wenig vom Optimum abweicht. „Wir regeln kurz die Frequenz des Lasers etwas nach“, heißt es. Dann stimmen die Werte auf der Anzeige. Ebenso wird die Anzeige für die atmosphärische Rückstreuung des Laserlichts geprüft. Von den ausgesendeten Photonen eines Pulses findet in der Regel nur ein Bruchteil den Weg in die Detektoren an Bord. Sie tragen die wertvolle Information über die Geschwindigkeit der Winde unter der Falcon, denn bei der Rückstreuung verschiebt sich je nach Windgeschwindigkeit die Wellenlänge des Lichts ein wenig. Immer tiefer versinken die Berge landeinwärts im bis zu 3.000 Meter mächtigen grönländischen Eispanzer. Bald verschwinden sie ganz hinter einem gleichmäßig weißen Horizont. Beim Blick aus dem Cockpitfenster erstreckt sich das konturlose Weiß in alle Richtungen. Keinerlei Orientierung mehr für die Augen. Was bleibt, sind die Positionsreports, die aus dem Cockpit über Funk an den zuständigen Controller weitergegeben werden: „Delta Charly Mike Echo Tango checked position 7230North 03645West, Flightlevel 360, Mach.71 at time 0006, estimating 7236North 04019West at time 0016, 7230North 03645West next“.

00:10 Uhr ist es so weit. Der 3.200 Meter hohe Gipfel Grönlands ist erreicht. Nur noch zehn Minuten Verspätung zeigt die Uhr, trotz der vorangegangenen Unwägbarkeiten. Im Licht der Mitternachtssonne sieht man das Summitcamp 7.500 Meter unter der D-CMET. Wenige fast unscheinbare Erhebungen zeugen von der Station auf der glatten weißen Oberfläche mitten auf dem grönländischen Eisrücken. Nach dem ersten Überflug leiten die Piloten das geplante Kreisen um die Gipfelstation ein: „Request to circle overhead summit camp for 15 minutes at flightlevel 360“, geben sie über Funk an die Flugsicherung durch. Der Controller auf der anderen Seite bestätigt „Cleared to circle, next report when finished“. In der Kabine herrscht nun geschäftige Ruhe. Konzentriert schauen die Wissenschaftler auf ihre Anzeigen, während die Falcon mit einem sogenannten „Procedure Turn“ umkehrt, um danach über dem Summit Camp zwei Vollkreise mit 20 Grad Querneigung zu fliegen. Der Laser ist nun durch ein großes optisches Fenster im Rumpf der Falcon senkrecht nach unten gerichtet. Jetzt heißt es, die besonders wichtigen und lang ersehnten Testmessungen des neuen Lidars über der Station fehlerfrei zu absolvieren.

Die amerikanischen Wissenschaftler am Boden haben kurz zuvor eine Radiosonde gestartet, die besonders präzise Vergleichswerte für die Tests liefert. Zudem ragt der Laserstrahl eines Boden-Lidar-Geräts in den Himmel über dem Gipfel, was weitere Vergleichswerte liefert. Dieses Boden-Lidar der englischen Universität in Leeds wurde speziell für diese Messkampagne auf die Gipfelstation geflogen. Es ist einer der perfekten Orte auf dieser Forschungsflugkampagne, um das neue System für den späteren Weltraumeinsatz zu validieren. Das Lidar an Bord der Falcon ist zwar nur halb so groß wie das Gerät, das im Jahr 2017 mit der ESA-Mission ADM-Aeolus in eine Erdumlaufbahn geschossen werden soll, doch es hat exakt die gleiche Funktionsweise. So können die Wissenschaftler verschiedenste Windmuster, Aerosol- und Wolkenprofile schon einmal aus der Luft messen, damit dies später erstmals überhaupt mit einem Lidar aus dem Weltraum gelingt. An Bord fällt derweil ein prüfender Blick auf die Qualität der gemessenen Daten, an denen die Algorithmen für das zukünftige Satelliten-Lidar getestet werden.

00:30 Uhr sind glückliche und erleichterte Crew-Gesichter zu sehen. Die Piloten sind noch ein zweites Mal, schon etwas abseits von der Station, gekreist. Nun sind die wichtigen Gipfelmessungen „im Kasten“. Es bleibt etwas Zeit, die fantastische Stimmung im Licht der Mitternachtssonne zu genießen. Jemand sagt: „Es ist schon toll, wir fliegen zu einem der wissenschaftlichen Außenposten der Menschheit – einfach fantastisch!“

02:00 Uhr nähert sich die Falcon wieder der isländischen Küste und schwenkt zur Landung auf dem Flughafen Keflavik ein. Den ganzen Flug über hatte die Mittsommernachtssonne die Crew begleitet, nun kurz vor der Landung verschwindet sie mitten in der Nacht auf dem Weg nach Süden doch noch kurz hinter dem Horizont. Es ist der passende Schlussakkord einer ungewöhnlich schönen und aufwühlenden Forschungsexpedition. Die Falcon setzt auf und kurze Zeit später rollt sie vor den Hangar, wo sich das vorhin noch defekte Tor öffnet. Eine simple Sicherung war am Vorabend defekt gewesen, der zuständige Elektriker konnte sie nach seinem Eintreffen finden und austauschen. Eine Nacht im Freien für die Falcon D-CMET wäre für die empfindlichen Geräte an Bord bei isländischen Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt gefährlich geworden. „Da hätte wohl jemand die restliche Nacht mit einem Heizlüfter an Bord verbringen müssen“, hört man erleichtert

jemanden sagen. Aber zum Glück ist diese unangenehme Verlängerung nach dem glücklichen Nachtflug nicht nötig und die Missionsetappe kann ganz regulär mit der Sicherung der wertvollen Messdaten ausklingen.

Weitere Flüge zusammen mit der NASA

In den folgenden Tagen finden noch weitere Messflüge, dann wieder gemeinsam mit der DC-8 der NASA statt. Dabei werden auch bereits im Orbit befindliche Wettersatelliten für Vergleichsdaten unterflogen. Am Ende sind es acht gemeinsame Forschungsflüge beider Partner.

Die Flugkampagne der DLR Falcon wurde in Kooperation mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA in Vorbereitung der Satellitenmission ADM-Aeolus durchgeführt. Der Start dieser Mission ist derzeit für 2017 geplant. Mit einer VEGA-Rakete soll der neue Wettersatellit auf eine polare Umlaufbahn in 410 Kilometer Höhe befördert werden. Die Falcon wird weiter wie schon einige Male in ihrer vierzigjährigen Geschichte neue Prototypen der Satellitenmesstechnik in der Luft erproben, bevor diese im Weltraum zum Einsatz kommt.

Autoren: Falk Dambowsky ist DLR-Luftfahrtredakteur. Oliver Reitebuch ist Seniorwissenschaftler am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre und leitete die ADM-Flugkampagne. Philipp Weber ist Testpilot in der DLR-Einrichtung Flugexperimente.

s.DLR.de/173o

GEMEINSAM VERSTEHEN, WAS IN DER ATMOSPHÄRE PASSIERT

Kurzinterview mit Dave Emmitt, wissenschaftlicher Leiter der NASA-Mission PolarWinds

Welche Rolle spielt die NASA bei der gemeinsamen Mission in Island?

• Unsere Mission in Island verfolgt zwei Ziele: Das erste Ziel besteht darin, die ESA bei den Vorbereitungen auf den Start von ADM-Aeolus, einer Satellitenmission mit einem laserbasierten Windmessinstrument, zu unterstützen. Genauer gesagt führen wir mit flugzeuggetragenen Wind-Lidar-Systemen spezifische Flugmanöver durch, um einen weltraumbasierten Windsensor zu kalibrieren. In einigen Fällen fliegen wir in einer Formation mit der Falcon des DLR, in der sich der ALADIN-Demonstrator (Atmospheric Laser Doppler Instrument) befindet – die Prototypen-Version des Aeolus-Instruments. Das zweite Ziel bezieht sich auf die wissenschaftliche Mission PolarWinds der NASA mit dem Schwerpunkt der Validierung numerischer Wettermodelle. Dabei liegt unser Hauptaugenmerk auf den bodennahen Winden, insbesondere knapp über dem grönländischen Eis. Es gibt einen breiten Konsens darüber, dass wir besser verstehen müssen, was in der Atmosphäre im Bereich der Polarregionen passiert. Es handelt sich dabei um eine Region, für die sehr wenige direkte Messungen vorliegen, insbesondere in Oberflächennähe.

Wie lange arbeiten Sie bereits mit dem DLR an dieser Mission?

• Seit mehr als 30 Jahren beschäftige ich mich mit der Meteorologie der Tropen und seit den Achtzigerjahren arbeite ich mit flugzeuggetragenen Wind-Lidar-Systemen. In den letzten drei Jahren habe ich jedoch einen Teil meiner Zeit den Polarregionen gewidmet. Meine Verbindungen zur Atmosphärenforschung in Deutschland gehen auf meine Zeit als Postdoktorand in Hamburg in den Siebzigerjahren zurück. Ab den Neunzigerjahren nahmen Lidar-Forscher des DLR regelmäßig an den Treffen von Arbeitsgruppen zum weltraumbasierten Doppler-Wind-Lidar der NASA und der National Oceanic and Atmospheric Administration, kurz NOAA, in den USA teil. Seitdem besteht bei der NASA ein großes Interesse an einer Zusammenarbeit mit dem DLR und der ESA bei Lidar-Missionen. Angesichts der bedeutenden Expertise des DLR im Bereich der Wind-Lidar-Systeme war unser Wunsch nach einer Zusammenarbeit an einem ADM-Projekt selbstverständlich. Wir haben eigene Wind-Lidar-Systeme auf der DC-8, darunter ein Direktempfangs-Lidar, ähnlich dem ALADIN-Demonstrator auf der Falcon. Ich will hier noch anfügen, dass dies die allererste Flug-Mission ist, bei der vier DWLs, also Doppler-Wind-Lidar-Systeme, in einer Formation zusammen geflogen sind. In den USA haben wir fünf DWLs auf verschiedenen Flugzeugen. Diese Aktivitäten haben das Ziel, in der Zukunft auch ein satellitengetragenes Wind-Lidar im Weltraum zu fliegen.

Warum fliegen zwei Flugzeuge mit jeweils zwei Wind-Lidar-Systemen?

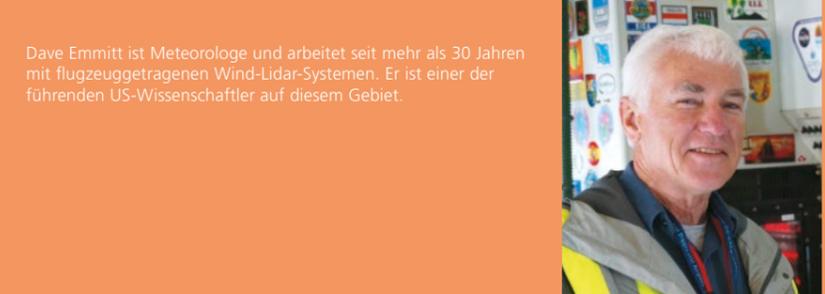
• Wir testen die Kalibrierung des Aeolus-Wind-Lidars der ESA. Wenn der ALADIN-Demonstrator auf der Falcon senkrecht nach unten schaut, während die Piloten das Flugzeug in engen Kreisen, also in einem 20-Grad-Rollwinkel, fliegen, misst das Lidar nicht den vollständigen Windvektor, da für das Windprofil mehrere Strahlrichtungen nötig sind. Die DC-8 führt dann Lidar-Messungen durch, aus denen das vollständige Windprofil abgeleitet werden kann. Zusätzlich braucht es für die Kalibrierungsmessungen des ALADIN-Demonstrators Temperaturprofile, um die Beobachtungen zu korrigieren. Die DC-8 war daher mit einem Dropsonden-System zur Messung von Wind-, Temperatur- und Feuchte-Profilen ausgestattet. Diese Dropsonden wurden von der DC-8 in der Nähe der kreisenden Falcon abgeworfen.

Wie sah die Formation der Flugzeuge aus?

• Am Anfang wurde in ziemlich enger Formation geflogen. Die DC-8 flog nur etwa 330 Meter unter der Falcon und nur ein paar hundert Meter hinter ihr. Bedenken der Flugsicherung führten später zur Vergrößerung der Abstände auf mehrere Kilometer.

Sind für die Zukunft weitere gemeinsame Projekte geplant?

• Ja, vor allem wenn der ESA-Satellit gestartet wird. Nach dem Start haben wir bestimmt wieder die Gelegenheit zur Zusammenarbeit mit dem DLR, um das Satelliten-Instrument unter einer Vielfalt atmosphärischer Bedingungen zu kalibrieren und zu validieren. So lange der Satellit in der Umlaufbahn bleibt, wird es zahlreiche Möglichkeiten geben, ihn zu unterfliegen und dabei ständig unsere Kenntnisse zur Leistung des Instruments und zur Nutzung der Daten für die Wissenschaft zu verbessern.



Die Falcon des DLR und die DC-8 der NASA auf dem internationalen Flughafen von Island in Keflavik während der ADM-Kampagne im Mai 2015



RASANTE ENTWICKLUNG UND ZÄHER VERKEHR

Chinesische Großstädte als Forschungsgegenstand – Interview mit dem Verkehrssystemtechniker Dipl.-Ing. Alexander Sohr

Autolawinen, verstopfte Kreuzungsbereiche und schleppender Verkehr bestimmen das tägliche Bild auf den Straßen der Weltmetropolen. Infolge andauernder Landflucht lebt seit 2007 erstmals mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in urbanen Gebieten. Weltweit gibt es 29 Megacities, allein 17 auf dem asiatischen Kontinent, fünf davon in China. Und die Zahl wird weiter ansteigen. Darüber hinaus gibt es etwa 300 Millionenstädte, in denen eine bis anderthalb Millionen Menschen leben. Um dem Mobilitätsbedarf der dort lebenden Bevölkerung gerecht zu werden, sind neue Verkehrskonzepte gefragt. Das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik ist seit mehr als zehn Jahren unterwegs in China, um die Behörden dort bei der Bewältigung des riesigen Verkehrsaufkommens zu beraten und mit nachhaltigen Verkehrsmanagementkonzepten zu unterstützen. Wie sich die deutschen Verkehrsforscher dort einbringen, welche Erfolge sie erzielt haben und welchen Herausforderungen sie sich zu stellen hatten, erklärt Dipl.-Ing. Alexander Sohr in einem Gespräch mit Melanie-Konstanze Wiese, verantwortlich für die Standortkommunikation im DLR Berlin.



Zur Person
Dipl.-Ing. Alexander Sohr studierte Technische Informatik und arbeitet seit 2005 im DLR-Berlin in der Abteilung Verkehrsmanagement. Er beschäftigt sich dort mit Verkehrsproblemen in (Mega)cities.

Das Projekt
Metrasys wurde als eins von zehn Projekten im Rahmen des Programms „Forschung für nachhaltige Entwicklung der Megastädte von morgen – Energie- und klimaeffiziente Strukturen in urbanen Wachstumszentren“ (Sustainable Mobility for Mega Cities) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Hierbei werden für den Bereich Mobilität und Verkehr Lösungen für dringliche Probleme in heutigen und zukünftigen Megastadt-Regionen entwickelt.

Die Stadt Hefei
Hefei ist die Hauptstadt der Provinz Anhui und liegt etwa 450 Kilometer westlich von Shanghai. Sie bildet damit die Schnittstelle zwischen Zentralchina und der boomenden Küstenregion. Das Stadtgebiet umfasst 7.266 Quadratkilometer, von denen 640 Quadratkilometer bereits urbanisiert sind. Die Gesamtbevölkerung in der Stadtregion Hefeis beträgt rund sieben Millionen Einwohner.

Herr Sohr, Sie befassen sich seit einigen Jahren mit dem Verkehr chinesischer Städte, insbesondere mit Hefei. Warum diese hierzulande wenig bekannte Stadt?

▪ Gegenstand unseres Projekts Metrasys sind Verkehrsprobleme zukünftiger Megacities. Hefei, die Hauptstadt der Provinz Anhui, ist derzeit zwar noch keine Megacity, also keine Stadt mit mehr als zehn Millionen Einwohnern, befindet sich aber auf dem besten Weg dahin. Als wir 2009 das Projekt starteten, hatte Hefei etwa fünf Millionen Einwohner. Zu Projektende 2013 waren es dann schon etwa sieben Millionen. Nach offiziellen Angaben wächst die Bevölkerung jährlich um etwa 200.000 bis 300.000 Einwohner. Es ist also abzusehen, wann die Stadt zur Megacity wird. Das machte Hefei für uns zu einer Modellstadt par excellence.

Was macht die Zusammenarbeit mit dem DLR für China so interessant? Und warum ist China für die DLR-Verkehrssystemtechniker attraktiv?

▪ Der Bedarf an Technologie, Wissen und Erfahrung ist in China riesengroß. Wie geht man mit Verkehr um, der zunehmend auf das Auto zentriert ist? Was gibt es für Technologien, um den Verkehr zu optimieren? Für uns wiederum ist die Zusammenarbeit deshalb so interessant, weil uns chinesische Städte aufgrund der Größen einzigartige Forschungsmöglichkeiten bieten. Mit derartigen Verkehrsmengen umzugehen, ist eine große Herausforderung. Europäische Städte bieten uns mangels Größe nicht die Möglichkeit, Datenmengen dieser Größenordnung zu verarbeiten. Deutschlands bevölkerungsreichste Stadt ist Berlin mit knapp 3,5 Millionen Einwohnern. Obwohl deutsche Städte nicht so schnell wachsen, können wir aber doch einiges mit unseren Ballungsräumen vergleichen.

Worum ging es in Ihrem Projekt genau?

▪ In Metrasys ging es darum, wie man den schnell wachsenden Verkehr in einer Stadt wie Hefei nachhaltig entwickeln kann. Neben der aktuellen Verkehrslage, die zu diesem Zeitpunkt schon sehr angespannt war, mussten zukünftige Probleme erfasst werden. Hierzu arbeiteten wir eng mit den dortigen Behörden zusammen und haben nachhaltige Lösungen im Verkehrsmanagementcenter der Polizei von Hefei implementiert. Darüber hinaus unterstützten wir das Verkehrsplanungsamt. Wir entwickelten damals Szenarien für den Verkehr von 2020 und 2030, um den Behörden zu zeigen, was passiert, wenn sich der Verkehr weiter in dieser Geschwindigkeit entwickelt. Wo geht die Reise hin, wenn man dem vorgeschriebenen Stadtentwicklungsplan folgt? Anhand dieser Szenarien konnten wir Alternativen aufzeigen und herausarbeiten, welche Wege es gibt, um die Stadt ein wenig umweltfreundlicher zu gestalten.

Projektstart war 2009 – bis zum Erfolg war es doch ein weiter Weg, oder?

▪ In der Tat. Bevor man Verkehrsmanagementlösungen anwendet, muss man die aktuelle Lage erfassen und verstehen. Wir haben uns zunächst angeschaut, wie die Stadt wächst und welche Bedingungen vorherrschen. Es galt, die Verkehrslage der Stadt überhaupt erst einmal flächendeckend zu erfassen. Wir mussten den Behörden darstellen, wo genau die Verkehrsprobleme entstehen. Als Informationsgrundlage nutzten wir das Floating Car Data System, also die Datengewinnung aus dem fließenden Verkehr, wie wir sie auch in Europa beispielsweise in Berlin seit einigen Jahren erfolgreich praktizieren. Das System beruht auf GPS-Daten, die von den Fahrzeugen – in Berlin sind es Taxis – an eine Verkehrszentrale übermittelt werden, wo sie Basis von Staumeldungen werden. In einem zweiten Schritt haben wir ein kameragestütztes Intersection Monitoring System an verschiedenen Kreuzungen installiert. Das bot uns einen differenzierten Blick darauf, wie sich der Verkehr in diesem Kreuzungsbereich verhält. Man sieht, wie Verkehrsregeln befolgt werden und wie die Infrastruktur genutzt wird. Das ist für uns wichtig, denn der chinesische Verkehr ist schon anders als der in Deutschland.

Was ist in China anders? Führt der chinesische Autofahrer anders als ein europäischer?

▪ Ganz klar: Ja. Das beginnt schon mit der Einstellung zum Auto. Es ist ein Statussymbol, was eben dazu führt, dass es so viele Fahrzeuge gibt. In Hefei waren 2013 1,4 Millionen Fahrzeuge zugelassen, 2010 waren es erst etwas mehr als eine halbe Million. In Shanghai versucht man dem entgegenzuwirken, indem allein für die Zulassung mittlerweile 10.000 bis 20.000 Euro bezahlt werden müssen. Auch in der Fahrweise gibt es große Unterschiede. Straßenmarkierungen



Für uns Europäer erscheint er als ziemliches Gewusel und man fragt sich, wie das alles funktioniert. Vorausschauendes Fahren zum Beispiel funktioniert dort nur in einem kleineren Radius – für die nächsten fünf Meter. Dadurch ist der gesamte Verkehr etwas langsamer als in Europa, weil man sich nie sicher sein kann, ob die Vorfahrt wirklich beachtet wird.

Apropos andere Kulturen: Wie gestaltete sich die Projektarbeit mit den chinesischen Kooperationspartnern?

▪ In China spielt das Einhalten der Hierarchie eine große Rolle. Eine gute Vernetzung ist unabdingbar. So war es für uns zu Projektbeginn sehr wichtig, einmal beim Polizeichef gewesen zu sein, denn seine Meinung zum Projekt ist für das Weiterkommen ausschlaggebend. Wir konnten ihn vom praktischen Nutzen des Projekts überzeugen. Danach funktioniert die Zusammenarbeit auf unteren Ebenen sehr gut.

Konnte das DLR mit seiner Arbeit in Hefei tatsächlich etwas bewirken?

▪ Definitiv. Wir sind sehr stolz, dass unser Projekt tatsächlich zur Anwendung kam. Heute liegen die Verkehrsinformationen der Polizei im Verkehrsmanagementcenter vor und werden dort genutzt. Aber auch im Stadtplanungsamt sind unsere Ergebnisse in das Handbuch für die Quartiersplanung eingeflossen und bilden die Grundlage für neue Planungsprozesse.



Ist Metrasys auch auf andere chinesische Städte übertragbar?

▪ Ein Fokus des Projekts war, dass die Konzepte genau das sein sollen: übertragbar, auch auf andere Städte weltweit. Mittlerweile sind wir auch in Shanghai sehr gut vernetzt. In Zhengzhou, der Hauptstadt von Henan, der Nachbarprovinz von Anhui, hatten wir auch schon ein Folgeprojekt. Und das Floating Car Data System dient in vielen anderen chinesischen Städten als Informationsgrundlage für das Verkehrsmanagement.

Funktionieren die entwickelten Konzepte überall?

▪ Eins zu eins übertragbar sind die Konzepte sicherlich nicht. Universale Lösungen fußen auf europäischen Vorbildern und sind natürlich nicht einfach auf chinesische Städte anwendbar. Gründe dafür sind unter anderem die Größe und die Geschwindigkeit des Verkehrs, die dort ganz anders sind. Dennoch sind einige Anregungen durchaus sinnvoll, wie zum Beispiel verkehrsberuhigte Zonen in der Innenstadt zu schaffen. Hochstraßen und sogenannte Ringroads können in einer von Straßen durchschnittenen Stadt neue Räume schaffen, Räume, die dann zu Fuß wieder erlebbar werden. Doch das sind auch keine Allheilmittel gegen Verkehrsstau und Kapazitätsprobleme.

Nachhaltigkeit und Klimaschutz. War das ein Thema?

▪ In China wurden Städte inzwischen gesetzlich verpflichtet, Luftschadstoffe zu messen, zu protokollieren und die Daten weiterzugeben, mit dem Ziel, sie vergleichbar zu machen. Dies soll gleichzeitig den Anreiz geben, mehr für den Klimaschutz zu tun. Als wir mit Metrasys angingen, gab es kaum Schadstoffmessungen, daher war für uns das Modellieren der Emissionen relativ schwierig. Wir hatten dann nur Messdaten von wenigen Tagen. Inzwischen gibt es flächendeckende Schadstoffmessungen.

Was kann das Verkehrsmanagement im Hinblick auf die Reduktion von Emissionen tun?

▪ In erster Linie geht es hier um neue Strategien zum Vermeiden oder Verlagern von Verkehr. Optimierung des Verkehrs bedeutet weniger Stau und somit auch weniger Emissionen. Die Maßnahmen dafür müssen gebündelt werden. Erst gemeinsam haben sie dann den entsprechenden Effekt auf das globale Klima.

Ist das DLR nach Projektende noch weiter in Hefei tätig?

▪ Ja, wir sind vor Ort weiter aktiv. Mit unserem Kooperationspartner aus Hefei haben wir ein gemeinsames Forschungslabor hier im DLR, das vom Ministry of Science and Technology of China, kurz MOST, finanziert wird. Dort entwickeln wir Ansätze weiter und gehen zusammen in neue Projekte. MOST finanziert ein Projekt zur Weiterentwicklung des Intersection Monitoring. Darüber hinaus gibt es derzeit Gespräche zu einem Verkehrsmanagementprojekt einer kleineren Stadt in der Nähe von Hefei. Das ist eine von den 49 Millionenstädten Chinas. Das könnte sich zu einem Pilotprojekt entwickeln, von dem viele weitere profitieren können. Zudem haben wir ein gemeinsames Projekt mit dem Institut für Optik und Feinmechanik der Chinesischen Akademie der Wissenschaften (CAS), bei dem es um die Erfassung verkehrsbedingter Schadstoffe im Kreuzungsbereich geht. Ziel hierbei ist, den Schadstoffausstoß durch einen optimalen Verkehrsfluss zu minimieren.



Vielen Dank für das Gespräch.

STERNE UND FLUGHÄFEN



Astronomen und Luftfahrtforscher verbindet mehr als der Blick zum Firmament

Von Prof. Dr. Johannes Reichmuth

Das heutige Wissen über die Entwicklung von Sternen resultiert aus Beobachtungen des Nachthimmels. Dabei wurden auch die Leuchtkraft und die Farbe von Sternen bestimmt. Werden diese Größen für alle Sterne vermessen und in ein Diagramm übertragen, wird deutlich, dass sich Leuchtkraft und Farbe nicht zufällig verteilen: In einzelnen Bereichen lassen sich viele Sterne finden, in anderen existieren kaum Sterne. Aus mathematischen Modellen, welche die Leuchtkraft und Farbe von Sternen anhand ihrer Eigenschaften, wie etwa der Masse und der chemischen Zusammensetzung, darstellen, können ganze Sternentwicklungsverläufe vorhergesagt werden. So weiß man heute, dass sich die Sonne im Laufe ihrer Entwicklung nach Verbrauch ihrer Wasserstoffreserven ausdehnen, die Leuchtkraft erhöhen und mehr rötlich strahlen und zu einem Roten Riesen werden wird. Auch der wird sie nicht ewig bleiben, sondern am Ende ihrer Entwicklung zum Weißen Zwerg werden.

Von jeher üben Sterne eine große Faszination auf die Menschen aus. Besonders natürlich auf die Astronomen, aber auch auf Wissenschaftler ganz anderer Disziplinen. Luftfahrtforscher zum Beispiel. Es gibt in der Tat Gemeinsamkeiten zwischen Sternen und Flughäfen.

Betrachtet man die heute beobachtbaren Sterne in einem Diagramm, so werden verschiedene Entwicklungsstadien von Sternen sichtbar. In mathematischen Modellen erfasst, kann man sie für die Geschichte und Vorhersage einzelner Sternentwicklungen über Milliarden von Jahren nutzen. Das DLR-Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr unternimmt diese Art von Modellrechnungen für Flughäfen. Dafür werden weltweit alle Flughäfen mit Linienflugverkehr in den Blick genommen, um dann die Flugpläne jedes einzelnen Flughafens Jahr für Jahr zu untersuchen. Was bei den Sternen als Leuchtkraft gemessen wird, findet bei den Flughäfen seine Entsprechung in der Anzahl der jeweils geplanten Bewegungen pro Jahr. Anstatt der Farbe, die bei der Analyse der Sterne bestimmt wird, ist es bei Flughäfen die Auslastung. Man geht also der Frage nach, wie stark ein Flughafen an seiner Kapazitätsgrenze arbeitet.

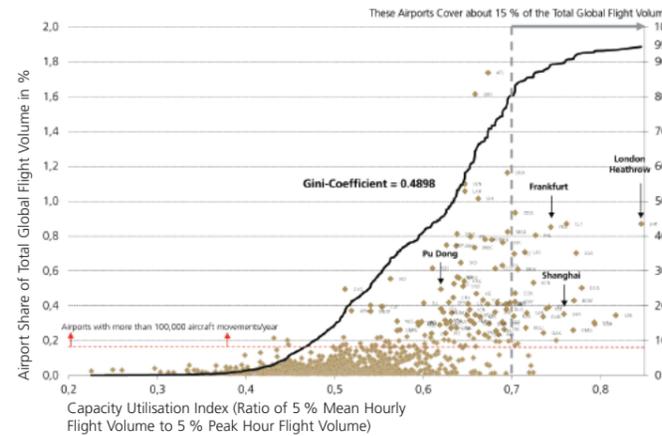
Um das Maß der Auslastung eines Flughafens zu bestimmen, muss man eine Grenze in der stündlichen Bewegung auf einem Flughafen bestimmen. Die maximale Kapazität eines Flughafens wird durch die Sicherheitsabstände zwischen den einzelnen Flugbewegungen, die einzuhalten sind, festgelegt. Diese sind von Wetterbedingungen, der Art des Verkehrs, Ausrüstung und verfügbaren Pisten abhängig. Die dadurch schwankenden Stundenkapazitäten machen es nicht einfach, über das Jahr Flughafen-Kapazitäten vorherzusagen.

Bietet man zu viele Flüge in einer Stunde an, wird das Risiko, den Flugplan nicht mehr einhalten zu können, größer. Es liegt also im Interesse der Airlines und des Flughafens, einen Kompromiss zwischen dem Risiko einer temporären Überlastung und der Verlässlichkeit für die Kunden zu finden.



Ein stark ausgelasteter Flughafen kann zum „Roten Riesen“ werden

Flughäfen weltweit erfasst nach ihrer Verkehrsstärke und Kapazitätsauslastung: Im oberen Bereich Flughäfen mit größeren Bewegungszahlen. Diese finden sich bevorzugt rechts bei größeren bis sehr großen Auslastungsgraden. Bewegungsstarke Flughäfen mit moderaten Auslastungsgraden gibt es nur sehr wenige. Verkehrsstarke Flughäfen mit niedriger Auslastung existieren kaum.



Ein Maß für die Kapazität (pro Stunde) eines Flughafens kann man für verkehrstärkere Flughäfen finden, indem man aus den geplanten Bewegungen jeder Stunde eines Jahres die Spitzenstunden herausfiltert. Dazu werden alle Stunden analysiert und nach Häufigkeit der Flugbewegungen sortiert. Die Stunde mit den meisten Flugbewegungen, die nur in fünf Prozent der analysierten Stunden erreicht oder überschritten wird, wird als typische Spitzenstunde bezeichnet und ist eine gute Näherungsgröße für die Kapazität des einzelnen Flughafens.

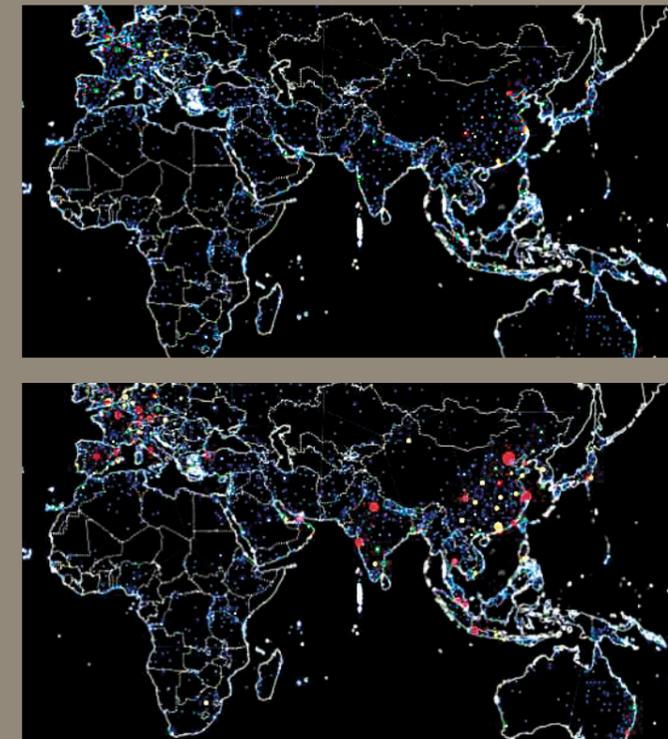
Ob jetzt ein Flughafen weniger oder mehr ausgelastet ist, kann man am Verhältnis der mittleren Stunde zur typischen Spitzenstunde eines Jahres ablesen. Bei einem nicht stark ausgelasteten Flughafen findet sich ein größerer Abstand von Spitzenstunde zu mittlerer Stunde als bei einem Flughafen, der schon im „roten Bereich“ größerer Auslastung arbeitet. In einem solchen Fall gibt es bereits eine größere Anzahl von Stunden, in welchen die Bewegungen der typischen Spitzenstunde (fast) erreicht werden.

Mit dem so gewonnenen Auslastungsgrad haben wir, um im „Sternbild“ zu bleiben, auch die „Farbe“ eines Flughafens messbar gemacht. Der Entwicklungspfad für einen verkehrsreichen Flughafen könnte also folgendermaßen aussehen: Der Flughafen startet mit einer einzelnen Piste und würde bei steigender Nachfrage an Bewegungen seine Auslastung steigern. Nach einiger Zeit wird der Flughafen eine weitere Bahn benötigen, um einer Überlastsituation zu begegnen. Ist ein Ausbau zeitig genug erfolgt, wird die Auslastung am Anfang auf ein mittleres Niveau absinken. Im weiteren Verlauf steigt die Auslastung wieder und der Flughafen benötigt eine weitere Bahn, um die Überlastung zu verhindern. Viele der großen Flughäfen haben eine solche Entwicklung genommen. Flughäfen wie München, welche als Ersatz für einen überlasteten Flughafen an einem anderen Standort neu entstanden, starteten ihre Entwicklung gleich mit einem Zweibahnssystem.

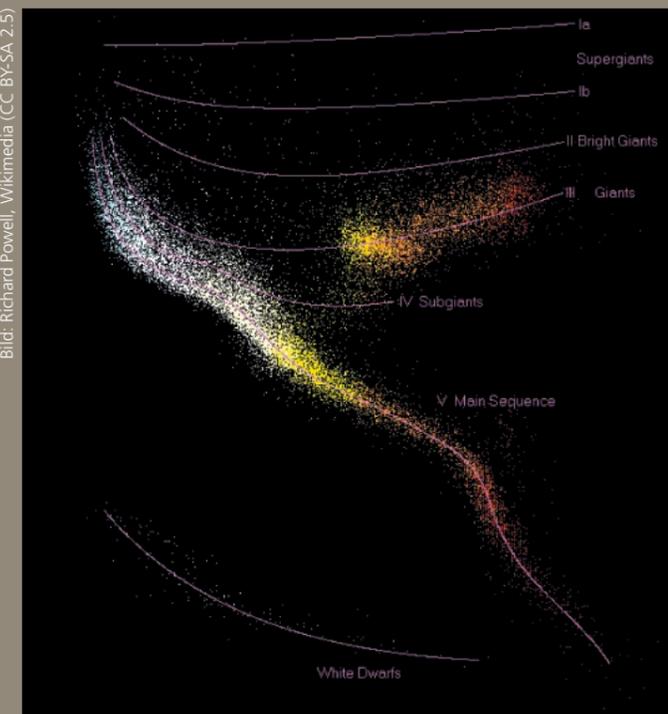
Bleibt ein Ausbau wie im Fall des Flughafens London Heathrow aus, der seit Jahren überlastet ist, können die Flugbewegungen kaum gesteigert werden und Stagnation tritt ein. Gibt umgekehrt beispielsweise eine Fluglinie ihren Betrieb auf, so kommt es zum Rückgang der Bewegungszahlen. Wenn das eine Fluglinie ist, die den Flughafen dominiert, so kann der Flughafen ähnlich wie ein Stern, der seine Leuchtkraft verliert, zu einem Weißen Zwerg werden. Koppelt man solche Auswertungen der globalen Kapazität mit Wachstumsprognosen, so kann man die künftige Auslastung der Flughäfen weltweit abschätzen. Es lassen sich so jene Flughäfen identifizieren, für die Handlungsbedarf besteht, ihre Infrastruktur zur Steigerung der Kapazität auszubauen.

Professor Dr. Johannes Reichmuth leitet das DLR-Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr.

DLR.de/FW



Auslastung der Flughäfen weltweit 2010 (oben) und 2030 (unten): Viele Flughäfen in den globalen Ballungszentren werden bei heutiger Infrastruktur künftig überlastet sein (große rote Kreise). Viel mehr Flughäfen aber werden wenig Verkehr aufweisen, nicht mehr so stark ausgelastet sein und mit wirtschaftlichen Problemen zu kämpfen haben (kleine blaue Kreise).



Sterne eingetragen in einem Hertzsprung-Russel-Diagramm: Auf der vertikalen Achse ist die absolute Helligkeit der Sterne (nach oben hin steigend), auf der horizontalen Achse die Oberflächentemperatur (links hoch, mehr bläulich, rechts niedrig, mehr rötlich) aufgetragen.

VERSTEHEN, WIE DER SCHADEN ENTSTEHT

Neuer Prüfstand zeigt, wie Vulkanasche auf Flugzeugturbinen wirkt

Von Dr. Ravisankar Naraparaju

Als im Jahr 2010 der Vulkan Eyjafjallajökull auf Island ausbrach und seine Aschewolke den Flugverkehr in Europa erheblich behinderte, wurde offenbar, dass man noch genauer erforschen muss, was im Detail passiert, wenn Asche ins Triebwerk gelangt. Und das so realitätsnah wie möglich. Seit Kurzem steht für diese Forschungsarbeiten ein Prüfstand zur Verfügung, in dem die Wirkungen von Vulkanasche auf Flugzeugturbinen nachgestellt und genau untersucht werden können. Dieser Prüfstand wurde vom DLR, dem Labor für Umweltmesstechnik der Hochschule Düsseldorf und der Firma Hammer Engines GmbH in einem gemeinsamen Forschungsprojekt entwickelt und gebaut.

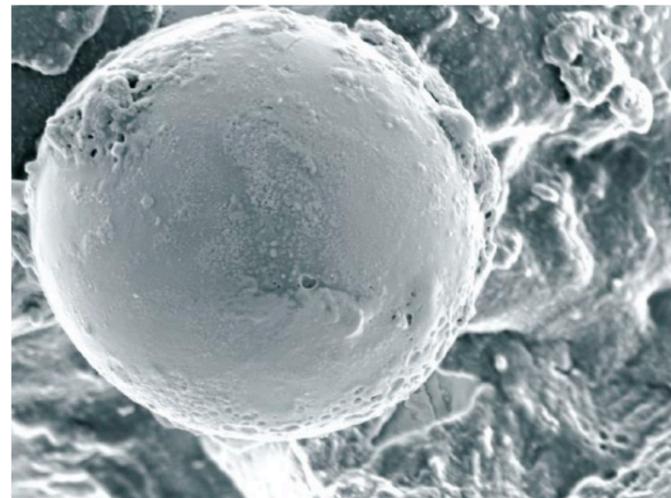
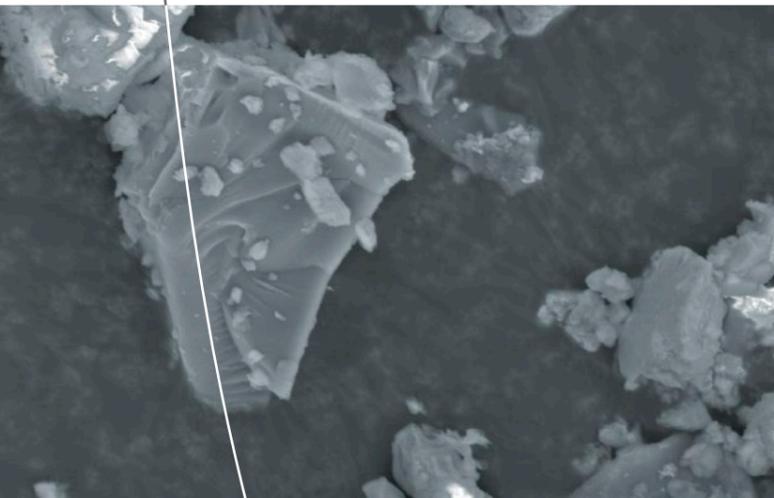
In der Luft verteilte Vulkanasche kann von Strahltriebwerken aufgenommen werden, sich dann bei höheren Temperaturen an den inneren Komponenten der Flugturbine ablagern und dort zu erheblichen Schäden führen. Doch nicht nur Vulkanasche stellt ein Risiko im Flugbetrieb dar. Auch Sand auf den Runways von Flughäfen und in der Atmosphäre sowie Industriestaub gefährden den reibungslosen Betrieb eines Triebwerks.

Im Triebwerk kann die Temperatur bis zu 1.600 Grad Celsius betragen. In der heißen Zone mit über 1.000 Grad sind metallische Teile verbaut, die mit einer keramischen Beschichtung an der Oberseite, den sogenannten Wärmedämmschichten, zusätzlich geschützt sind. Diese keramischen Beschichtungen sind hochporös, weisen eine geringe Wärmeleitfähigkeit auf und sorgen damit dafür, dass die metallischen Bauteile bei höherer

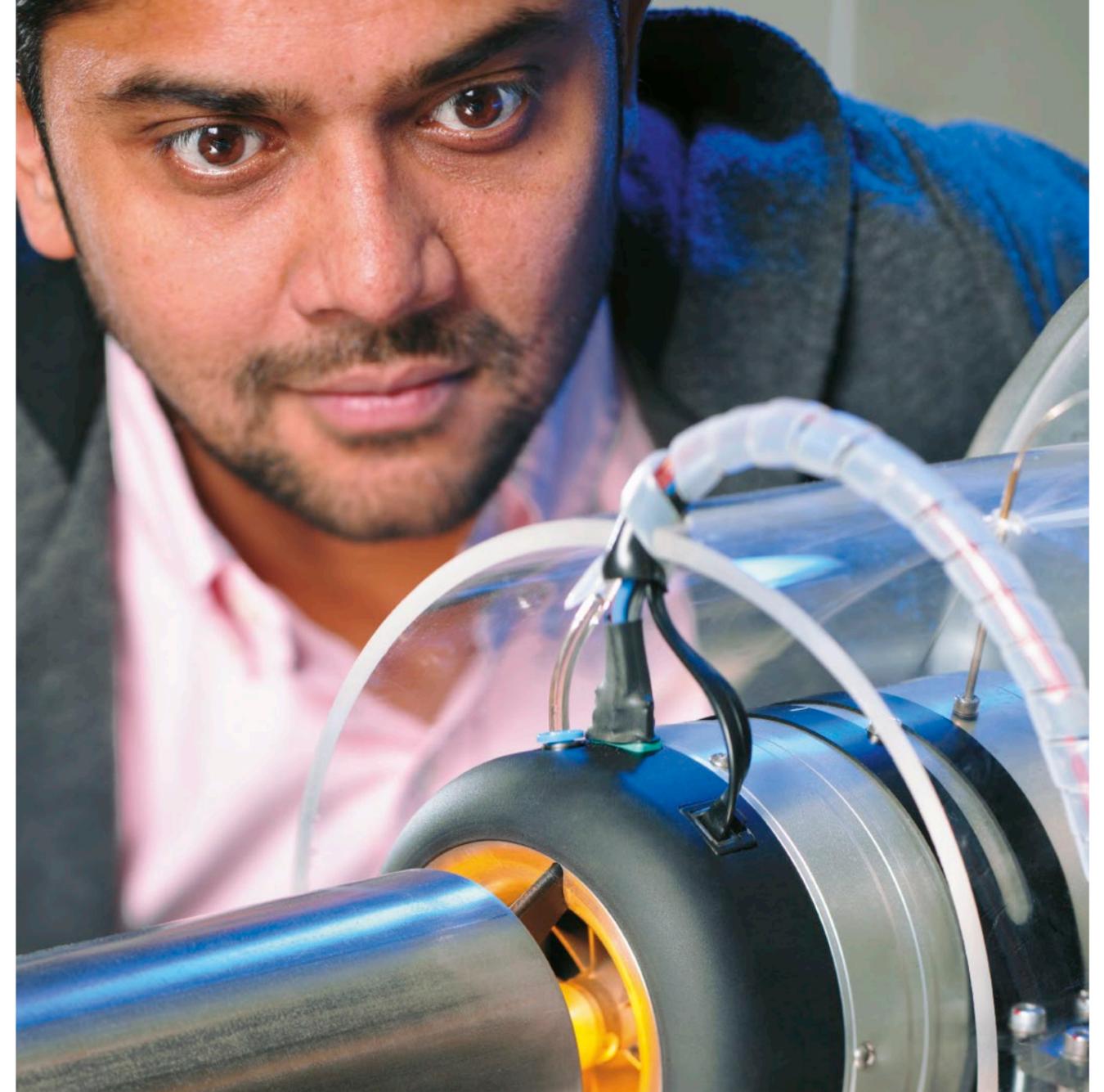
Temperatur arbeiten können als ohne Schutzschicht. Zusätzlich sind Turbinenschaufeln moderner Triebwerke mit einer intensiven Kühlung ausgestattet, bei der die Schutzschicht als eine Art thermischer Isolator fungiert.

Saugt das Triebwerk nun Luft an, die mit Vulkanasche, Sand oder Industriestaub kontaminiert ist, so schmelzen diese Partikel im Triebwerk mit steigender Temperatur und infiltrieren die Wärmedämmschicht. Es kommt in der keramischen Schutzschicht zu einer chemischen Reaktion, die dazu führt, dass die Schichten abplatzen und ihre Eigenschaft, Wärme zu isolieren, verloren geht. Die metallischen Teile sind nun ungeschützt höheren Temperaturen ausgesetzt. Diese zusätzliche Belastung kann ihre Lebensdauer verkürzen oder zum Ausfall von Komponenten oder sogar des ganzen Triebwerks führen.

So weit ist das generelle Verhalten von geschmolzener Vulkanasche im Triebwerk bekannt. Wie aber die Schädigung der Turbinenschaufel im Detail abläuft und welche Rolle geschmolzene Vulkanasche dabei genau spielt, möchten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am DLR-Institut für Werkstoff-Forschung und ihre Partner von der Hochschule Düsseldorf und der Hammer Engines GmbH untersuchen und verstehen. Genau zu diesem Zweck wurde der Prüfstand konstruiert und aufgebaut. In diesen wird Vulkanasche in Luft eingebracht und von einer Mini-Turbine, die mit einem Partikelanalysegerät gekoppelt ist, angesaugt. In der Mini-Turbine können Betriebstemperaturen von bis zu



Die beiden mit dem Rasterelektronenmikroskop aufgenommenen Bilder zeigen links Vulkanasche, bevor diese vom Triebwerk angesaugt wurde, und rechts, nachdem sie das Triebwerk verlassen hat. Die zunächst splitterförmigen Aschepartikel wandeln sich in Schmelztröpfchen um. Lagern diese sich auf den Triebwerkschaufeln ab, können sie deren Keramikbeschichtung zum Abplatzen bringen.



1.500 Grad Celsius erreicht werden, ähnlich also wie in einer großen Turbine. Für Versuchszwecke wurde auf rotierende Bauteile eine Wärmedämmschicht aufgebracht, auf der die Wissenschaftler die Effekte geschmolzener Vulkanasche nachstellen und genau untersuchen.

Im März 2015 fand das erste Experiment statt. Dafür versetzten die Forscher Luft mit echter Vulkanasche und ließen sie von der Mini-Turbine ansaugen. Anschließend wiesen sie geschmolzene Vulkanaschepartikel im Abgasstrahl der Turbine nach, ein Zeichen dafür, dass der Prüfstand in der Lage ist, die Reaktion zwischen den Bauteilen und der Vulkanasche im Flugbetrieb nachzustellen. Nun können die DLR-Wissenschaftler genau untersuchen, welchen Einfluss Größe, Konzentration und Zusammensetzung der Vulkanaschepartikel auf die Haftmechanismen haben. Die Experimente geben zudem Auskunft darüber, welche Wechselwirkungen es mit den Triebwerkskomponenten gibt und welche chemischen Reaktionen im Betrieb ablaufen. So können die Forscher verstehen, wie die Schädigung im Luftstrahltriebwerk genau abläuft. Damit wollen sie in Zukunft besser abschätzen, welche Vulkanasche-Konzentrationen in der Luft für den Luftverkehr kritisch sind und welche Schäden die Fluggasturbinen nehmen können beziehungsweise in welchem Maße sich deren Lebensdauer verringert.

DAS PROJEKT VOLCATS

Die Arbeiten des Instituts für Werkstoff-Forschung sind eingebunden in das Projekt VolcATS (Volcanic Ash Impact on the Air Transport System). Sechs DLR-Institute erforschen darin das Problem „Auswirkungen von Vulkanasche auf den Luftverkehr“, von der Detektion einer sich ausbreitenden Aschewolke über die Dichteverteilung der Aschepartikel im Luftraum bis zur effizienten Rekonfiguration des Flugverkehrs. Die beschriebene Schädigung des Triebwerks ist dabei ein wichtiger Teilaspekt.

Dr. Ravisankar Naraparaju arbeitet am Institut für Werkstoff-Forschung im DLR Köln an der Entwicklung von vulkanasche-resistenten Wärmedämmschichten und leitet das Projekt IVAR (Increased Volcanic Ash Resistance).



EINE FRAGE DER OPTIK

Innovative Materialien sind in Luft- und Raumfahrt ebenso gefragt wie in Energie und Verkehr. Das DLR forscht daran. Damit ein neuartiger Werkstoff im großen Maßstab das leistet, was von ihm erwartet wird, muss man ihn zunächst im Kleinsten untersuchen und herausfinden, wie er sich unter bestimmten Bedingungen verhält. Hier schaut Dr. Klemens Kelm genau hin. Auch privat macht der Wissenschaftler vom Institut für Werkstoff-Forschung im DLR Köln sich gern ein Bild von Details, wenn auch auf ganz andere Art ...

Interview mit Dr. Klemens Kelm zu präparierten Proben und wilden Schönheiten

Herr Kelm, was machen für Sie Bilder aus?

▪ Wenn wir beruflich Werkstoffe entwickeln und sie untersuchen, fallen viele Informationen an, die festgehalten und dokumentiert werden müssen. Bilder im wissenschaftlichen Sinn sind zweidimensionale Datensätze, die Eigenschaften von Werkstoffen oder Materialien orts aufgelöst visualisieren. Sie dienen neben der Dokumentation vor allem dazu, Informationen zu gewinnen. Dabei ermöglicht es unsere Alltagserfahrung, zumindest die enthaltene Ortsinformation intuitiv zu erfassen. Helligkeit oder Farbe einzelner Bereiche repräsentieren dann bestimmte Eigenschaften, die zweidimensional dargestellt werden. Je nach den Eigenschaften, die wir gern abgebildet sehen wollen, wählen wir die Abbildungstechnik. Es gibt Techniken, bei denen die Bildinformation direkt während der Aufnahme durch ein Signal auf einem Detektor gewonnen wird, oder solche, bei denen man die Bildinformation erst aus einem Röntgenspektrum oder einem anderen Datensatz herausholen muss, bevor man das eigentliche Bild erhält.

Um innovative Werkstoffe zu entwickeln, müssen Sie deren Eigenschaften auf die Spur kommen. Wie gehen Sie dabei vor?

▪ Eigenschaften und Verhalten eines Werkstoffs werden zunächst an bauteilähnlichen Testkörpern bestimmt, dann sucht man nach den Veränderungen, die das beobachtete Verhalten erklären. Da diese Veränderungen in der Regel lokal begrenzt sind, kommen dazu verschiedene mikroskopische Verfahren zur Anwendung. Zum Beispiel nimmt man bei einem Schutzschichtsystem licht- und elektronenmikroskopische Bilder von Querschliffen der getesteten Proben auf. Dabei sucht man nach herstellungsbedingten Störungen, vor allem aber nach Veränderungen. Letztere können unter anderem Abplatzungen, Korrosionsstellen oder auch Reaktionsschichten und kleinste Ausscheidungen in den Schichten sein. Wenn man diese lokalisiert hat, werden in der Regel die chemischen Elemente bestimmt, die in oder neben den beobachteten Details vorliegen. Mit diesen Informationen kann man dann modifizierte Schichtsysteme herstellen, bei denen unerwünschte Effekte wie Abplatzungen minimiert werden, während erwünschte Effekte, wie die Ausbildung von vorteilhaften Reaktionsschichten, beschleunigt oder verstärkt werden. Ob dies erfolgreich war, zeigt dann wieder ein Versuch mit Testproben. Aus der Untersuchung von Schliffen dieser neuen Proben leitet man schließlich ab, wie die erzielten Materialverbesserungen mit den vorgenommenen Anpassungen im Schichtsystem zusammenhängen.

Mit dem bloßen Auge lässt sich dabei nichts mehr ausrichten. Mit welchen Techniken arbeiten Sie?

▪ Wir verwenden bei uns verschiedene mikroskopische Techniken. Da ist zunächst die optische Auflichtmikroskopie. Damit erhalten wir ein vergrößertes optisches Bild. Durch speziell angepasste Präparations- und Beleuchtungstechniken, wie Ätzverfahren oder Interferenzkontrast, können wir aber beispielsweise auch Körner in Metallen sichtbar machen oder Höhenunterschiede darstellen.



Blütenstand der einheimischen Orchidee „Großes Zweiblatt“ (Listera ovata), aufgenommen auf dem Gelände des DLR in Köln

„DER GRÖSSTE UNTERSCHIED ZWISCHEN BILDERN VON TECHNISCHEN MATERIALIEN UND MEINEN FOTOGRAFIEN VON ORCHIDEEN IST WOHL, DASS IN DER WERKSTOFFFORSCHUNG IMMER DIE EIGENSCHAFTEN IM FOKUS STEHEN, BEI MEINEN BILDERN VON PFLANZEN IST ES DIE GESTALTUNG DES BILDES.“

Bei der Rasterelektronenmikroskopie hingegen wird ein fokussierter Elektronenstrahl über die Probenoberfläche geführt. Abhängig von der Oberflächengestalt erzeugt er Sekundärelektronen. Zudem werden Anteile des fokussierten Strahls zurückgestreut oder sie erzeugen eine für die vorliegenden Elemente charakteristische Röntgenstrahlung. Registriert man diese Signale mit entsprechenden Detektoren, kommt man an Informationen zur Morphologie und Zusammensetzung der untersuchten Oberfläche. Diese lassen sich dann in Bildern darstellen.

Eine neuere Technik ist die Rasterionenmikroskopie (FIB, Focused Ion Beam). Bei ihr wird zur Abbildung statt eines fokussierten Elektronenstrahls ein Galliumionenstrahl verwendet. Damit kann man nicht nur die Probenoberfläche abbilden, sondern auch Material abtragen und so verborgene Details freilegen oder auch winzige, nur nanometergroße Strukturen in der Probenoberfläche erzeugen.

Beim Transmissionselektronenmikroskop wird eine extrem dünne Probe wie in einem konventionellen Lichtmikroskop mit einem parallelen Elektronenstrahl oder, wie in einem Rasterelektronenmikroskop, mit einem punktförmig fokussierten Strahl beleuchtet. Die Beobachtung des Bildes geschieht hier aber hinter der Probe, durch die man – anders als bei den bisher erwähnten Techniken – hindurchschaut. Durch geeignete Einstellung des Geräts und die Verwendung spezialisierter Detektoren ist es dann möglich, Informationen über die Zusammensetzung, die Gitterstruktur oder über Fehler im Gitteraufbau zu erhalten. Auch von Grenzflächen innerhalb der untersuchten Probe kann man sich so ein Bild machen, teilweise sogar mit atomarer Auflösung.

Auch privat entdecken Sie gerne Details und halten diese im Bild fest ...

▪ Ja, ich fotografiere in meiner Freizeit gerne heimische Pflanzen, besonders Orchideen. Sie zeichnen sich durch eine vielfältige Farbgebung und vor allem durch ungewöhnliche, manchmal sogar bizarre Formen aus. Mit der Makrofotografie kann ich diese Formenvielfalt durch die gegenüber der normalen Sichtweise ungewöhnliche Vergrößerung besonders betonen. Und durch die Wahl der Perspektive und der Aufnahmeparameter kann ich ausgesuchte Details und Besonderheiten der einzelnen Blüten hervorheben.

Welche Unterschiede zu den Bildern, mit denen Sie sich beruflich befassen, gibt es noch?

▪ Meine Bilder beziehungsweise Fotos stellen ein Motiv mit sichtbarem Licht dar und werden durch die Gestaltung bestimmt, während wissenschaftliche Bilder eine mit bloßem Auge nicht sichtbare Materialeigenschaft zeigen; die Gestaltung des Bildes spielt im Beruflichen kaum eine Rolle. Ein weiterer Unterschied ist natürlich die Vergrößerung. Während ich bei der Orchideenfotografie wenige Millimeter bis wenige Zentimeter große Blüten aufnehme, haben die in Werkstoffen wichtigen Strukturen Größen von einigen Mikrometern bis hinunter zu weniger als einem Nanometer. Letztere sind also 1.000- bis 1.000.000-mal kleiner.

Gibt es auf dem Weg zu aussagekräftigen Bildern von Werkstoffen und Orchideen auch Ähnlichkeiten?

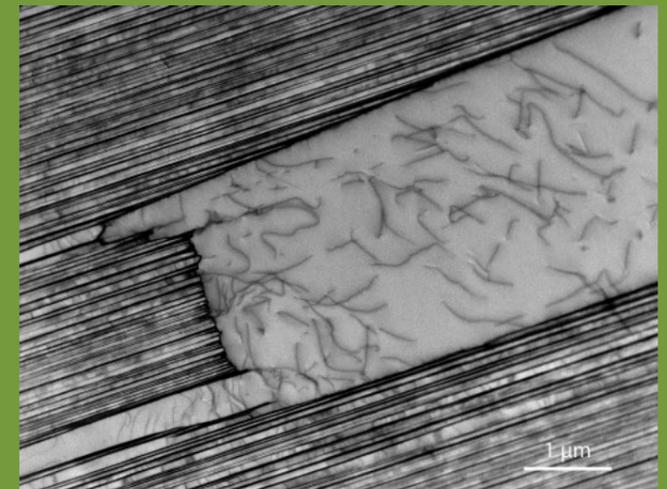
▪ Ja, die Prozesse, die zum Bild führen, sind verblüffend ähnlich. Zunächst muss ich mir vor der Aufnahme darüber klar werden, was die für das angestrebte Bild wesentlichen Merkmale sind. Das kann bei einem Material beispielsweise die Kornstruktur, die örtliche Variation der Zusammensetzung oder auch die Verteilung von Ausscheidungen oder von Baufehlern sein. Bei einer Orchidee sind typische interessante Merkmale die Form der Einzelblüte oder auch des ganzen Blütenstandes, ein Farbverlauf innerhalb der Blüte oder eine Farbvariation im Blütenstand. Bei der Orchidee habe ich dann durch die Wahl von Perspektive, Ausschnitt, Ausdehnung des Schärfereiches und die Entscheidung, ob das Foto in Farbe oder Schwarz-Weiß wiedergegeben werden soll, Einfluss auf die Gestaltung des Bildes. Passen diese Faktoren zusammen, sieht auch der Betrachter das, was ich im fertigen Bild zeigen will.

Bei der Aufnahme von Materialien oder Werkstoffen beginnt die Auswahl mit der Festlegung einer angemessenen Vergrößerung und damit des geeigneten Mikroskops. Sobald dies geschehen ist, wird für die Probe das Verfahren ausgewählt, das im entsprechenden Mikroskop am besten geeignet ist, vergleichbar etwa mit der Wahl von Farb- oder Schwarz-Weiß-Abbildung in der Fotografie. Der erste Unterschied ist, dass die Probe zunächst für das Mikroskop präpariert wird. Eine „Präparation“ verbietet sich dagegen bei den unter Naturschutz stehenden heimischen Orchideen.

Bei der Untersuchung im Mikroskop folgen die Wahl des richtigen Ausschnitts, die Festlegung der Schärfenebene und gegebenenfalls die Orientierung der Probe im Verhältnis zur Richtung der Beleuchtung wie auch zur Richtung, aus der man auf die Probe schaut. Diese Schritte bestimmen, welche Eigenschaften oder Details letztendlich das aufgenommene Bild des Werkstoffs dominieren, auch wenn ihre Auswirkungen auf die physikalischen Vorgänge der Bildentstehung komplett anders sind als in der Fotografie. Besonders glückliche Momente ergeben sich bei meiner Arbeit immer dann, wenn die Probe zufällig ein aussagekräftiges Bild zulässt, das gleichzeitig ansprechend gestaltet werden kann.

Für das DLR-Magazin führte Frank Seidler das Interview. Er ist am Institut für Werkstoff-Forschung unter anderem mit der Öffentlichkeitsarbeit betraut.

DLR.de/WF



Rastertransmissionselektronenmikroskopisches Bild einer Titan-Aluminid-Legierung für den Triebwerksbau. Die gestreift erscheinenden Bereiche bestehen aus Lamellen von γ -TiAl und α_2 -Ti₃Al. Das große γ -TiAl-Korn in der Bildmitte ist von Gitterbaufehlern, sogenannten Versetzungen, durchzogen, welche die Festigkeit und das Verformungsverhalten des Werkstoffs mit bestimmen. Bildbreite 7,8 Mikrometer.

Dr. Klemens Kelm am Transmissionselektronenmikroskop Philips Tecnai F30. Es wird am DLR-Institut für Werkstoff-Forschung für die Untersuchung neuer Materialien wie Titan-Aluminium-Legierungen für Flugzeugtriebwerke eingesetzt.



DINGE VERÄNDERN

Begegnung mit Albert Manero, Werkstoffforscher mit einem bewegenden Projekt

Von Michel Winand

Höflich, bescheiden, sehr sachlich – das ist der erste Eindruck, den man bekommt, wenn man sich mit Albert Manero unterhält. Doch je mehr er von seiner Arbeit erzählt, umso deutlicher wird die Passion, mit der er bei der Sache ist. Sein Beruf ist die Erforschung zerstörungsfreier Testmethoden für keramische Wärmedämmschichten in der Luft- und Raumfahrt. Als Doktorand der University of Florida arbeitete der 25-Jährige ein Jahr lang am DLR-Institut für Werkstoff-Forschung in Köln. Neben seiner Doktorarbeit verfolgt er jedoch ein spannendes „Neben“-Projekt. Aber dazu später mehr.

Albert Maneros Forschungsgebiet ist der zerstörungsfreie Test von Materialien, die in der Luftfahrt angewendet werden. Im Besonderen geht es um Röntgenmessungen von keramischen Schutzschichten für Hochtemperaturanwendungen. Diese Schutzschichten werden in der Luftfahrt bei Turbinenschaufeln, Strahltriebwerken, Brennkammern und in der Raumfahrt bei Wiedereintrittsfahrzeugen verwendet. Mit Hilfe der Röntgenstrahlen lässt sich tief in die einzelnen Materialschichten hineinschauen, ohne das Objekt zu beschädigen. Damit können sowohl neue Beschichtungen entwickelt als auch Kriterien für die industrielle Markteinführung der Produkte bestimmt werden. Neue Produkte lassen sich bewerten und auch Schadensanalysen anhand von Industrienormen vornehmen. Die Laborausrüstung ist maßgeschneidert, um die verschiedensten Materialien unter extremen Temperaturen und hohen mechanischen Belastungen zu untersuchen. „Die Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt sind vielfältig und dienen zum Beispiel der effizienteren Ausnutzung des Treibstoffs“, erklärt Manero. „Denn die keramischen Schutzschichten ermöglichen höhere Temperaturen im Inneren eines Triebwerks.“ Eine Verbesserung des Wirkungsgrades um ein Prozent kann den Fluggesellschaften jährliche Kosteneinsparungen in Milliardenhöhe bringen. Hinzu kommen die positiven Aspekte in Sachen Sicherheit, Zuverlässigkeit und Umweltfreundlichkeit.



Albert Manero während seiner Zeit im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung im DLR Köln. Als Fulbright-Stipendiat forschte er hier zu Wärmedämmschichten.

Bild: CollectiveProject



Die Vision des „Collective Project“, in dem Albert Manero mitarbeitet: Kein Kind soll für einen Arm bezahlen müssen.

Das DLR ist dem Studenten aus den USA seit 2012 bekannt. Damals führte ihn ein erster Forschungsaufenthalt im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem DLR-Institut für Werkstoff-Forschung nach Köln. 2014 kehrte er als Fulbright-Stipendiat ans DLR zurück, um die Forschung für seine Doktorarbeit voranzutreiben.

In den USA hat er inzwischen mit einem anderen Projekt großes öffentliches Interesse geweckt, einem Projekt, das Kindern mit körperlichen Einschränkungen zu bezahlbaren Prothesen verhilft. Was als ein kleines Nebenprojekt begonnen hat, ist sehr rasch gewachsen, seit Microsoft und der Schauspieler Robert Downey Junior das Projekt medial unterstützen. „Wir hätten uns nie träumen lassen, dass unsere Idee, Prothesen mittels 3D-Druck zu fertigen, so großen Anklang findet. Inzwischen haben wir in den Vereinigten Staaten eine gemeinnützige Organisation gegründet, mit der wir versuchen, Kindern überall auf der Welt zu helfen“, sagt Manero.

In seinen Semesterferien hatte sich der Student in einem Projekt engagiert, das sich mit Prothesen für Kinder befasst. „Die Mutter eines Jungen namens Alex hat mich im Internet über ein Netzwerk von Leuten gefunden, die 3D-gedruckte Prothesen entwerfen. Der Fall von Alex war sehr spezifisch und bedurfte einer ungewöhnlichen Lösung, also haben mein Team und ich uns zusammen mit Alex und seinen Eltern an die Entwicklung einer speziellen Prothese gemacht.“ Das Projekt nahm an Fahrt auf, als Microsoft darauf aufmerksam wurde und das Team der Ingenieure als Partner für sein „Collective Project“ auswählte. Manero: „Man stellte uns eine gute Multi-media-Plattform zur Verfügung und produzierte ein Video, damit wir unsere Geschichte erzählen konnten. Als Robert (Downey Junior, d. Red.) das Video sah, wollte er Teil des Projekts werden. Als unser „Bionics Expert“ überreichte er Alex einen Arm, der im Stil seines Filmcharakters „Iron Man“ gestaltet ist.“ Das hat viele Türen geöffnet und über 15 Millionen Menschen auf das Projekt aufmerksam gemacht.

Bild: Collective Project



Bild: CollectiveProject



Albert Manero (r.) an der Seite von Alex. Er brachte den Stein ins Rollen. Und mit der Unterstützung von Robert Downey Junior (l.) nahm das Projekt Fahrt auf.

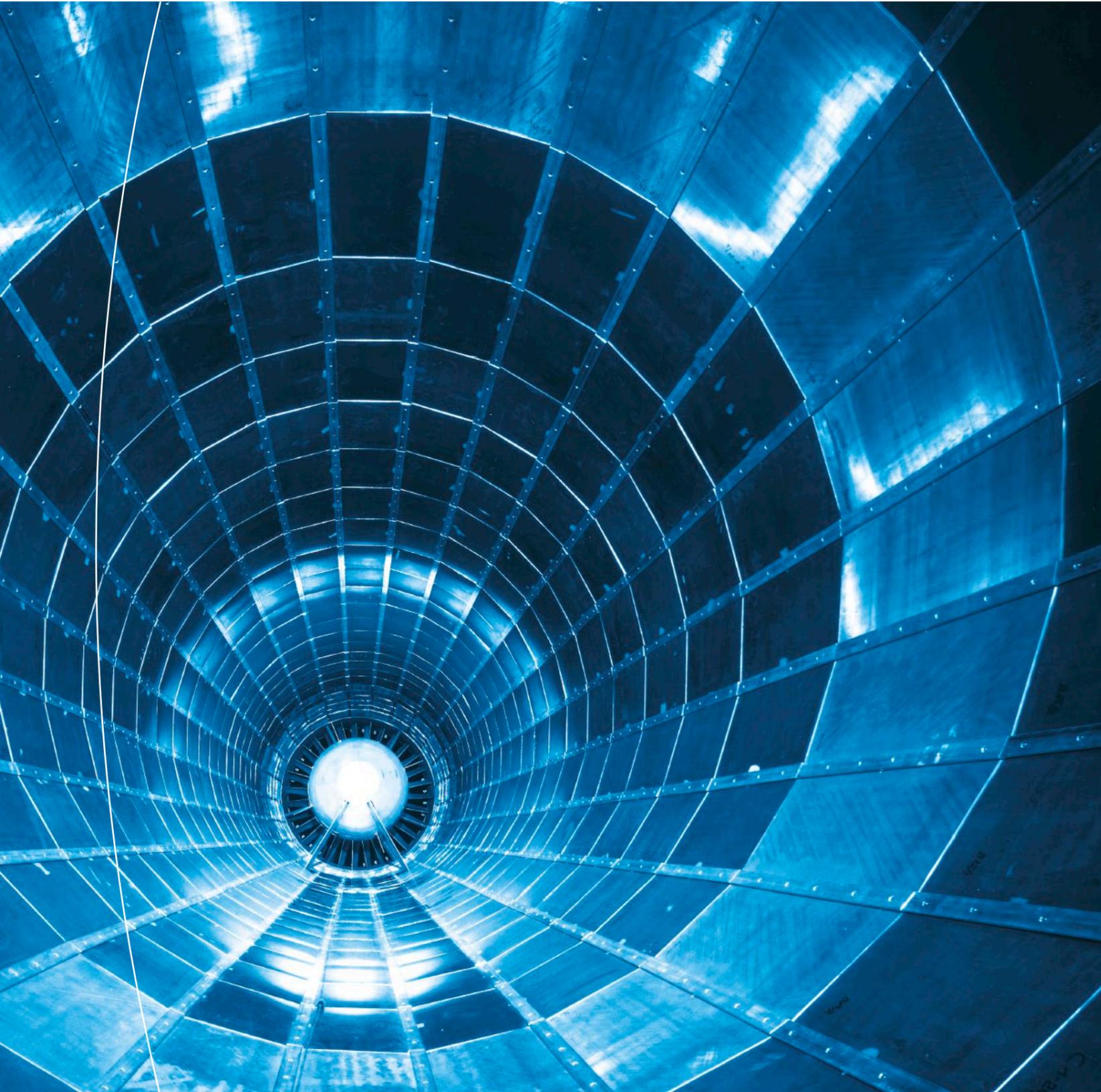
Manero erinnert sich: „Das brachte uns viele Spenden und zusätzliche Unterstützer, was uns sehr dabei hilft, noch bessere Prothesen zu entwickeln. Es war einfach großartig für unser Team.“

Mit dem 3D-Druck von Prothesen hätte er auch großen kommerziellen Erfolg haben können, aber er entschied sich dagegen. „Unser Team ist der starken Überzeugung, dass kein Kind für einen Arm bezahlen sollte. Dass keine Familie für den Arm ihres Kindes bezahlen sollte.“ Damit dieser Traum für möglichst viele Kinder wahr wird, arbeitet er mit Sponsoren und Konzernen zusammen. „Unsere Designs werden über eine Open-Source-Datenbank für 3D-Druck-Vorlagen verbreitet. Wir sind dabei, weitere Dateien bereitzustellen.“ Da jeder Arm individuell angepasst werden muss, arbeiten Manero und sein Team an einem neuen Entwurf, der die Bandbreite erweitert und so sicherstellt, dass ihr System weltweit adaptiert werden kann.

Albert Manero ist der Überzeugung, dass jeder Wissenschaftler und Ingenieur die Verantwortung hat, sein Wissen zu teilen und zum Nutzen aller einzusetzen: „Ich wollte mein Wissen immer für mehr nutzen, als nur für die Arbeiten im Labor. Und ich denke, dass der Zweck der Bildung darin liegt, dass man seine Fähigkeiten wirksam einsetzt, um Probleme zu lösen.“ Seine Hoffnung ist, dass durch Projekte wie dieses eine neue Generation von Ingenieuren ermutigt wird, ihre Fähigkeiten als Werkzeug zu begreifen, mit dem sie die Welt verändern können. „Ich bin so erzogen worden und es war die Idee meiner Eltern, die mir sagten: Es ist Deine Aufgabe und Verantwortung, das, was Du gelernt hast, einzusetzen um Dinge zu verändern“. Und nach einem Augenblick fügt er hinzu: „Und anderen die Chancen zu geben, die man selbst hatte ...“

„WIR HÄTTEN UNS NIE TRÄUMEN LASSEN, DASS UNSERE IDEE, PROTHESEN MITTELS 3D-DRUCK ZU FERTIGEN, EINMAL SO GROSSEN ANKLANG FINDET.“

„Unsere Designs werden über eine Open-Source-Datenbank für 3D-Druck-Vorlagen verbreitet. Wir sind dabei, weitere Dateien bereitzustellen.“ Da jeder Arm individuell angepasst werden muss, arbeiten Manero und sein Team an



Verdichter des Europäischen Transschall-Windkanals ETW (European Transonic Windtunnel)

Bild: ETW

EUROPAS VORZEIGEWINDKANAL STEHT IN KÖLN

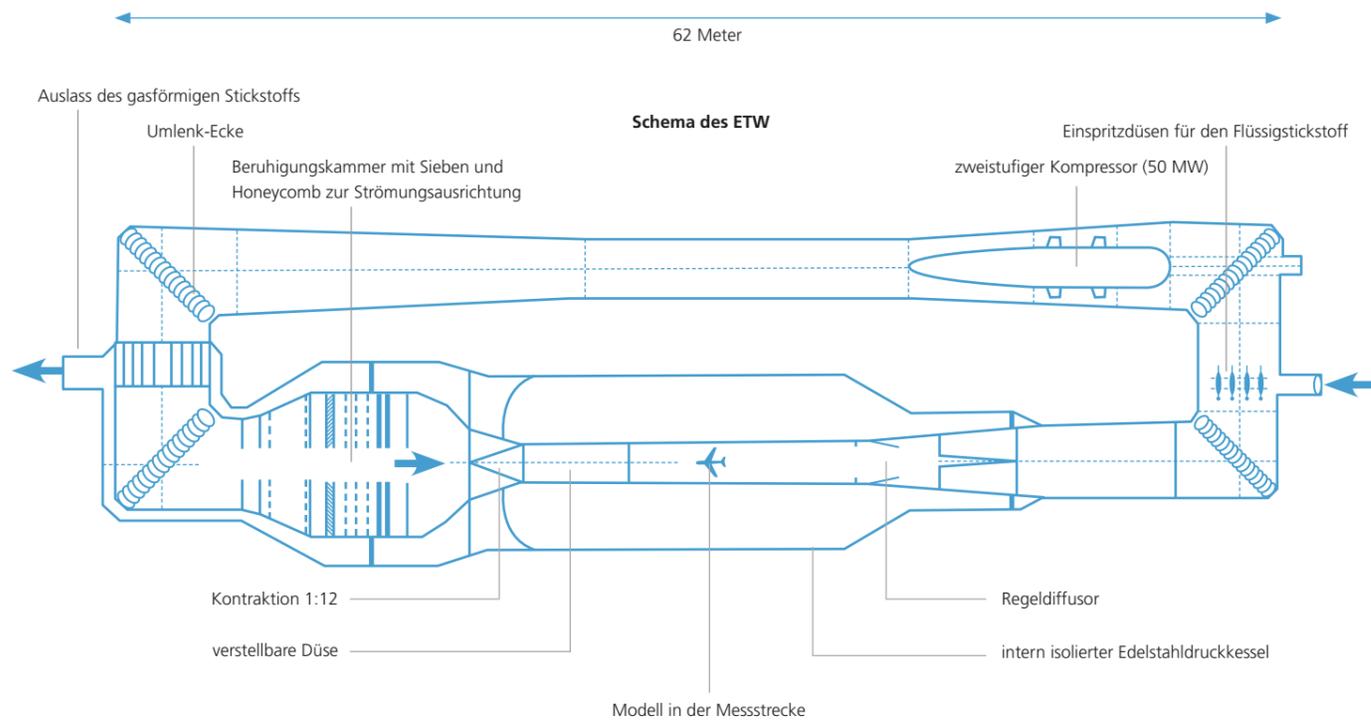
Teil 7 der Serie „Die Windmaschinen“

Von Jens Wucherpfennig

Die größten und leistungsstärksten Windkanäle sind aufgrund ihrer enormen Kosten oft nationale Großprojekte. Darum wundert es nicht, dass sich für den Bau des modernsten Windkanals der Welt – des Europäischen Transschall-Windkanals ETW – gleich vier Länder zusammenschlossen. Frankreich, Deutschland, Großbritannien und die Niederlande. Der 1993 fertiggestellte ETW wird von der ETW GmbH betrieben, die als eigenständiges Non-Profit-Unternehmen 1988 gegründet wurde. Der Windkanal geht auf eine Forderung der NATO-Länder in den Siebzigerjahren zurück, tatsächliche Flugzustände unter Laborbedingungen am Boden darzustellen und somit neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen. Der ETW ist der weltweit führende Windkanal, wenn es darum geht, Luftfahrzeuge unter wirklichkeitstreuen Flugbedingungen zu testen. Lange bevor der erste Prototyp für einen Flugtest zur Verfügung steht, können in ihm die Leistungsfähigkeit und die Flugbereichsgrenzen eines Neuentwurfs genauestens und in einzigartiger Qualität bestimmt werden. Das reduziert die technischen und wirtschaftlichen Risiken, die mit der Entwicklung neuer Luftfahrzeuge verbunden sind, erheblich. Hersteller aus aller Welt nutzen die außergewöhnlichen Möglichkeiten dieser Hightech-Einrichtung, um ihre zukünftigen Produkte leistungsfähiger, wirtschaftlicher und umweltfreundlicher zu machen.

Tiefkühlatmosphäre gewährleistet realistische Berechnungen

Das Verfahren, mit dem im ETW Flugzeug-Modelle getestet werden, ist etwas ganz Besonderes: Hier wird bei tiefen Temperaturen von minus 160 Grad Celsius und dem 4,5-fachen Druck der Erdatmosphäre geforscht. Das ist notwendig, weil die Flugzeug-Modelle viel kleiner sind als die zukünftigen Flugzeuge, deren Flugverhalten man hier lange vor dem Bau erproben will. Würde man aber diese „Mini-Flieger“ einfach bei Zimmertemperatur testen, so hätte das eine unerwünschte Nebenwirkung: Im warmen Zustand sind die Moleküle der Luft im Verhältnis zu den kleinen Flugzeug-Modellen viel zu groß und es würde zu viel Reibung entstehen. Also muss man – damit die Berechnungen auch stimmen – die Luft-Moleküle beruhigen und ihre Abstände zueinander künstlich verkleinern. Genau das erreicht man durch die tiefen Temperaturen: Die Luft wird quasi „geschrumpft“, wobei „Luft“ beim ETW aus dem Luftbestandteil Stickstoff besteht. Dieser wird flüssig in den Windkanal eingespritzt, verdampft und gasförmig Richtung Modell beschleunigt – nach dem Prinzip eines Windkanals Göttinger Bauart. Gegen die Reibung im Windkanal arbeitet ein Verdichter mit 50 Megawatt an – das entspricht der Leistung von etwa 500 Mittelklasse-Pkw. Dafür werden gewaltige Stickstoffmengen benötigt: an einem Messtag bis zu 1.500 Tonnen. Da die gelagerten Reserven bei diesem Bedarf rasch aufgebraucht sind, stehen ständig vier Lkw bereit, die täglich im Pendelverkehr bis zu 600 Tonnen von dem Gas aus einer 20 Kilometer entfernten Fabrik auf das Gelände in Köln-Porz transportieren, um den Vorrat aufzufüllen.



Durch die tiefen Temperaturen und den hohen Druck ist auch im Modellmaßstab alles wieder im richtigen Verhältnis und die hier ermittelten Werte helfen – zusammen mit Computer-Simulationen und vielen anderen Arbeiten – bei der Entwicklung der Flugzeuge von morgen. Der ETW erlaubt Messungen bei tiefen Temperaturen (minus 163 Grad Celsius bis 40 Grad Celsius), hohen Drücken (1,15 bis 4,5 bar) und Windgeschwindigkeiten, wie sie bei Start und Landung oder im Reiseflug auftreten (0,15 bis 1,35 Mach). Pro Tag können bis zu drei Testkonfigurationen untersucht werden.

Separate Regelung von Druck, Temperatur und Geschwindigkeit

Ein wesentlicher Parameter, der die Eigenschaften einer Strömung angibt, ist die sogenannte Reynolds-Zahl. Diese dimensionslose Kennzahl einer Strömung ist definiert durch Strömungsgeschwindigkeit, eine charakteristische Länge im Strömungssystem und die dynamische Viskosität der strömenden Flüssigkeit. Der Wert der Reynolds-Zahl von Flugzeug und Modell muss ebenso wie die Form und die Mach-Zahl gleich sein, um ein ähnliches Strömungsfeld zu erhalten. Der ETW erreicht Reynolds-Zahlen von bis zu 50 Millionen für Vollmodelle und bis zu 85 Millionen für Halbmodelle. Die Messstrecke hat einen rechteckigen Querschnitt von 2,4 Meter Breite und zwei Meter Höhe, was Modelle von etwa 1,5 Meter Flügelspannweite (Vollmodelle) beziehungsweise Halbspannweite (Halbmodelle) erlaubt. Durch die separate Regelung von Druck, Temperatur und Geschwindigkeit können Mach-Zahl, Reynolds-Zahl und Staudruck getrennt voneinander gesteuert werden. Dies macht es möglich, die Auswirkungen von Modelldeformation und der Skalierung isoliert zu betrachten. Neben dem ETW gibt es weltweit nur noch einen Windkanal in den USA mit vergleichbaren Eigenschaften: Die NTF (National Transonic Facility) der NASA am Langley Research Center.

Die Investitionen zur Errichtung des ETW im Jahr 1994 betragen circa 330 Millionen Euro. Die Betriebskosten von zehn Millionen Euro pro Jahr muss der ETW aus den Aufträgen von Windkanal-Kunden decken. Ein Messtag kostet abhängig von den genauen Anforderungen etwa 90.000 bis 120.000 Euro. Der ETW beschäftigt 34 Mitarbeiter.

Die aktuellen Teilhaber der Betreibergesellschaft European Transonic Windtunnel GmbH sind das DLR mit 45 Prozent für Deutschland, das Department of Business, Innovation and Skills (BIS) mit 45 Prozent für das Vereinigte Königreich und das National Aerospace Laboratory (NLR) mit zehn Prozent für die Niederlande. Frankreich schied im Jahr 2012 aus dem Verbund aus und konzentriert sich auf seine nationalen Anlagen.

ETW.de

KALT UND UNTER DRUCK



Interview mit Dieter Schimanski, Manager Tests & Operations am ETW

Der ETW ist der einzige Windkanal der Welt, an dem mehr als zwei Länder beteiligt sind. Hat das einen besonderen Grund?

■ In den Siebzigerjahren wollten einige NATO-Länder Flugzeuge unter bislang unerreichten realitätsnahen Bedingungen testen. Der dafür nötige Windkanal war sehr aufwändig – und teuer. Deshalb haben sich die wichtigsten NATO-Länder dafür zusammenschlossen – Deutschland, Frankreich, England, die Niederlande – und anfangs waren auch die USA noch beteiligt.

Welche Rolle spielte die militärische Forschung dabei?

■ Natürlich hatte das Militär – ebenso wie die zivile Luftfahrtindustrie – großes Interesse an dem Projekt. Allerdings wurde der ETW erst 1993 und damit nach dem Ende des Kalten Krieges fertiggestellt. In Europa gab es seitdem weitaus weniger militärische Großprojekte als erwartet. Heute wird der ETW überwiegend zivil genutzt.

Haben Sie ein Beispiel für bedeutende Untersuchungen im ETW parat?

■ Wir haben wertvolle Beiträge zur Entwicklung der Airbus-Flugzeuge A 380 und A 350XWB geliefert. Beim A 350 haben wir der Firma Airbus ermöglicht, einen signifikant leichteren Flügel zu entwickeln. Auch zum Erfolg der Geschäftsflugzeuge von Dassault Falcon haben wir maßgeblich beigetragen.

Was kann der ETW, was andere Windkanäle nicht können?

■ Nur der ETW kann die Flugzustände künftiger Großflugzeuge unter realistischen Laborbedingungen abbilden. Herkömmliche Windkanäle berücksichtigen meist nicht, dass die Luftmoleküle entsprechend der Größe der Flugzeugmodelle herunterskaliert werden müssten. Im ETW gelingt uns das, indem wir den Kanal herabkühlen und unter Druck setzen.

Der ETW in Kürze

Der Europäische Transsonische Windkanal ETW hat den Anspruch, zu den weltweit führenden Windkanälen zu zählen. Er ist der einzige Windkanal, der von mehr als zwei Ländern gebaut wurde. 1993 wurde er von Frankreich, Deutschland, Großbritannien und den Niederlanden am DLR-Standort in Köln fertiggestellt. 2012 schied Frankreich aus dem Betreiberkonsortium aus. Der Windkanal erreicht seine realistische Darstellung von Flugzuständen dadurch, dass tiefkalter Stickstoff an Modellen unter hohem Druck vorbeigeblasen wird. Dazu sind bis zu 1.500 Tonnen Stickstoff pro Messtag nötig.

Warum wurde dieser Windkanal gerade in Köln gebaut?

■ Es war klar, dass er an einem bestehenden nationalen Luftfahrt-Forschungsstandort, wie das DLR einer ist, errichtet werden sollte. Der Standort Köln hatte einige Vorteile gegenüber den Partneereinrichtungen: Hier gab es zum einen ein leistungsstarkes Energienetz, das jederzeit erlaubt, die erforderlichen 50 Megawatt für den Betrieb des Windkanals zu liefern. Außerdem musste ein Stickstoffkraftwerk in der Nähe sein – der ETW benötigt bis zu 1.500 Tonnen dieses Kühlmittels am Tag. Eine solche Anlage befindet sich gleich auf der anderen Rheinseite. Die räumliche Nähe zum DLR hat sich für beide ausgezahlt: Die langjährige Kooperation mit verschiedenen DLR-Instituten hat zum beiderseitigen Erfolg beigetragen.

Wie intensiv wird der ETW von Forschern genutzt?

■ Der mit etwa 70 Prozent überwiegende Teil an Tests dient der Entwicklung neuer Produkte, rund 30 Prozent der Windkanalexperimente im ETW sind Forschungsarbeiten. Diese Forschungsarbeiten werden bis heute allerdings wesentlich von der Industrie geprägt. Wir wünschen uns, dass der ETW auch regelmäßig von Wissenschaftlern aus Universitäten und Forschungsanstalten genutzt werden könnte. Aber das scheitert bisher daran, dass die entsprechende Finanzierung nur unregelmäßig erwirkt werden kann.

Wie nutzen zivile Flugzeughersteller den ETW?

■ Der ETW sollte eigentlich dazu dienen, Flugleistungen im Reiseflug vorherzusagen. Solange die Strömung anliegt, kann diese Aufgabe inzwischen aber weitestgehend von Computersimulationen erledigt werden. Die Fähigkeiten der Anlage werden deshalb insbesondere für die Flugbereiche genutzt, in denen Strömungsablösung auftreten kann und in denen Computersimulationen keine verlässlichen Ergebnisse liefern können: in der Start- und Landephase sowie in den Fluggrenzbereichen bei hohen Fluggeschwindigkeiten. Unsere Gesellschafter investieren aktuell in die Anlage, um den ETW an diesen veränderten Kundenbedarf anzupassen.

Was bedeutet die fortschreitende Entwicklung von Computersimulationen für den ETW?

■ Beide Werkzeuge haben ihre ganz eigenen Stärken, ergänzen sich und sind aus der Flugzeugentwicklung nicht mehr wegzudenken. Eine Simulation kann beispielsweise kurzfristig beantworten, ob eine Konturveränderung tendenziell besser oder schlechter für die Leistungsfähigkeit ist. Das Experiment bietet in diesem Zusammenspiel neben Verifikation und der damit verbundenen Minimierung von Entwicklungsrisiken auch einen signifikanten Produktivitätsvorteil gegenüber der numerischen Simulation.





Entwurf der Kabine für die Raumstation Mir, finale Variante der Innenausstattung (1980)

Bild: Archiv Galina Balaschowa

GELBER RAUM MIT GRÜNEM GRUND

Bild: Uwe Dettmar



Kurator Philipp Meuser mit Galina Balaschowa

Bild: Uwe Dettmar



Die Ausstellung im Deutschen Architekturmuseum

Bild: Uwe Dettmar



Skizzen und Aquarelle der Raumfahrtarchitektin

Das Werk der Raumfahrtarchitektin Galina Balaschowa in einer Ausstellung in Frankfurt

„Sie ist so ganz auf dem Boden geblieben“, schwärmt der Berliner Architekt Philipp Meuser und kann es anscheinend immer noch nicht fassen, welchen Schatz er da gehoben hat. Jahrelang forschte er in Russland über Plattenbauten und serielles Wohnen, bis er – eher zufällig – auf die einzigartige Arbeit seiner inzwischen 83-jährigen Kollegin stieß: Galina Balaschowa. Fast drei Jahrzehnte lang war sie die Architektin für die Schwerelosigkeit.

1963: Alles, was mit Raumfahrt zu tun hat, ist streng geheim. Die Vereinigten Staaten und die Sowjetunion befinden sich im Kalten Krieg. Der Wettlauf könnte auch heißen: Wernher von Braun gegen Sergej Koroljow. Der sowjetische Raketenkonstrukteur hat die Nase vorn. Juri Gagarin war bereits im All. Jetzt soll das Sojus-Raumschiff optimiert werden. Die Ingenieure des Konstruktionsbüros OKB-1 zeigen Koroljow ihr Holzmodell. Ohne Erfolg. Das will Koroljow nicht der Sowjet-Führung präsentieren. Er trifft sich mit Galina Balaschowa im Treppenhaus. Bis dahin war die Architektin für die Werkswohnungen der Projektmitarbeiter zuständig. Jetzt zeichnet sie übers Wochenende den Entwurf für ein Sojus-Wohnmodul. Das ist es. Koroljow will es detaillierter. Das Sofa rechts von der Einstiegs Luke bekommt Klettbander, damit die Kosmonauten bequem sitzen, besser gesagt haften. Im Schrank stecken drei Bücher. An der Wand sind ein Kalender und ein Gemälde mit heimatlicher Landschaft an Stangen festgeschraubt. Den Boden färbt die Architektin grün wie Gras, die Wände hellgelb. Die Weltraumfahrer sollen sich einfach orientieren können und es außerdem gemütlich haben.

Mit diesen ersten Skizzen und Aquarellen hat es angefangen. Es folgten Aufträge für die Raumstationen Saljut und Mir: Arbeiten an Klappptischen, Schlafen festgebunden an der Wand. Auch eine Dusche ist vorgesehen. Ein Entwurf zeigt Kosmonauten kartenspielend am Tisch. Vieles wird wieder verworfen. Denn nach jedem Raumflug will Balaschowa von den Kosmonauten wissen, ob ihre Ideen in der Schwerelosigkeit auch praktikabel waren. Die studierte Malerin und Architektin arbeitet auch für das Mondprogramm und für die Raumfähre Buran. Ihre Pläne nimmt sie mit nach Hause, im Projektbüro werden nur Ingenieursarbeiten archiviert.

Philipp Meuser besucht die Rentnerin in ihrer Zwei-Zimmer-Wohnung bei Moskau („so breit wie das Innere der Mir“, weiß er zu berichten). Auch in der Datscha finden sich signierte Zeichnungen. Hier lässt sich auch die amerikanisch-sowjetische Sojus-Apollo-Kopplung von 1975 nachvollziehen. Galina Balaschowa kreierte das gemeinsame Logo für die Mission. Es wurde für Souvenirs, Anstecknadeln und Briefmarken in 35 Ländern verwendet.

Die Ausstellung gewährt einen Blick in das Wohnzimmer der Architektin. Besucher des Deutschen Architekturmuseums können die Größenverhältnisse auf der Mir ermessen und die Künstlerin im Video erleben. Wandzeichnungen vergleichen die Höhe der Sojus-Rakete mit dem Frankfurter Rathaus „Römer“ und das Buran-Raumschiff mit der Paulskirche.

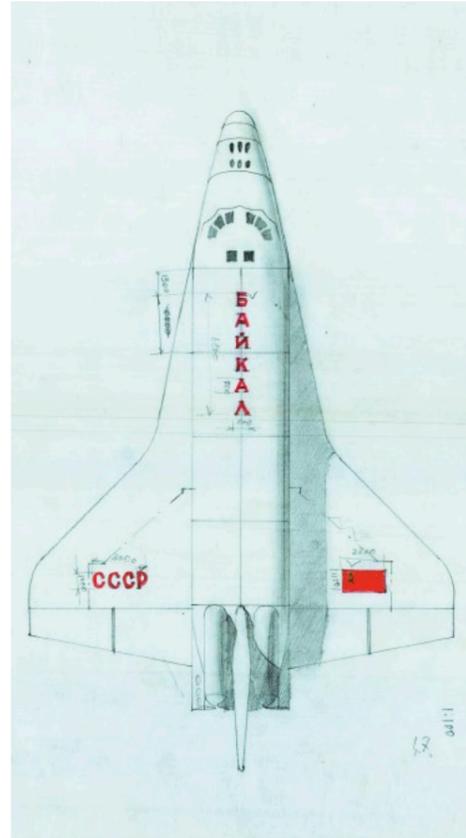
Unwillkürlich stellen sich Museumsbesucher die Frage: Warum ist diese Frau nicht längst weltberühmt? Ein Grund liegt sicher in der extremen Geheimhaltung während der Zeit des Kalten Krieges. Außerdem sind viele ihrer Malereien an den Wänden der Raumkapseln beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre verglüht. Architekt und Ausstellungskurator Meuser führt das jedoch auf Balaschovas grenzenlose Bescheidenheit zurück. Sie sagt, sie habe selbst nicht gewusst, dass sie stolz auf ihre Arbeit sein kann. Und sie wollte nie ins Universum aufbrechen: „Das Weltall hat mich nie so gereizt wie die Architektur.“

Raumfahrtfans und auch Freunde der Architektur sollten die Ausstellung nicht verpassen!

Sylvia Kuck, Redakteurin beim Hessischen Rundfunk



Entwurf für die Kommandozentrale des Raumschiffs Sojus mit den bis heute typischen Schalenstühlen



Entwurf für die Typografie auf einer Raumfähre aus dem Buran-Programm, Variante Bajkal (1978)

DIE FRAGE NACH DEM WARUM DER WELTRAUMFAHRT

Jede technisch-technologische Entwicklung, egal wie groß oder klein sie gewesen sein mag, hatte Einfluss auf das Zusammenleben der Menschen, auf ihre Interaktion und damit auf ihr soziales Verhalten. Die Nutzung des Feuers, die Erfindung des Rades, der Buchdruck oder die Entwicklung der Dampfmaschine hatten immense Auswirkungen auf gesellschaftliche Entwicklungen, hatten gar revolutionäre Veränderungen zur Folge.

Im 20. Jahrhundert war es die Raumfahrt, die den Blick der Menschheit auf die Erde ein für alle Mal veränderte. Von genialen Köpfen wie Ziolkowski, Oberth und Goddard erdacht, wurde sie schnell zur militärischen Drohgebärde und erst später zum völkerverbindenden Element. Ein zuweilen schmerzhafter Weg, der auch menschliche Opfer forderte. Er hat in der Gesellschaft nicht nur seine Spuren hinterlassen, er hat diese auch massiv verändert. Heute, mehr als hundert Jahre nach den Urvätern „Des Fluges des Menschen zu den Sternen“, hat die Raumfahrt eine Entwicklung absolviert, in der sie sich unter anderem immer wieder den Fragen nach ihrer Existenzberechtigung, dem „Warum“, stellen muss. Fragen, formuliert von Menschen mit unterschiedlichen Interessen, die aber das soziologische Bild der Gesellschaft widerspiegeln.

Den Aspekten der Wechselwirkung von Gesellschaft und Technik, speziell der Raumfahrt, widmen sich Joachim Fischer und Dierk Spesen in ihrem Buch **Soziologie der Weltraumfahrt (transcript)**, mit Gastbeiträgen von Heike Delitz und Helmut Plessner. Schon mehrfach wurde versucht, sich der modernen Technologie aus philosophischer und soziologischer Sicht zu nähern, darzustellen, wie und wann etwas gesellschaftlich akzeptiert wird und wenn nicht, warum eigentlich nicht. Allzuoft blieben die Erklärungen aber im Versuch stecken. Delitz und Plessner haben nicht nur Material zusammengetragen, sie haben es auch konsequent vergleichend in den zeitlichen Kontext gestellt und daraus Schlussfolgerungen gezogen. Dabei reicht das thematische Angebot von der „Weltraumfahrt im Blick der modernen Philosophischen Anthropologie“ über „Raumfahrteffekte in der Architektur des 20. Jahrhunderts“ bis hin zum „Kleinen Massenmedium Perry Rhodan“.

Wer also wissen möchte, wie Raumfahrt aus soziologischer Sicht funktioniert, welche Einflüsse und Auswirkungen sie hat, dem sei das Buch „Soziologie der Raumfahrt“ empfohlen. Keine einfache Kost, aber ein Buch mit dem Potenzial, beim Leser das eine oder andere Licht aufgehen zu lassen – einfach mal den Blickwinkel ändern.

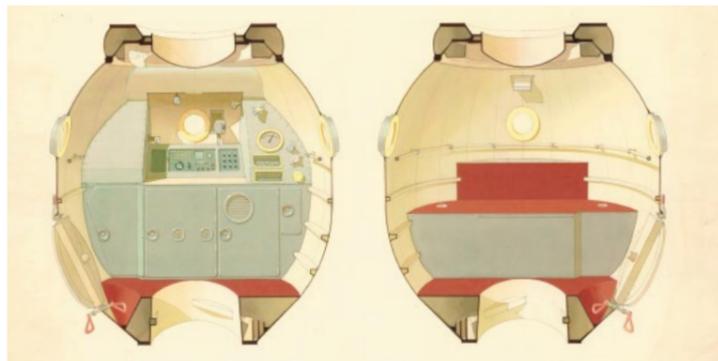
Andreas Schütz

DER UNBEKANNTE GAGARIN

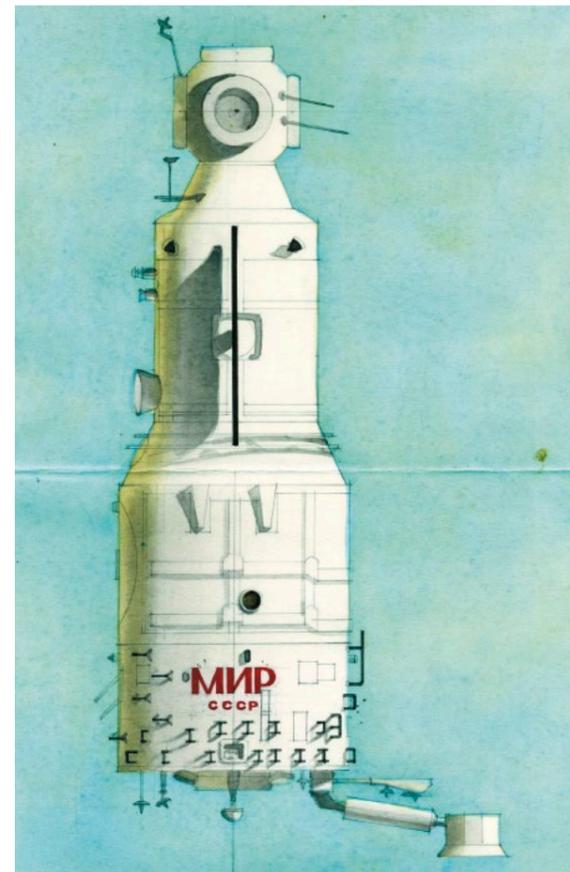
Mit dem ersten Flug eines Menschen in den Weltraum veränderten sich auch Lebens- und Arbeitswelt vieler Menschen. Die Raumfahrt eröffnete völlig neue Möglichkeiten, im technischen, aber auch im publizistischen Bereich. Einer, für den sich am 12. April 1961 ein neuer Horizont auftat, war der Journalismusstudent Gerhard Kowalski. Seine Begeisterung für die Raumfahrt, ob als Agenturjournalist oder Auslandskorrespondent, und sein Interesse insbesondere für die Person Gagarin ließen ihn nicht mehr los. Sein profundes Detailwissen um Technik und Personen, auch ein wenig Glück, ermöglichten ihm, den ersten Flug eines Deutschen in den Weltraum, die Mission von Sigmund Jähn, vor Ort zu begleiten. Viele Agenturberichte und Reportagen rund um die Raumfahrt stammten aus seiner Feder. Auch drei Bücher über Gagarin hat er verfasst, das jüngste, **Der unbekannte Gagarin**, ist soeben im **Machtwortverlag** erschienen.

Der Autor selbst verhehlt in seinem Vorwort nicht, dass es zu seinem eigenen Erstaunen noch vieles mehr über den ersten Menschen im All zu erzählen gibt als das, was er selbst schon geschrieben hat. Seine guten Verbindungen in die russische Raumfahrt und zur Familie Gagarin machen ihn zu einem Biografen des ersten Menschen im All. Bemüht, alle Facetten der Person Gagarins zu beschreiben, gibt sich Kowalski mit der ihm eigenen Detailversessenheit dieser Aufgabe hin. Anekdotenhaft schildert er auch die Geschichte der sowjetischen Raumfahrt in den Sechzigerjahren. Das eine oder andere Mal ist es nicht ganz einfach, seinen Gedankensprüngen zu folgen. Aber es ist extrem spannend. Vor allem dann, wenn technische Ereignisse in einen gesellschaftlichen und politischen Zusammenhang gestellt werden. Auch wenn klar wird, mit welcher Motivation die Ingenieure und Techniker des sowjetischen Raumfahrtprogramms agierten, im Wechselspiel zwischen politischem Zwang und Propaganda, fehlender Anerkennung und krankhafter Geheimhaltung. „Der unbekannte Gagarin“ ist weit mehr als das dritte Buch Kowalskis über den ersten Menschen im All – es ist ein aufschlussreicher Blick hinter die Kulissen der sowjetischen Raumfahrt in der Zeit des Kalten Krieges.

Andreas Schütz



Farbstudie für den Wohnbereich des Raumschiffs Sojus-M (1970–1974, Entwurf nicht realisiert)



Entwurf für die Platzierung des Namens auf der Außenfläche der Raumstation Mir (1980)

DESIGN FÜR DIE SOWJETISCHE RAUMFAHRT – DIE ARCHITEKTIN GALINA BALASCHOWA

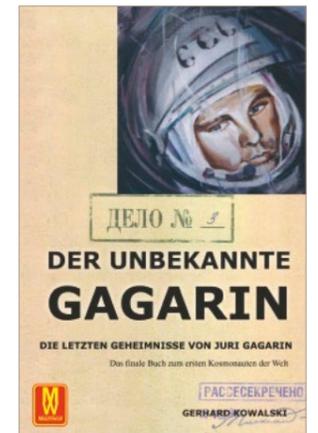
bis 15. November 2015 zu sehen im Deutschen Architekturmuseum in Frankfurt am Main

Führungen: samstags und sonntags 16 Uhr

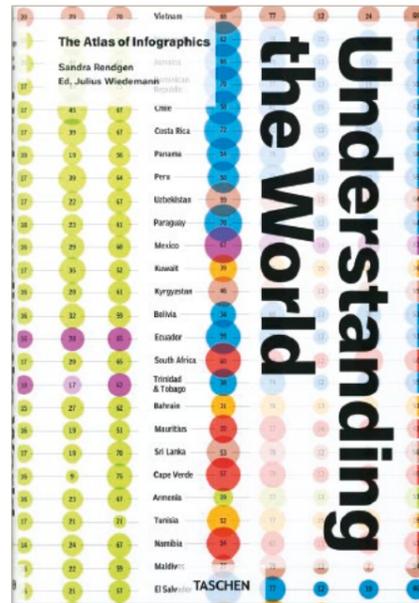
Öffnungszeiten: Di, Do–So 11–18 Uhr, Mi 11–20 Uhr

Eintritt: 9 €, ermäßigt: 4,50 €, Katalog: 19,90 €

Begleitprogramm siehe www.dam-online.de



VERSTEHEN DURCH FARBEN UND SYMBOLE



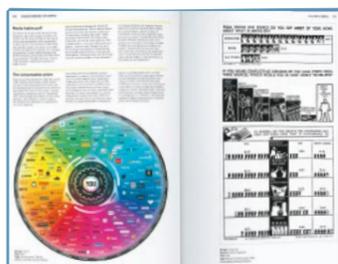
Ein Bild sagt mehr als tausend Worte. Wenn es darum geht, komplexe Zusammenhänge oder eine große Menge an Informationen kurz und prägnant zu vermitteln, kommen Infografiken zum Zuge. Die Welt lässt sich nun mal gut in Bildern erklären. Sandra Rendgen und Nigel Holmes widmen sich in **Understanding the World – The Atlas of Infographics (TASCHEN Verlag)** der visualisierten Information im 20. und 21. Jahrhundert.

Stolze 3,79 Kilogramm schwer, überzeugt das Buch neben seinen beeindruckenden Maßen und seinem Gewicht vor allem visuell. Der Einsatz von Formen, Farben und Typografie ist ein Fest, nicht nur für Designer. Begleitet werden die Grafiken stets von einem Text auf Englisch, Deutsch und Französisch, der Quelle und Erstellungsjahr nennt sowie die Hintergründe kurz erklärt. Eine Angabe über die Herkunft der zugrunde liegenden Daten bleibt allerdings aus. Die fünf Kapitel befassen sich unter anderem mit den Themen Natur & Umwelt, Wissenschaft & Technik sowie Wirtschaft & Entwicklung. Jedes Kapitel erhält eine eigene neonfarbige Kodierung für den schnellen Zugriff.

Eine Visualisierung sollte idealerweise einen komplexen Zusammenhang rasch verdeutlichen, ohne dass viele erklärende Worte nötig sind. Alle Register des Grafikdesigns zu ziehen, ist dazu nicht immer nötig. Und so sind einige schlichte Grafiken besonders gelungen. Ein Balkendiagramm, um eine Entwicklung über die Zeit deutlich zu machen, ein Tortendiagramm, um das Verhältnis verschiedener Größen darzustellen: Auf einen Blick werden dabei die Aussagen klar – obwohl oder weil sie sehr einfach gestaltet sind.

Eine reduzierte Optik, die die Information in den Vordergrund stellt und eine Aussage unmittelbar vermittelt, begegnet einem beim Schwelgen durch die Farbwellen dieses Buches aber selten. Auch wird schnell klar, dass einige Themen besser zur Visualisierung geeignet sind als andere. Bevölkerungszahlen oder der Anteil erneuerbarer Energien in der Energiebilanz lassen sich per Grafik gut vermitteln. Mit Daten aus anderen Bereichen gelingt das weniger. Im Kapitel Wissenschaft & Technik, in dem es auch um Raumfahrt und Erdkunde geht, schießen neben den ansprechenden Grafiken auch einige über ihr Ziel hinaus. Die Kernaussage ist dann schwer zu erkennen. Und manch eine Darstellung muss erst gedreht und gewendet werden, bis sich der Sinn erschließt. Zum Beispiel versucht eine Grafik, die Leistungsdaten der drei Mars-Rover-Missionen der NASA über drei schmutzige Graphen zu vermitteln, die verschiedene Parameter wie Maße und Höchstgeschwindigkeit kreuzen; viele Informationen, deren Visualisierung aber nicht die erwünschte Klarheit bringt, sondern Verwirrung stiftet. Merke: Manchmal würde eine einfache Tabelle mehr bringen.

Eine Grafik darf auch mal verspielt sein. Und viele Visualisierungen, teilweise auf üppigen Aufklappseiten, machen wirklich Spaß. Reinen Selbstzweck sollten sie aber nicht haben. Alles in allem: Ein inspirierendes Buch zum Stöbern und Entdecken der Möglichkeiten, aber auch der Grenzen visuell vermittelter Informationen.



ETWAS VOM NICHTS



Keine zehn Pferde (Diogenes) ist ein Gedichtband. Handlich. Handfest. Nicht mehr, nicht weniger. Die Lyrik darin wie ein ungeschminktes Mädchen, natürlich, bodenständig. Verse ohne schwulstigen Ballast. Otto Jägersberg, Jahrgang 1942, Westfale, Buchhändler, Antiquar, freier Autor, Filmemacher, schaut einfach auf unsere Welt und gibt ihr mit ein paar Worten ein zweites Gesicht. Die kleinen Dinge sind sein Thema. „Drei Brillen“, „Die neue Waschmaschine“, „Steinpilze“... Der Minimalismus erstaunt, macht Schweres leicht, amüsiert zuweilen.

Vom Nichts

*Am Anfang war das Nichts
Es bestand aus vielen Nichtsden
Sie rieben sich aneinander
Es kam zur Explosion
Weg war das Nichts
Dafür war Raum
Das ist alles*

Wenn der Blick auf die kleinen Wunder des Alltags mal wieder verstellt ist, dieses 200-Seiten-Büchlein ist ein Weg aus dem Dickicht, Sie lächeln wieder. Garantiert.

Cordula Tegen

LINKTIPPS

VORLESUNGEN FÜR ALLE

<http://academicearth.org/>
Verlinkungen zu über 8.500 englischsprachigen Vorlesungen und 750 Online-Kursen von renommierten Universitäten sind hier zu finden. Akademisches Wissen wird so kostenlos zugänglich. Von Kunstgeschichte über Biologie, Mathematik und Management bis hin zu Psychologie sind die verschiedensten Gebiete vertreten und man wird schnell fündig, ob bei der gezielten Suche oder beim Stöbern.

DAS WISSEN DES WEB

<http://www.wolframalpha.com/>
„Ungefähr 846.000 Ergebnisse (0,42 Sekunden)“, dies ist die Antwort, wenn man mit Google die Distanz zwischen Erde und Pluto herausfinden will. Welche dieser Webseiten man für seine Antwort nutzt, bleibt einem selbst überlassen. Anders der „Computational Knowledge-Engine“ Wolfram|Alpha: Er berechnet seine Antwort, indem er auf Algorithmen und seinen expandierenden Wissensspeicher zugreift. Seine Antwort: „32,02 au (astronomical units)“. – Ein direkterer Weg zum Wissen.

AUGE IN AUGE MIT ISS, SATELLITEN UND CO.

<http://bit.ly/1z3bN06>

Dem spannenden Thema erdnaher Orbit nähert sich das Projekt „Heavens Above“. Es macht abstrakte Daten der künstlichen Erdtrabanten greifbar. Mit der 3D-Animation bekommt der Besucher ein Gespür dafür, wie schnell die ISS wirklich ist und was sie im Augenblick „sieht“. Die WebGL-Visualisierung ihrer Flugbahn ist auch über das DLR-Portal verlinkt. Noch interaktiver ist die verbesserte mobile App: Einfach das Smartphone gen Nachthimmel richten und es unterstützt das „Lesen“ des Firmaments.

NETZWERK LUFT- UND RAUMFAHRT

www.dglr.de

Die Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR) ist eine wissenschaftlich-technische Vereinigung für alle Luft- und Raumfahrt-Interessierten in Deutschland. Ihre Website gibt einen Überblick zu diesbezüglichen Entwicklungen und Veranstaltungen. Hier präsentieren sich regionale Ansprechpartner der DGLR sowie Experten für die einzelnen Wissensgebiete.

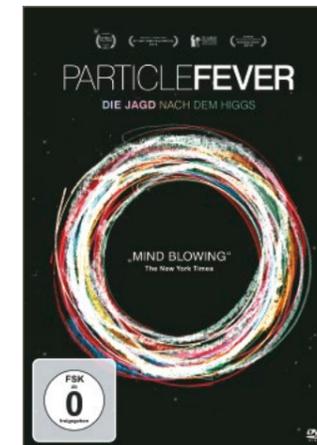
ALTERNATIV PRÄSENTIEREN

<https://prezi.com/>

PowerPoint-Präsentationen für Vorträge haben sich fest etabliert. Vortragenden, die einen anderen Weg wählen wollen, bietet „Prezi“ eine kostenfreie Alternative. Statt entlang einer festgelegten Reihenfolge von Folien bewegt sich der Referent auf einem „interaktiven Whiteboard“ hin und her, kann hinein- und hinauszoomen und bietet dem Auditorium so einen anderen Blick auf seine Ideen.

HIGGS AUF DEM KLAPPSTUHL

Für Außenstehende ist der „Large Hadron Collider“, der größte Teilchenbeschleuniger der Welt, am Schweizer Cern nur eine Maschine, mit der Wissenschaft betrieben wird. Die Bilder, die man kennt, zeigen große Apparaturen und kilometerlange Gänge mit Rohren und Leitungen. Die DVD **Particle Fever. Die Jagd nach dem Higgs“ (polyband)** hingegen macht erlebbar, was der LHC für die Wissenschaftler bedeutet. Selten sieht man Physiker emotionaler, selten wird so deutlich, mit welchem Engagement sie nach Erkenntnis suchen. Dabei ist der Film ganz bei seinen Protagonisten, begleitet sie über Jahre, zeigt kommentarlos die Aufregung im Kontrollraum, als zum ersten Mal der Teilchenbeschleuniger in Betrieb geht, lässt diejenigen zu Wort kommen, die einen kleinen Schritt näher an die Erkenntnis gelangen. Das alles ist dabei authentisch, denn die Kamera verfolgt in dieser Reportage den Lauf der Dinge – und selbst die Interviews wirken natürlich und ungestellt.



Gibt es das Higgs-Teilchen, das sogenannte Gottesteilchen, das die Welt zusammenhält? Der Film aus den USA zeigt Gänsehaut-Momente wie die Verkündung der ersten Ergebnisse in Anwesenheit von Physiker Peter Higgs, der sich wie einer von vielen im Hörsaal aufs Klappstühlchen gesetzt hat. Im Hörsaal ist die Spannung spürbar, weltweit verfolgen Wissenschaftler am Laptop den Livestream, und einer steht vor verschlossener Hörsaal-Tür, er kam zu spät zur Verkündung ... Aber auch Rückschläge, Probleme mit der Anlage und Wissenschaftler in Ratlosigkeit werden gezeigt.

„Particle Fever“ ist kein Film, der die Teilchenphysik bis ins Detail erklärt. Stattdessen menschelt es enorm – und das ist gut, denn es zeigt, dass rationale Wissenschaft oft mit viel Herz und Seele verbunden ist.

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, Philipp Burtscheidt, Falk Dambowsky, Julia Heil, Andreas Schütz, Melanie-Konstanze Wiese, Michel Winand und Jens Wucherpfennig

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

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten
Gestaltung: CD Werbeagentur GmbH, 53842 Troisdorf, www.cdonline.de

ISSN 2190-0094

Online:
DLR.de/dlr-magazin

Onlinebestellung:
DLR.de/magazin-abo

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.

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



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.



Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt