

MIT 12.000 MESSPUNKTEN DEM LÄRM AUF DER SPUR

DICKE LUFT ÜBER TOGO: Mit der Falcon in Westafrika
AUF SIGNALJAGD: Mit dem Roten Pfeil in Italien
SERIENSTART GROSSGERÄTE mit dem Raketenprüfstand P8





Bild: DLR/Gesine Born

Liebe Leserinnen und Leser,

Gutes macht keinen Lärm. Ein Sprichwort, das für mich im Leben wie in der Technik gilt. Denn Lärm ist eine Last, meist eine von uns Menschen selbst verursachte. Dabei wird unterschiedlich bewertet, was nervt, akzeptabel oder gar gewünscht ist. Bei Verkehrslärm, egal ob Straße, Schiene oder Luft, sind sich aber wohl alle einig: Der nervt. Doch wo genau entsteht der Lärm und kann man etwas tun, um ihn abzustellen? Ja, man kann, zumindest beim Flugzeug, innen wie außen. DLR-Forscher untersuchen sowohl die Wege der Schallwellen als auch die Möglichkeit, ihre Wirkung durch Antischall zu verringern. Ähnlich lästig wie Krach kann auch dicke Luft sein; ebenfalls Thema in diesem Heft. Dort, wo Industrie und Verkehr die Atmosphäre besonders verunreinigen, waren DLR-Wissenschaftler mit dem Forschungsflugzeug Falcon unterwegs. Über Togo untersuchten sie, wie Industrie und Verkehr die Atmosphäre verschmutzen und was das fürs Klima bedeutet. Abhilfe bei dicker Luft könnte die Elektromobilität schaffen, wenn sie es nicht so schwer hätte, gerade im Auto-Land Deutschland! Warum das so ist, diskutierten zwei, die es wissen müssen: ein Verkehrsforscher und ein Spezialist für Forschungsförderung. Förderung ist ein gutes Stichwort für den Nachwuchs, dem sich das DLR in besonderer Weise verpflichtet fühlt. Im Kommentar ist zu lesen, dass die Begeisterung Jugendlicher oft mit dem Einblick in eine fremde Welt beginnt. Aktuell gibt es gleich mehrere Ausstellungen, mit denen DLR-Wissenschaftler diesen Einblick geben. So anschaulich und interessant kommt Wissenschaft selten daher. Doch wenn auf diese Weise Begeisterung für Wissenschaft und Technik entsteht, dann hat sich diese spezielle Investition in Wissen für morgen gelohnt. Und in diesem Fall darf es auch mal laut sein: Lärm begeisterter Kinder ist in meinen Ohren Zukunftsmusik.

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation



Bild: DLR/Gesine Born

MIT DEM ROTEN PFEIL AUF SIGNALJAGD 18



EINE RAKETE LIGHT UND EINE ZWEITE CHANCE 42



OHNE TURBULENZEN 36



MIT LAUTEM GETÖSE ZUM LEISEREN FLUG 30

DLRmagazin 151



KOMMENTAR 4

KOMMENTAR	4
MELDUNGEN	5
KURZMELDUNGEN	6
DICKE LUFT ÜBER TOGO Mit der Falcon in Westafrika	8
ELEKTROMOBILITÄT IN DEUTSCHLAND Eine Diskussion über Innovation	14
MIT DEM ROTEN PFEIL AUF SIGNALJAGD Reportage von einer Messfahrt in Italien	18
DEM LÄRM AUF DER SPUR Die Wege der Schallwellen in die Kabine	24
MIT LAUTEM GETÖSE ZUM LEISEN FLUG Was ist die perfekte Gegenschwingung?	30
SICHER LEICHT GEMACHT Strukturen, die Crash-Energie aufnehmen	34
OHNE TURBULENZEN Rundtischgespräch zur Laminartechnologie	36
RAKETE LIGHT UND ZWEITE CHANCE Das Studentenprogramm STERN	42
DIE GROSSEN INDIVIDUALISTEN Der Prüfstand P8 für Raketenmotoren	46
DLR-AUSSTELLUNGEN Rosetta und Mars ganz nah	50
DIE ERDE LEBT, DIE ERDE SCHWEBT Im Gasometer Oberhausen	52
IN MUSEEN GESEHEN Science-Fiction in Senftenberg	54
REZENSIONEN	58

„EIN FENSTER IN EINE ANDERE WELT“

Materialien für Kindergärten, Schülerlabore und viele andere Angebote für Kinder und Jugendliche, schließlich Maßnahmen für Studierende und Doktorandinnen beziehungsweise Doktoranden – dass Bundeskanzlerin Merkel bei ihrem Besuch im März 2016 ausdrücklich die Bildungsarbeit des DLR lobte, freut uns natürlich. In der Tat ist uns die Nachwuchsförderung ein wichtiges Anliegen. Wer sonst, wenn nicht wir, die Forschungseinrichtungen des Landes, sollten junge Menschen für Forschung und Technik begeistern? Schulen allein können das nicht leisten. Institutionen wie das DLR haben daher eine Verpflichtung gegenüber unserer Gesellschaft als wissensbasierter Ökonomie, die auf qualifizierte Fachkräfte angewiesen ist, aber auch gegenüber der jungen Generation selbst. Primäres Ziel ist es dabei, Interesse an naturwissenschaftlichen Schulfächern zu wecken, eine entsprechende Studienwahl zu fördern und unsere Nachwuchskräfte auf ihrem Karriereweg unterstützend zu begleiten.

Doch es gibt darüber hinaus einige Aspekte, an die man vielleicht zunächst gar nicht denkt. Ein Beispiel: Wenn Schülerinnen und Schüler eines unserer zwölf DLR_School_Labs besuchen, lernen sie anhand altersgerechter Mitmach-Experimente die aktuelle Forschung kennen – im Sinne einer transparenten Öffentlichkeitsarbeit, die auch junge Zielgruppen ernst nimmt. Denn hier wird ja genau über jene zukunftsweisende Forschungsarbeit informiert, die unsere Welt von morgen – insbesondere also das Leben der heutigen Jugend – prägen wird. Umso wichtiger ist es, dass junge Leute darüber Bescheid wissen. Das hat auch mit gelebter Demokratie zu tun: Denn nur wer Technik und Technikfolgen versteht, kann sich eine eigene Meinung bilden und mitentscheiden.

Die jungen Besucher nehmen aber oft noch etwas ganz anderes aus unseren Schülerlaboren mit, das über pure Information und kognitives Verstehen hinausgeht: eine neue Perspektive! Vielen von ihnen öffnet ein solcher Tag im DLR ein Fenster in eine andere Welt, die sie bislang nicht kannten – sei es, weil sie aus sogenannten bildungsfernen Schichten stammen, sei es, weil Elternhaus und Schule andere Themen in den Vordergrund stellten. Hinzu kommt: Ein DLR_School_Lab garantiert Erfolgserlebnisse! Von studentischen Tutorinnen und Tutoren betreut, stellen die Jugendlichen – auch wenn sie es sich vorher nicht zugetraut hatten – fest: Ich kann das!

So hat ein DLR_School_Lab-Besuch abseits der rein fachlichen Inhalte mit vielen weiteren Facetten zu tun: mit einer Steigerung des Selbstwertgefühls, mit Teamfähigkeit und Bildungschancen, mit Motivation und auch Integration statt Perspektivlosigkeit und Frust. Und natürlich mit dem unverändert wichtigen Ziel, Mädchen in besonderer Weise zu fördern: nicht nur am „Girls'Day“, sondern Tag für Tag.

Über 35.000 Schülerinnen und Schüler haben die DLR_School_Labs mittlerweile pro Jahr zu Gast. 300.000 sind es inzwischen, seit das DLR vor 16 Jahren diese Aktionslinie in der Nachwuchsförderung begann. Zusammen mit Unterrichtsmaterialien für Tausende von Schulen und stark frequentierten Internet-Angeboten für junge Leute ist das echte Breitenwirkung. Darauf aufbauend fördern wir Talente: im Rahmen von Ideenwettbewerben für Studierende, Sonderschulen oder auch Maßnahmen wie dem „Fliegenden Hörsaal“ – einem Forschungsflugzeug, in dem Studentinnen und Studenten selbst an Messflügen teilnehmen können. Daran schließt sich die Betreuung in der Promotionsphase an – mit immerhin rund 1.000 Doktorandinnen und Doktoranden im DLR. Neben der fachlichen Tätigkeit in ihren Instituten, wo sich die Betreuungsstandards an einem Best-Practice-Leitfaden orientieren, können sie an einem anspruchsvollen Weiterbildungsprogramm teilnehmen, das ihr Kompetenzprofil anreichert und sie fit für die weitere Karriere macht. Zugleich ermuntern wir sie zu kreativem und unorthodoxem Denken – auch über ihr Promotionsthema und Institutsgrenzen hinaus. Hätten das DLR und andere Forschungseinrichtungen damals nicht „unorthodox“ gedacht – es gäbe heute viele dieser Nachwuchsfördermaßnahmen nicht.



Prof. Dr. Pascale Ehrenfreund
Vorsitzende des DLR-Vorstands

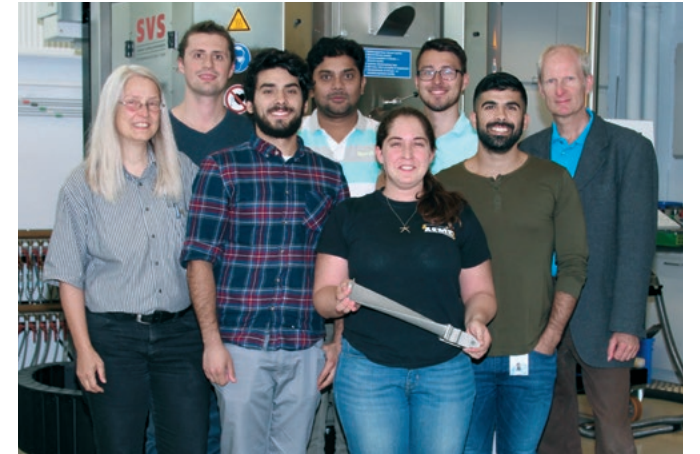
Bild: DLR/Gesine Born

STUDENTEN AUS DEN USA AM INSTITUT FÜR WERKSTOFF-FORSCHUNG

Werkstoffe unter extremen Beanspruchungen stehen im Fokus der Zusammenarbeit zwischen der University of Central Florida und dem DLR-Institut für Werkstoff-Forschung. Nun ist ein neues Programm angelaufen, das von 2016 bis 2018 jährlich jeweils vier amerikanischen Studierenden einen zweimonatigen Forschungsaufenthalt im DLR ermöglicht. Themen sind neue Schichtsysteme und additiv gefertigte Legierungen für Triebwerkkomponenten.

Die Forschungsaufenthalte werden von der National Science Foundation (NSF) der USA unterstützt. Für die Teilnahme an dem Programm müssen sich die Studierenden in einem Wettbewerb qualifizieren. Dass die NSF den Austausch finanziert, geht auf eine langjährige Zusammenarbeit zwischen den DLR-Werkstoffforschern und der University of Central Florida zurück, bei der einzigartige Untersuchungsmethoden entwickelt wurden. So ist es gemeinsam mit Wissenschaftlern des Argonne National Laboratory bei Chicago gelungen, mit hochenergetischen Röntgenstrahlen bei mehr als 1.000 Grad Celsius und gleichzeitiger mechanischer Belastung Einblick in die Werkstoffstruktur zu nehmen. Die neuen Erkenntnisse über die Werkstoffeigenschaften von dünnen Schichten oder über die Veränderung der Mikrostruktur von additiv hergestellten Legierungen bei hohen Temperaturen sind wichtig, um Werkstoffe zu verbessern und die Berechnungen bei der Gestaltung von Bauteilen noch genauer zu machen.

DLR.de/WF



Gemeinsam forschen
für bessere Werkstoffe

SCHÜLER-POWER BEIM WETTBEWERB ZUM THEMA ENERGIE

40 Jahre Energieforschung am DLR – das ist der Anlass für den bundesweiten Schülerwettbewerb „Zeigt uns eure Power“. Noch bis zum 14. Oktober 2016 können Schülerinnen und Schüler weiterführender Schulen ihre Ideen zur Energiegewinnung aus Sonne, Wind und Wasser beim DLR einreichen.

Die umweltfreundliche, effiziente und kostengünstige Bereitstellung von Energie sowie deren Speicherung sind im DLR schon seit vier Jahrzehnten Thema. Mit der aktuellen Kampagne will das DLR nun auch Schülerinnen und Schüler dazu ermuntern, sich den wichtigen Zukunftsfragen rund um das Thema Energie zu nähern. Die Aufgabe der Schüler ist es, in Teams von bis zu acht Personen eine Konstruktion zu entwerfen, mit der aus umweltfreundlichen Quellen Energie gewonnen werden kann. Die aus Sonne, Wind oder Wasser gewonnene Energie soll anschließend auf originelle Weise genutzt werden: Ob ein im Solarkocher zubereitetes Ei, ein durch ein Wasserrad angetriebenes Papierboot oder eine durch Windkraft leuchtende Glühlampe – der Kreativität der Nachwuchsforscherinnen und -forscher sind keine Grenzen gesetzt. Ihre Idee sollen sie in einem unterhaltsamen sowie informativen Video ans DLR schicken. Die zehn Gewinnerteams erhalten ein Überraschungspaket zum Thema Energie. Auf die drei besten Gruppen wartet ein Erlebnistag im DLR in Köln, an dem sie Einblick in aktuelle Forschungsprojekte nehmen können.

s.DLR.de/7072



Erst laut und dann leise – Experiment zu Schallwellen am Girls'Day 2016



Beim Experiment Infrarot im DLR_School_Lab Köln erfahren Schülerinnen am Girls'Day etwas über unsichtbares Licht

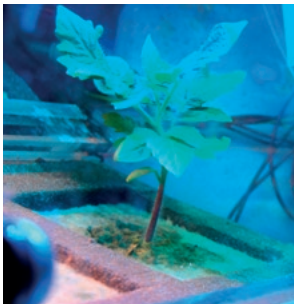


SOFIA FLIEGT WEITER

Seit fünf Jahren beobachtet die fliegende Sternwarte SOFIA (Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie) den Nachthimmel. 250-mal sind Forscher mit der aufwändig umgerüsteten Boeing 747SP schon aufgebrochen. Die Flüge waren erfolgreich, sodass das DLR und die NASA die Laufzeit für SOFIA bis Ende 2020 verlängerten. Herzstück SOFIAs ist das 17 Tonnen schwere Teleskop. Es misst ohne den störenden Einfluss der Erdatmosphäre die Wärmestrahlung aus dem Weltall. So werden Molekül- und Staubwolken untersucht, vorrangig in Galaxien, in denen neue Sterne und Planetensysteme entstehen. Dazu öffnet sich eine seitlich eingebaute Rollltür und gibt das Spiegelfernrohr mit seinem 2,70-Meter-Durchmesser frei. Der Vorteil gegenüber einem Teleskop im Weltraum: Die Messinstrumente lassen sich kontinuierlich modernisieren.

GEWÄCHSHAUS FÜRS ALL

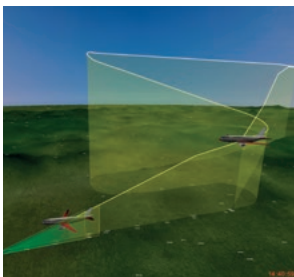
Für den DLR-Satelliten Eu:CROPIS, der zwei Gewächshäuser im All betreiben wird, hat der Bau des Flugmodells begonnen. Ende 2017 soll der Satellit samt seiner wissenschaftlichen Nutzlast, einem Gewächshaus, ins All starten. Während seiner Mission rotiert er dann so, dass in seinem Inneren für sechs Monate zunächst Schwerkraft wie auf dem Mond und anschließend sechs Monate lang Mars-Gravitation herrscht. Dabei sollen sich unter den „Augen“ von 16 Kameras Weltraum-Tomaten entwickeln.



Mikroorganismen in einem Rieselfilter sorgen dafür, dass aus künstlichem Urin Dünger entsteht. Augentierchen – der Einzeller Euglena – schützen das geschlossene System vor überschüssigem Ammoniak und liefern Sauerstoff. Fernziel sind Systeme, die eine Weltraum-Crew vor Ort mit frischen Lebensmitteln versorgen.

GEKRÜMMTE ANFLÜGE

Bei Flugversuchen mit dem Airbus A320 ATRA (Advanced Technology Research Aircraft) in Braunschweig erprobten DLR-Wissenschaftler neue automatische Landeverfahren und satellitengestützte Positionsbestimmungen. Gekrümmte Anflüge und hochpräzise Landungen können Lärm reduzieren und die Umwelt schonen. Mit Hilfe von Satellitennavigation und dem Einsatz modernster Flugzeugsysteme lassen sich Kurven mit festen Radien zwischen zwei



Wegpunkten exakt planen und so gekrümmte Landeanflüge sehr präzise fliegen. Traditionelle Landehilfen bieten zwar teilweise eine hohe Präzision, jedoch nicht für einen Kurvenflug. Doch durch ihn lassen sich Lande-Stoßzeiten an großen Flughäfen besser planen und besonders lärmbedingte Gegenden um Flughäfen umfliegen.

AUTO DER ZUKUNFT

Komponenten und Entwicklungswerkzeuge für die nächste Generation Auto (Next Generation Car) wurden in Braunschweig präsentiert. Ein Forschungsfahrzeug passte bei seiner selbstständigen Fahrt seine Geschwindigkeit automatisch an die des vorausfahrenden Personenkraftwagens an. Es kommunizierte mit Ampeln, hielt sich an Geschwindigkeitsbegrenzungen und fuhr regelkonform. Mit dem System UrbanACC (Urban Adaptive Cruise Control) bewältigte es sämtliche Fahrsituationen automatisch; bisher gelang die automatische Längsführung nur auf Autobahnen. Im Virtual-Reality-Labor zeigten die DLR-Wissenschaftler ein exaktes Abbild des Braunschweiger Innenstadtrings für Tests automatisierter Fahrfunktionen. Außerdem wurde das ROBoMObil präsentiert, dessen vier Radroboter das Fahren seitwärts sowie Drehen auf der Stelle ermöglichen.



BIROS KANN FEUER SEHEN

Der kühlschrankgroße Kleinsatellit BIROS (Bi-Spektral Infrared Optical System) umkreist seit Juni 2016 die Erde. In einer Höhe von 515 Kilometern spürt er Hochtemperaturereignisse wie Waldbrände oder Industrie-Hotspots auf der Erde auf. Zusammen mit dem Technologie-Erprobungsträger TET-1, der seit Juli 2012 im All ist, bildet er die Mission FireBIRD (Fire Bispectral Infrared Detector). Hochauflösende Infrarotkameras ermöglichen es, präzise Daten über Hitzeereignisse zu liefern, die per Laserkommunikation an Bodenstationen auf der Erde und per SMS direkt aufs Handy übertragen werden. Brände verursachen weltweit fast ein Drittel aller Kohlendioxid-Emissionen und sind meist anthropogenen Ursprungs. Aufgrund steigender Temperaturen, bedingt durch den Klimawandel, ist mit zunehmender Waldbrandgefahr zu rechnen.

DAMPFSTRÖMUNG SCHNELL UND GENAU BERECHNEN

Ein neues Berechnungsverfahren für das Verhalten von Wasserdampf ist von Forschern des DLR in Kooperation mit der Fachhochschule Zittau/Görlitz und der Technischen Universität Dresden entwickelt worden. Damit kann die Strömung von Wasserdampf in Turbinen berechnet werden. Das Verfahren arbeitet 300-mal so schnell wie bisherige Rechenmodelle. Wasser hat je nach Temperatur und Druck sehr unterschiedliche Eigenschaften. Um die Prozesse in der dreidimensionalen Umgebung einer Turbine numerisch vorhersagen zu können, muss das Verhalten für Millionen Punkte im Raum zu jedem Zeitpunkt berechnet werden. Die gewonnenen Daten helfen Herstellern von Dampfturbinen, diese zu optimieren. Auch die Weltraumforscher profitieren von dem Verfahren: Durch die Simulation von Prozessen mit Wasserdampf im Sonnensystem können sie Vorgänge auf Kometen, Monden und Exoplaneten besser verstehen.



Bild: Siemens Pressebild



ORGANISMEN ZURÜCK AUS DEM ALL

Mehrere hundert Organismen, die 530 Tage im Weltraum verbrachten, werden in diesen Wochen im DLR untersucht. Für die Reise ins All hatten die Forscher Organismen wie Bakterien und Flechten ausgewählt, die auch auf der Erde unter extremen Bedingungen leben und in ersten Tests auf der Erde unter simulierten Weltraumbedingungen in einer Marssimulationskammer bereits ihren Überlebenswillen unter Beweis gestellt hatten. Auf der Internationalen Raumstation ISS waren die DLR-Experimente BIOMEX (Biology and Mars Experiment) und BOSS (Bio Organisms Surfing Space) an der Außenseite der Station befestigt und dem Weltraumvakuum sowie der starken UV-Strahlung der Sonne ausgesetzt. Mit dem Versuch wollen die Wissenschaftler herausfinden, unter welchen Bedingungen Organismen im Weltraum überlebensfähig sind.

Bild: Pixabay



NUTZFAHRZEUGSTUDIE ZEIGT HANDLUNGSBEDARF

Eine Nutzfahrzeug-Studie von Shell in Zusammenarbeit mit dem DLR befasste sich mit der Zukunft des Straßengüterverkehrs sowie des öffentlichen Straßenpersonenverkehrs mit Bussen bis in das Jahr 2040. Sie kommt zu dem Schluss, dass die politischen Klimaziele vom Sektor Verkehr nicht erreicht werden. 2016 sind in Deutschland knapp drei Millionen Lastkraftwagen und 80.000 Busse zugelassen. Hauptverkehrsträger für den Gütertransport ist die Straße und dies wird auch in Zukunft so bleiben. Um die deutschen Klimaschutzziele zu erreichen, müssen Treibhausgasemissionen bis 2040 sektorübergreifend um 70 Prozent reduziert werden. Eine Lösung für alternative Antriebe von schweren Lastkraftwagen ist nicht in Sicht. Fortschritte könnten Brennstoffzellen und aus erneuerbarem Strom gewonnener Wasserstoff bringen.



TECHNOLOGIEN FÜR HUMANITÄRE HILFE

Die Rolle moderner Technologien im Kampf gegen den Hunger wurde Anfang Juli zum Start des Innovation Accelerators des UN World Food Programme (WFP) von internationalen Akteuren auf höchster Ebene diskutiert. Die neue Einrichtung des WFP wurde in München eröffnet. Das DLR nutzt Hightech für humanitäre Hilfe vor allem im Bereich der Fernerkundung, beispielsweise in Form von sehr rasch erstellten Überblickskarten für Einsatzkräfte in Katastrophengebieten. Die Helfer sind außerdem ständig auf der Suche nach besseren Satellitenkommunikationslösungen und Hightech-Lösungen bei der Krisenfrüherkennung. Das DLR könne seine Kompetenzen in die weltweite humanitäre Hilfe einbringen, sagte die DLR-Vorstandsvorsitzende, Professor Dr. Pascale Ehrenfreund (rechts im Bild).

REGIONALMELDUNGEN

STUTTGART: Um Biomasse aus der Landschaftspflege – etwa Schnittgut und Holzfälle – direkt vor Ort für die Energieversorgung zu nutzen, haben das DLR und EnBW (Energie Baden-Württemberg) sowie weitere Forschungspartner eine Pilotanlage entwickelt und getestet. Dafür rüsteten sie ein bereits bestehendes Holzvergaserkraftwerk mit einer kleinen Turbine, einer sogenannten Mikrogasturbine, aus. Diese verfügt über eine spezielle Brennkammer, die es ermöglicht, das aus Biomasse gewonnene Gas effizient und schadstoffarm zu verbrennen. Das Projekt zeigte, dass die Mikrogasturbine für die Gewinnung von Strom und Wärme aus Holzgas eine Alternative zum Gasmotor sein kann.

NEUSTRELITZ: Seit Mai 2016 verfügt das DLR in Neustrelitz über eine vierte Großantenne. Mit einem Durchmesser von 11,5 Metern und einer Fläche von 103 Quadratmetern verfügt sie über einen mehr als doppelt so großen Empfangsspiegel wie ihre „Schwestern“. Ihr gewaltiger Parabolspiegel garantiert eine fehlerfreie Übertragung, vor allem der Daten von den Sentinel-Satelliten. Diese Satelliten liefern Erdbeobachtungsdaten über den Zustand des Ökosystems der Erde.

AACHEN: Nach Berchtesgaden, Rostock und Braunschweig verfügt das DLR nun auch nahe Aachen über eine Entwicklungsumgebung für Europas Satellitennavigationssystem Galileo. Mit „automotiveGATE“ und „railGATE“ werden unter Verwendung von realen Galileo-Daten Straßenverkehrssituationen analysiert sowie neue Kommunikationssysteme für die Bahn getestet.

GÖTTINGEN: Das DLR hat gemeinsam mit der ungarischen Botschaft, der Stadt und der Universität Göttingen den ungarischen Strömungsforscher Théodor von Kármán mit einer Gedenktafel und einem anschließenden Kolloquium geehrt. Göttingen war die Stätte seiner größten wissenschaftlichen Erfolge. Von Kármán gilt als Wegbereiter der modernen Aerodynamik und lieferte mit seinen Untersuchungen der später nach ihm benannten „Kármánschen Wellen“ (gegenläufiger Wellen hinter einem umströmten Körper) einen wichtigen Beitrag zur Göttinger Strömungsforschung.

BREMEN: Am internationalen Asteroidentag am 30. Juni 2016 weihten 14 Schüler im DLR_School_Lab Bremen zwei Versuche zum Thema Asteroiden ein. Beim Experiment „Röntgenspektrometrie“ untersuchten sie echte Meteoriten, während sie beim „Asteroiden-Chaos“ die Erkenntnis gewannen, dass sich Asteroidenbahnen langfristig schlecht voraussagen lassen.

DLR.DE: MELDUNGEN AUF DER DLR-WEBSITE UND DER 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.

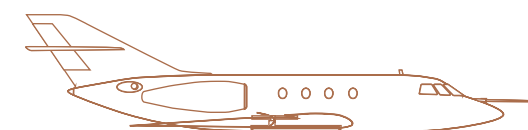
DLR.de/meldungen

DLR.de/newsletter



Bild: DLR/Valerian Hahn

DICKE LUFT ÜBER TOGO



Mit der Falcon in Westafrika: Auf atmosphärischer Spurensuche in einer sich wandelnden Region

Von Fabian Locher

Willkommen in Westafrika – wo staubiger Saharawind aus dem Norden auf feuchten Monsun vom Meer trifft. Wo verbrannter Müll, knatternde Motorräder und viele kleine Holzkohlefeuer sich in der Luft mit den Abgasen von Kraftwerken, vom Schiffsverkehr und von den Ölplattformen vor der Küste vermengen. Wo unkontrolliert Waldflächen in Agrarland umgewandelt werden und wo durch starkes Bevölkerungswachstum und rapide Urbanisierung die Megacities der Zukunft entstehen. Doch welche Folgen hat der Wandel der Region für die Luft? Wie beeinflusst er die Zusammensetzung der Atmosphäre? Wie wirkt sich das alles auf Wetter und Klima aus? Welche Effekte hat der Wandel auf die Gesundheit der Menschen und der Natur?

Um das herauszufinden, untersuchten Wissenschaftler des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre, wie sich die Emissionen der Schadstoffquellen in der Region auf die Eigenschaften der Wolken auswirken. An Bord des DLR-Forschungsflugzeugs Falcon flogen sie von der togolesischen Hauptstadt Lomé aus durch Wolkendecken und über Großstädte, Tanker und Ölplattformen hinweg, um die chemische Zusammensetzung der Luft zu ermitteln und Erkenntnisse zur Mikrophysik der Wolken in dieser belasteten Region zu gewinnen. Die Daten helfen dabei, Klimamodelle und Wettervorhersagen zu verbessern und die Folgen des Wandels der Region besser einzuschätzen – eine Basis für eine dauerhaft nachhaltige Entwicklungspolitik.

DAS PROJEKT DACCIIWA

Koordiniert vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) untersuchen Forscher im EU-Projekt DACCIIWA (Dynamics-Aerosol-Chemistry-Cloud Interactions in West Africa) die Zusammenhänge zwischen Wettereinflüssen, Klimawandel und Luftverschmutzung an der westafrikanischen Küste. In koordinierten Boden- und Flugzeugmessungen erforschen die Wissenschaftler dabei erstmals die gesamte Kette der Auswirkungen von natürlichen und menschengemachten Emissionen auf die Atmosphäre. Von Juni bis Juli 2016 waren sie dazu mit drei Forschungsflugzeugen vor Ort. Zudem bauten sie drei instrumentierte Bodenstationen im Landesinneren auf. Von dort starteten die Wissenschaftler der Projektpartner mehrmals am Tag Wetterballons und unbemannte Kleinflugzeuge, um Messungen

durchzuführen. Außerdem erstellten unter anderem die KIT-Kollegen ein Kataster der urbanen Emissionen und werteten Gesundheitsdaten aus. Das insgesamt fünf Jahre dauernde Projekt schafft damit die Grundlage für präzisere Klima-, Wetter- und Luftqualitätsmodelle, die eine nachhaltigere Entwicklungspolitik ermöglichen. Die Europäische Union fördert das Projekt im 7. Rahmenprogramm mit rund 8,75 Millionen Euro. Insgesamt sind 16 internationale Forschungseinrichtungen aus Deutschland, der Schweiz, Frankreich, Großbritannien, Ghana, Nigeria sowie weitere afrikanische Partner aus Benin und der Elfenbeinküste an dem Projekt beteiligt.

Komplexes Gemisch in mehreren Wolkenschichten

Blick auf die Wetterkarte: Das Satellitenbild zeigt eine dicke Wolkenschicht über der Elfenbeinküste, Ghana, Benin, Togo und Nigeria. Was aus dem Weltall nicht zu sehen ist: Unterhalb dieser obersten Schicht befinden sich noch weitere Wolkendecken. Dünne Stratuswolken formieren sich regelmäßig in nur 200 bis 600 Meter Höhe über der westafrikanischen Küste. Diese Wolkenschicht eignet sich gut, um den Einfluss von Partikeln in der Atmosphäre, sogenannter Aerosole, auf die klimarelevanten Eigenschaften der Wolken zu untersuchen. Die Aerosole können dabei sowohl natürlichen Ursprungs sein, zum Beispiel Salz aus dem Meer oder Sandstaub aus der Wüste, als auch vom Menschen verursacht worden sein, beispielsweise durch Holzkohlefeuer oder städtische Abgase.

Eine der herausforderndsten Fragestellungen der Atmosphärenforschung ist es, herauszufinden, wie diese Aerosole auf die Wolkenbildung und deren Strahlungseigenschaften wirken. Fest steht: Sie sind relevant für das Klima. Sie breiten sich in der Atmosphäre aus und beeinflussen Wolken in unterschiedlichen Höhen. Auch der Luft- und Schiffsverkehr produziert Aerosole. Gerade der Einfluss von schwefelhaltigen Aerosolen, die sich aus dem Schwefel im Treibstoff bilden, ist noch weitgehend unverstanden. Nach Modellrechnungen entfalten diese Sulfataerosole eine kühlende Wirkung auf die Atmosphäre und wirken somit der Erderwärmung entgegen. „Mit unseren Messflügen in Westafrika können wir den Einfluss von Aerosolen auf die Wolken-

eigenschaften hervorragend studieren. So tragen wir zum Verständnis dieses Prozesses bei und haben eine Grundlage für die Entwicklung belastbarer Modelle“, erklärt Dr. Hans Schlager, Projektleiter der DLR-Messkampagne im EU-Projekt DACCIIWA (Dynamics-Aerosol-Chemistry-Cloud Interactions in West Africa).

Um den hochkomplexen Wechselbeziehungen zwischen Aerosolen und Wolkeneigenschaften auf die Spur zu kommen, nutzen die Wissenschaftler den Umstand, dass sich entlang der westafrikanischen Küste Gebiete mit hoher und niedriger Aerosolbelastung und Bereiche mit vom Menschen verursachten und natürlichen Aerosolen abwechseln. So können die Eigenschaften der Stratuswolken, die sich entlang der gesamten Küste Westafrikas bilden, in Bezug zu den unterschiedlichen Aerosolen gesetzt werden. Vorab berechnen die Wissenschaftler mit Strömungsmodellen die Ausbreitung der Abgase von den verschiedenen Quellen, die sich wie eine Fahne bis zu 300 Kilometer weit über das westafrikanische Festland erstrecken. Die Abgasfahnen der großen Küstenstädte Accra, Abidjan, Lomé und Cotonou ziehen von der Küste her übers Festland, hinweg über Wälder, Agrarflächen bis in die Sahelzone.

Wolkenjagd und Abgasfahnen

An Bord des Forschungsflugzeugs Falcon 20E flogen die Wissenschaftler von Juni bis Juli 2016 zahlreiche Messflüge. Die Piloten der DLR-Einrichtung Flugexperimente aus Oberpfaffenhofen steuerten

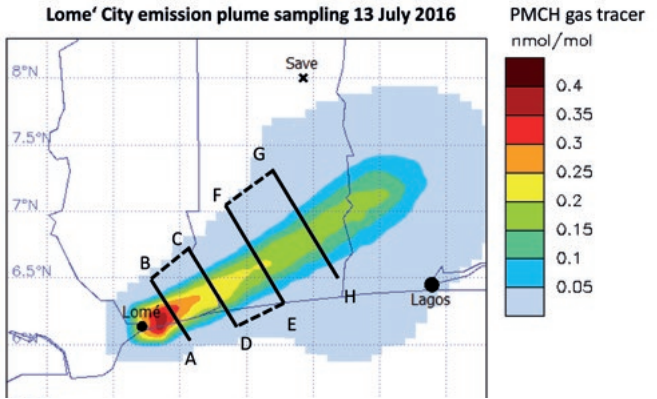


Bild: DLR/Valerian Hahn

Die unter den Flügeln der Falcon installierten Mess-Sonden ermitteln zum einen Partikel-Anzahlkonzentrationen, Flüssig- und Eiswassergehalte und den Grad der Lichtabschwächung in den Wolken. Zum anderen werden Aerosolpartikel erfasst, woraus die Wissenschaftler, in Kombination mit den Daten weiterer Partikelmessgeräte an Bord, die mikrophysikalischen und optischen Eigenschaften von Aerosolen und Wolken ableiten.



Bild: DLR/Valerian Hahn



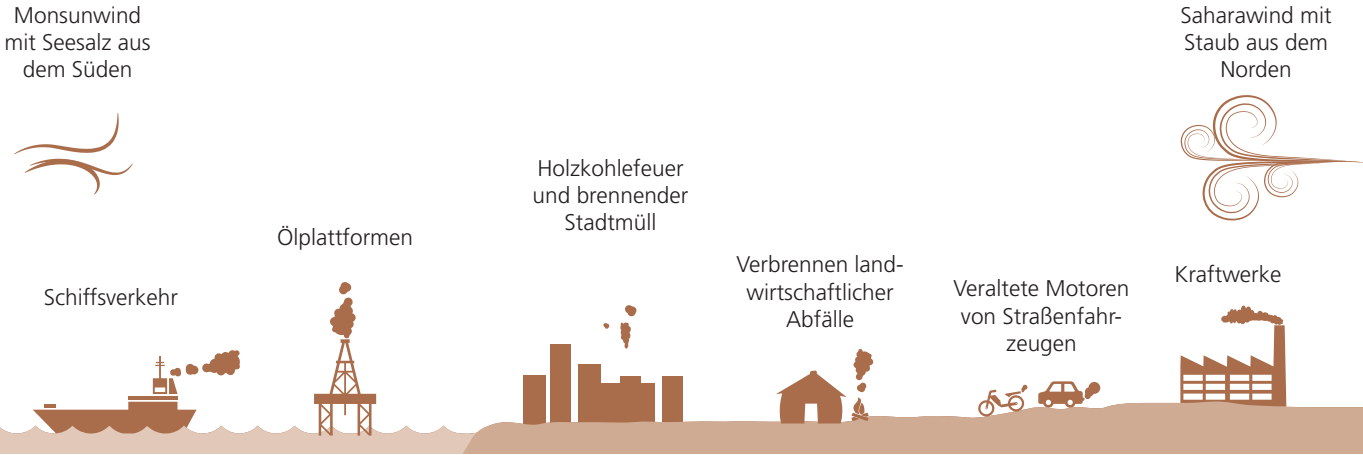
Vorhersage der Emissionsfahne von Lomé für den Messflug am 13. Juli 2016 und Falcon-Messroute. Farbkodiert dargestellt sind die Konzentrationswerte eines speziellen Gases, das vor dem Messflug in Lomé freigesetzt wurde, um die Abgasfahne verfolgen zu können.



Bild: DLR/Valerian Hahn

Über den Städten der westafrikanischen Küste bilden sich regelmäßig in niedriger Höhe Wolkenschichten. Deren Einfluss auf Wetter und Klima ist Gegenstand des EU-Forschungsprojekts DACCIIWA.

EMISSIONSCOCKTAIL ÜBER TOGO



die Falcon dabei unter, über und mitten durch die Wolkenschichten. Für die Wolkenjagd-Mission ist das hochmodifizierte ehemalige Geschäftsflugzeug bestens ausgerüstet: Mit Lasertechnik, die in den Außenanbauten unter den Flügeln untergebracht ist, messen die Wissenschaftler die Größe und Anzahl der Tröpfchen in einer Wolke. In der späteren Analyse lassen sich so Rückschlüsse auf die mikrophysikalischen Eigenschaften der durchflogenen Wolke ziehen.

In der Kabine schwitzten währenddessen bei tropischen 40 Grad Celsius die DLR-Forscher und Projektpartner vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz und des Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) in Orleans und beobachteten die Ausschläge der auf der Falcon installierten Aerosol-Massenspektrometer und Lasermessgeräte. „Mit unseren Instrumenten charakterisieren wir die Anzahl und die chemische Zusammensetzung der Partikel in der Atmosphäre. So können wir verstehen, wie sich die gemessene Luftverschmutzung zu den Wolkeneigenschaften verhält“, erklärt Dr. Schlager, der die Abteilung Atmosphärische Spurenstoffe am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre im bayerischen Oberpfaffenhofen leitet.

Um möglichst präzise Daten über die Emissionen zu erlangen, steuerten die Piloten die Falcon nahe an die Quellen der Abgasfahnen. Der Luftströmung folgend untersuchten die Wissenschaftler, wie sich die Fahnen ausbreiten und welche Partikelprozesse sich dabei abspielen. So lässt sich feststellen, wie sich die verschiedenen Aerosole auf die Wolken auswirken.

Die Messflüge wurden zusammen mit zwei anderen Forschungsflugzeugen europäischer Projektpartner durchgeführt: Gemeinsam mit der Falcon des DLR flogen die Propellermaschine vom Typ Twin Otter des British Antarctic Survey (BAS) und die ATR 42 des Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement (SAFIRE), einer Vereinigung der französischen Forschungsinstitutionen CNRS, Météo-France und CNES, durch die tropischen Lüfte. Die unterschiedlichen Flugzeugtypen spielten dabei jeweils ihre besonderen Stärken in Bezug auf Flughöhe, Reichweite und Flugdauer aus – flogen jedoch mit ähnlicher Instrumentierung, um einen konsistenten gemeinsamen Datensatz zu generieren.

Überraschende erste Befunde

Erste Auswertungen der gesammelten Daten deuten darauf hin, dass es neben Sulfataerosolen auch einen hohen Anteil anderer Aerosole gibt: „Entgegen unseren Erwartungen, enthalten die Abgasfahnen auch einen hohen Anteil organischer Partikel“, stellt Dr. Schlager fest. Diese entstehen durch das Verbrennen von Müll, landwirtschaftlichen Abfällen und Holzkohle bei niedriger Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit. „Wie die unterschiedlichen Partikel auf die Chemie, Dynamik, Wolken und Strahlungsbilanz der Atmosphäre wirken, müssen wir nun noch herausfinden.“



Die Luftverschmutzung ist für die westafrikanischen Küstenstädte ein wachsendes Problem

Bis 2018 erforschen die Wissenschaftler im Projekt DACCIIWA die Wechselwirkungen zwischen Aerosolen und Wolken und den Einfluss auf die Strahlungsbilanz der Atmosphäre. „Nachdem wir alle Daten ausgewertet haben, sollen unsere Erkenntnisse zur Verbesserung von Klima- und Wettermodellen genutzt werden. Gemeinsam mit den Projektpartnern können wir dann belastbarere Prognosen für Westafrika aufstellen – eine Region, die weltweit mit am stärksten die Auswirkungen des Klimawandels zu spüren bekommen wird“, wagt Dr. Schlager einen Blick in die Zukunft.



Die drei an der Messkampagne in Togo beteiligten Forschungsflugzeuge: die Falcon 20E (DLR), die Twin Otter (BAS) aus Großbritannien und die ATR 42 (SAFIRE) aus Frankreich (von links nach rechts)

TYPISCHER TAGESVERLAUF BEI DER FLUGKAMPAGNE

Geplanter Start: 8:30 Uhr

4:00 Uhr: Techniker beginnen mit der Stromversorgung der Falcon über die Energiestation am Boden (Ground Power Unit, GPU). Wissenschaftler bereiten die Messgeräte in der Falcon vor.

6:00 Uhr: Die Wettervorhersage vom Vortag wird mit den aktuellen Daten verglichen, gegebenenfalls wird der Flugplan angepasst.

7:00 Uhr: Zwei Piloten, ein Mechaniker, ein Flight Operations Manager und drei mitfliegende Wissenschaftler treffen am Flughafen ein.

7:00 – 07:30 Uhr: Der Mechaniker beginnt mit der Vorflugkontrolle, prüft Ölstände, inspiziert Außenanbauten, Modifikationen; Wissenschaftler überprüfen die Funktionen der Messgeräte.

7:30 – 08:00 Uhr: Die Piloten beginnen mit ihrer Vorflugkontrolle, prüfen kritische Stellen, untersuchen das Flugzeug auf sichtbare Mängel, kontrollieren Bremsbeläge und Reifenprofile. Der Flight Operations Manager gibt den Flugplan mit Details zum Flugzeug und der geplanten Flugroute an den Tower. Letzte Vorbereitungen der Instrumente durch die Wissenschaftler.

8:00 Uhr: Die GPU wird abgeschaltet. Die wissenschaftlichen Instrumente werden heruntergefahren. Die Falcon wird aus dem Hangar auf das Vorfeld geschleppt.

8:05 Uhr: Die Falcon steht auf dem Vorfeld. Piloten betreten das Cockpit. Die Hilfsturbine (Auxiliary Power Unit, APU) wird gestartet, sie versorgt das Flugzeug inklusive der wissenschaftlichen Einbauten mit Strom und kühler Luft.

8:10 Uhr: Die Piloten beginnen mit dem Abarbeiten der Pre-Flight-Checkliste. Die Wissenschaftler schalten die Instrumente in den Flugmodus. Nicht-Mitfliegende verlassen die Falcon.

8:15 Uhr: Der Operations Manager übergibt aktuelle Informationen des Towers an die Piloten; enthalten sind kurzfristige Änderungen, Informationen über aktive Sperrgebiete, neueste Wettervorhersage etc.

8:20 Uhr: Die Piloten nehmen Funkkontakt mit dem Tower auf; fragen nach der Genehmigung zum Triebwerkstart, führen weitere Checks durch.

8:25 Uhr: Rollen zur Startbahn.

8:30 Uhr: Start – Take-off.

8:30 – 12:00 Uhr: Messflüge in verschiedenen Höhen; je nach Tagesziel und Mission.

12:00 Uhr: Landung.

12:10 Uhr: Rollen zum Tanken.

12:30 Uhr: Die Falcon wird in den Hangar geschleppt.

12:40 Uhr: Der Mechaniker beginnt mit der Nachflugkontrolle und übergibt die Falcon an die Techniker der Mess- und Sensortechnik zur Stromversorgung.

12:45 Uhr – 17:00 Uhr: Die GPU wird angeschaltet. Die beim Messflug gewonnenen wissenschaftlichen Daten werden übertragen, die Messgeräte werden neu kalibriert.

17:00 Uhr: Power off – Flugtag beendet.



Bild: Berlin Partner

BUSINESS ANGELS, VENTURE-CAPITAL UND MUT ZUM SCHEITERN



Eine Diskussion über Elektromobilität in Deutschland

Elektroautos haben es viel schwerer, Käufer zu finden als von der Politik geplant und erhofft. Wie kann man eine solche Innovation fördern und beschleunigen? Gibt es Regeln, nach denen sich Neuerungen am Markt durchsetzen? DLR-Verkehrsredakteurin Dorothee Bürkle befragte dazu Dr. Stephan Müller, Wissenschaftler vom DLR-Institut für Verkehrsforschung und Peter Wüstnienhaus vom DLR Projektträger, zuständig für die Programme zur Förderung der Elektromobilität. Eine Diskussion über die Fähigkeit zu Innovationen ...

Wieso muss Elektromobilität in Deutschland überhaupt staatlich gefördert werden?

Wüstnienhaus: Verschiedene Erwägungen in der Energie-, Wirtschafts- und Umweltpolitik führten dazu, dass 2009 das Thema Elektromobilität zu einem politischen Ziel erklärt wurde. Es war erkannt worden, dass sich für eine erfolgreiche Energiewende auch in der Mobilität etwas ändern muss. Seither wird die Elektromobilität stärker in Forschungsprojekten gefördert. Unsere Aufgabe als Projektträger ist es, Forschungsvorhaben auszuwählen und zu begleiten. Wir fördern beispielsweise die Batterieforschung und neue Antriebstechnologien, aber auch Forschungsprojekte, die untersuchen, wie Elektrofahrzeuge in die vorhandene Infrastruktur eingebunden werden können. Deutschland ist eine Automobilnation. Wir haben also darüber nachzudenken, was wir tun können, damit wir – so das Ziel der Bundesregierung – auch in der Elektromobilität Weltmarktführer werden und einen Leitmarkt etablieren; wie wir es also schaffen, dass eine frühe Nachfrage die heimische Produktion und Wertschöpfung nach sich zieht.

Gibt es denn eine reale Chance für Deutschland, Weltmarktführer zu werden?

Müller: Das ist inzwischen schwierig geworden. Zum einen ist da das Thema Batterie als die wesentliche Schlüsseltechnologie für Elektromobilität: Das ist vor Jahrzehnten in den asiatischen Raum abgewandert, da damals nur geringe Funktionalitätsansprüche an Batterien existierten. Damit ging auch Know-how in Deutschland verloren. Der andere angesprochene Punkt betrifft den Leitmarktgedanken. Gemäß diesem Konzept haben Produkte, die zunächst erfolgreich in ihrem Heimatmarkt entwickelt und ausprobiert werden, eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit auf Weltmärkten als die Produkte von Nachahmern. Auf dem Heimatmarkt entstehen Vorteile, wie Erfahrungen, Kostenvorteile und Vorteile beim Technologietransfer, die eine weltweite Technologieführerschaft begünstigen. In Deutschland ist die Zahl der Elektroautos seit 2009 zwar ansteigend, insgesamt ist die Flotte aber mit 20.000 bis 30.000 Fahrzeugen noch sehr klein. Wenn man dagegen den amerikanischen Autobauer Tesla betrachtet, der



Peter Wüstnienhaus (links) weiß, woran Unternehmen und Forschungsinstitute in der Branche arbeiten und forschen. Er leitet beim DLR Projektträger die Vergabe von Fördermitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie für die Elektromobilität. Wüstnienhaus ist seit 2012 mit einem eigenen Elektroauto unterwegs, seit 2015 mit einem Kia Soul EV.

Dr.-Ing. Stephan Müller ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im DLR-Institut für Verkehrsforschung, Abteilung Wirtschaftsverkehr. Seine aktuellen Arbeitsfelder sind unter anderem Elektromobilität, Angewandte Innovationsforschung und die Bewertung von Neuerungen im Güterverkehr. Für nahezu alle seine Wege nimmt er das Fahrrad, für die restlichen fünf Prozent draußen in der Natur nutzt er das Wohnmobil.

2013 allein 22.000 Autos verkauft hat, gibt es Anzeichen dafür, dass der Leitmarkt für Elektromobilität nicht in Deutschland entsteht. Tesla bedient die Nachfrage in seinem Heimatmarkt Kalifornien erfolgreich – mit dem hochpreisigen emissionsfreien Sportwagen, für den man in Deutschland bisher keine Nachfrage sah und ihn aus diesem Grund hier auch nicht anbietet. Andere Fahrzeuge exportiert Tesla inzwischen weltweit, auch nach Deutschland. Übrigens: Mit dem „Model 3“ transferiert Tesla sein Know-how auch schon in den Mittelklasse-Automarkt. Für die deutsche Automobilindustrie, die gerade auf Premiumautos und Mittelklassewagen spezialisiert ist, wird es also schwieriger, einen Leitmarkt für Elektromobilität zu schaffen.

Wüstnienhaus: Bei der Batterie stimme ich komplett zu. Ich glaube allerdings nicht, dass deutsche Unternehmen Zellhersteller werden müssen. Wir müssen eher die Technologie beherrschen und Produktionsmaschinen für Batterien herstellen können. Produziert werden kann durchaus im Ausland. Das ist auch in anderen Bereichen, zum Beispiel in der Unterhaltungselektronik, so üblich. Die deutsche Autoindustrie wäre aber gut beraten, wenn sie das Thema Fahrzeug und Antrieb wirklich ernst nehmen würde. Da haben wir zum Beispiel mit Schaeffler, Continental und Bosch wirklich gute Zulieferer. Die Automobilhersteller müssen erkennen, dass die Wertschöpfung nicht mehr nur in der Verbrennungsmaschine liegt. Das ist der Bereich, in dem die deutsche Autoindustrie wirklich gut dasteht. Leider hat die Schummelei mit den Abgaswerten gezeigt, dass man versucht, hier mit Trickereien die Pfründe zu retten. Andere Autohersteller wie Porsche oder BMW versuchen, die vorgeschriebenen Verbrauchswerte für die ganze Flotte zu erreichen, indem sie im höchsten Preissegment einen Hybrid auf den Markt bringen. Ich hoffe, dass der Abgas-Skandal ein Umdenken bewirkt. Wir sind in Deutschland in der Lage, gute Elektrofahrzeuge zu fertigen, im Moment ist die Elektromobilität aber nur ein Feigenblatt.

Dann könnten doch kleinere Start-ups die Elektromobilität wirklich voranbringen ...

Wüstnienhaus: Ja, beim Projektträger achten wir darauf, dass es einen gesunden Mix aus klein- und mittelständischen Unternehmen, den sogenannten KMU, und größeren Industriefirmen gibt. Allerdings: Wenn KMU als Einzelkämpfer unterwegs sind, können sie

kaum eine Sichtbarkeit erlangen, ehe der Markt in anderen Ländern schon vorbeigezogen ist. Ein KMU wird auch in der Standardisierung nie so weit kommen, wenn es nicht mit großen Firmen zusammenarbeitet. Ein gutes Beispiel ist der Mennekes-Stecker, ein Ladestecker für Elektrofahrzeuge, der sich überall durchgesetzt hat. Der Hersteller aus dem Sauerland hatte das Glück, ihn zusammen mit Daimler zu etablieren. Das hat er nur im Verbund geschafft. Dementsprechend handhabt es der Projektträger: Wir fördern möglichst im Verbund.

Müller: Das halte auch ich tendenziell für die richtige Strategie. Allerdings gibt es hier ein „Aber“: Großunternehmen sind durch ihre schiere Größe vergleichsweise schwerfällig; sie sind wie große Tanker, die ihre Richtung nur langsam ändern können. Großunternehmen haben Innovationen, die ihre Kernkompetenz ablösen könnten, oftmals nicht rechtzeitig auf dem Schirm. Das gilt auch für die Elektromobilität. Neue Ideen kommen deshalb oft von kleinen Unternehmen. Eine sinnvolle Strategie wäre somit, dass KMU neue Ideen und Einflüsse durch Forschungsprojekte in die großen Unternehmen hineintragen und so Impulse setzen. Das funktioniert aber nur, wenn die kleineren Unternehmen und deren Ideen durch eine ausreichende Kapitalausstattung und Patentschutz besser geschützt werden. Auch muss sichergestellt werden, dass die Ergebnisse einer erfolgreichen Zusammenarbeit nicht wegen einer geänderten Strategie des Großunternehmens plötzlich in der Schublade verschwinden.

Das würde aber auf eine eher langsame Veränderung und Entwicklung hinauslaufen ...

Wüstnienhaus: Ja, in dem Moment, in dem wir es im Verbund machen, läuft es auf eine Evolution und nicht auf eine Revolution hinaus. Eine Revolution werden wir mit einem großen Unternehmen nicht erleben, da wird zu sehr auf den Shareholder-Value geachtet.

Müller: Wenn ganze Branchen verschwänden und mühsam wieder aufgebaut werden müssten – sofern das noch in Deutschland gelänge, dann gäbe es viele Verlierer im Wirtschafts- und Sozialsystem. Sinnvoller wäre ein sehr vorsichtiger evolutionärer Prozess, der auch Versuch und Scheitern beinhaltet.

Wüstnienhaus: Jetzt kommt von mir ein „Aber“: Forschungsprojekte, besonders wenn sie anwendungsnahe sind, werden vor der Bewilligung so lange auf Machbarkeit abgeklopft, bis ein Scheitern nahezu ausgeschlossen ist. Ich würde mir in der Forschungsförderung schon den Mut wünschen, dass man auch riskante Projekte bewilligt.

Müller: Dieses „Ausschließen des Scheiterns“ ist schade, weil wir es hier meiner Meinung nach mit einer Innovation zu tun haben, die mit einem bedeutsamen Richtungswechsel für Nutzer und Hersteller verbunden wäre – einer sogenannten radikalen Innovation. Radikale Innovationen bedeuten sowohl organisatorische als auch technische Umstellungen, und da kann man die Nachfrage nicht planen. Nehmen wir die Entwicklung des Computers: Auch sie war im Nachhinein betrachtet nicht planbar, zu keinem Zeitpunkt. Man konnte in den Achtzigerjahren nicht vorhersagen, welche Rolle der Computer irgendwann am Schreibtisch oder im Wohnzimmer spielen würde. Wenn man akzeptiert, dass Elektromobilität eine radikale Neuerung ist, kann man nicht davon ausgehen, dass bisherige Branchen immer weiter so funktionieren werden wie bisher. Sie verändern sich. Manchmal können dabei auch Betriebe verschwinden und neue entstehen. Das ist ein harter Prozess, weil es Gewinner und Verlierer gibt. Und dennoch ist dieser Prozess wichtig, damit technologischer Fortschritt entsteht. Für die Auswahl geeigneter Forschungskooperationen ist es auch wichtig zu beachten, dass radikale Veränderungen selten aus der Branche selbst kommen. So kam das Automobil nicht aus der bis dato beim Transport vorherrschenden Eisenbahn-Industrie, die Office-Anwendungen für den PC nicht von der Schreibmaschinen-Industrie. Auch kann beobachtet werden, dass Neuerungen dann auf den Markt gebracht werden, wenn Unternehmen in einer existenziellen Krise stecken. Das steht im Widerspruch zur Forderung der finanziellen Stabilität von Projektpartnern!

Wüstnienhaus: Deshalb geht unser Förderansatz noch weiter: Die Firma StreetScooter GmbH aus Aachen, die aus einem Universitätsprojekt entstanden ist, hat gezeigt, dass man Fahrzeuge ganz anders und viel kostengünstiger fertigen kann. Einsatzbereich des Fahrzeugs: der Lieferverkehr für die Post. Weil es übrigens keinen deutschen Hersteller gab, der in der Klasse bauen wollte, hat die Post dieses Unternehmen gekauft.

Müller: Es gibt Fälle von Inventoren, die keinen Abnehmer für ihre Erfindung hatten und selbst in weitergehende Wertschöpfung eingestiegen sind. Und es gibt Fälle von Nutzern, für deren Bedarf es am Markt kein Angebot gab und die dann selbst zum Hersteller wurden. Schließlich wurden sie zum Automobilproduzenten.

Waren sie erfolgreich damit?

Müller: Nein, weil sie mit ihrem speziellen Know-how nicht auf der ganzen Breite der Fahrzeugherstellung standhalten konnten. Wir haben bei der Fahrzeugproduktion einen sehr ausgereiften Prozess, und das können kleinere Newcomer nicht in wenigen Jahren aufholen. Wichtig ist, dass die Akteure, die neue Ideen haben, und diejenigen, die das gut umsetzen können, zusammenkommen. Nischenlösungen, wenn sie gefunden werden, sollten strategisch gefördert werden: Man kann beispielsweise mit Elektrofahrzeugen in den öffentlichen Verwaltungen anfangen; man kann im öffentlichen Personennahverkehr Elektrobusse einsetzen. Staatliche Nachfrage ist ein wichtiger Baustein, um radikale Innovationen voranzubringen. Die Nischen sind da, sie werden aber häufig nicht von den Etablierten besetzt, weil diese immer nur auf die aktuellen Kunden schauen und sich weniger auf zukünftige Absatzchancen konzentrieren. Das ist ein Dilemma.

Sehen Sie hier eine Lösung?

Wüstnienhaus: Da schaue ich gerne nach Kalifornien, dort gibt es die „Business Angels“, die all jene, die in einem Bereich etwas beitragen können, zusammenbringen. Und: Es gibt Venture-Capital. Wenn jemand glaubt, dass eine Idee gut ist, kann er Geld in das Unternehmen einbringen. Das Unternehmen muss dann allerdings auch bereit sein, Anteile abzugeben. Wir sehen oft, dass in den USA jemand mit seiner Idee reich wird: Elon Musk, Bill Gates oder Steve Jobs. Sie hatten jedoch alle Investoren, die sie unterstützt haben, ihnen aber auch auf den Füßen standen. In Deutschland ist die Kultur eine andere: Firmengründer wollen zwar Geld haben, aber nicht gegen Firmenanteile. Deshalb entsteht eine Finanzierungslücke: Der Projektträger fördert bis zur Entwicklung des Prototypen – danach muss der Inventor auf eigenen Füßen stehen.

Müller: Firmen wie Apple und Microsoft sind zwar in der Garage entstanden, groß geworden sind sie dann aber durch gutes Management. Ich habe in Deutschland und Frankreich mit Entwicklern und Erfindern von potenziell radikalen Innovationen im Verkehrsbereich umfangreiche Interviews geführt. Meist handelte es sich dabei um kleine Unternehmen. Es zeigte sich, dass deren Gründer zwar in der Regel gute Ingenieure sind, aber dass immer wieder das Management vernachlässigt wird.

Wüstnienhaus: In den USA kennt man sich untereinander, Erfinder und Manager sind besser vernetzt. Wenn jemand eine Top-Idee hat, dann findet sich auch jemand, der darin investiert, gegen Firmenanteile, wie gesagt. So langsam entsteht auch in Deutschland eine solche Kultur, in Berlin im IT-Bereich zum Beispiel, gefördert auch durch Netzwerkveranstaltungen. Im Ingenieurbereich kenne ich das nicht.

Wir brauchen also eine Kultur des Venture-Capitals in Deutschland?

Müller: Ja, wir brauchen eine andere kapitalgebende Kultur. Am Anfang ist es meist unmöglich, die Spreu vom Weizen zu trennen. Venture-Capital funktioniert in etwa so, dass zwei aus 100 Ideen funktionieren und die anderen 98 davon mitgetragen werden. Die



Noch gibt es zu wenig Ladestellen für Elektrofahrzeuge. Wie die Infrastruktur beispielsweise in Berlin mit solchen Ladestationen gestaltet werden müsste, untersuchen Wissenschaftler des DLR-Instituts für Verkehrsforschung.



Noch kein Durchbruch für die Elektromobilität in der Stadt. In der bislang umfangreichsten Studie über Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland fanden Wissenschaftler des DLR-Instituts für Verkehrsforschung heraus, dass der durchschnittliche private Nutzer männlich, gebildet und etwas über 50 Jahre alt ist. Die Mehrheit der Elektroautofahrer lebt auf dem Land und nicht wie erwartet in der Stadt.

deutsche Kapitalindustrie ist der aus den USA oder Großbritannien um Jahrzehnte hinterher. Banken bei uns denken eher konservativ. Kapital zu bekommen ist damit ein großes Problem für Inventoren. Auch das haben wir in unseren Interviews erfahren.

Wüstnienhaus: Es ist auch ein Unterschied, ob es um ein Auto-Land geht, in dem die Pfründe verteilt werden, oder ob es sich um zum Beispiel Norwegen handelt, wo die Automobilindustrie keine große Rolle spielt, es aber erneuerbare Energien im Überfluss gibt.

Was könnte Ihrer Meinung nach ein optimaler Weg sein?

Müller: Für mich ist das Dreigespann wichtig: Industrie, Politik und Wissenschaft. Wir brauchen, um bei uns Wissenschaftlern anzufangen, keine „Science on demand“. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler müssen progressiv nach vorne denken und Signale aus der Politik und von den Nutzern aufnehmen. Dies gilt gerade in solchen Zeiten, in denen keine Interessengleichheit von Politik und der etablierten Industrie herrscht.

Wüstnienhaus: Es gibt keine Patentrezepte. Wo ich hinmöchte: Elektromobilität muss zum Erfolgsfaktor für die Wirtschaft werden. Wir brauchen die Wertschöpfung in Deutschland. Zudem ist es wichtig, dass wir intermodale Konzepte weiterentwickeln. Und noch ein ganz praktischer Hinweis: Jeder, der Interesse hat, sollte ein Elektroauto eine Woche testen können. Wir müssen auch beachten, dass den Autohändlern eine große Verantwortung zukommt. Derzeit kommt der Kunde aber aus einem Verkaufsberatungsgespräch meistens mit einem herkömmlichen Verbrennungsauto heraus. Und das, obwohl für viele der Zweitwagen heute problemlos elektrisch sein könnte. Wenn wir in Deutschland Erfolg haben wollen, müssen die Verbraucher das testen können. Ich bin so zum Fan vom Elektroauto geworden.



Bild: DLR/Henrik Frensch

MIT DEM ROTEN PFEIL AUF SIGNALJAGD



Reportage von einer nächtlichen Messfahrt im italienischen Schnellzug Frecciarossa

Von Julia Heil

Es ist 23 Uhr, die Stahlgerüste des Zugdepots von Neapel sind in gelbes Licht getaucht. Ein ohrenbetäubendes Zischen ertönt. Ein Zug fährt ins Depot ein. Langsam kommt er zum Stehen. Zwei Gleise weiter steht ein Scheinwerfer im Schotter des Gleisbetts und beleuchtet die offene Spitze eines Triebwagens. Ein ungewöhnlicher Anblick. Umso mehr, da sich darin etwas bewegt: Paul Unterhuber, Wissenschaftler aus dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation, sitzt im Inneren der Zugnase und befestigt eine Messantenne und ein Abstandsradar. Hochkonzentriert verbindet er die Einzelteile: Das rote Kabel kommt ans blaue, das grüne ans braune. Eine Geduldsarbeit, bei der Vorsicht geboten ist. Werden die Kabel zu sehr geknickt, kann es später bei der Messkampagne, die Unterhuber leitet, zu Problemen kommen. Auch im übrigen Teil des Zuges herrscht geschäftiges Treiben: Laptops werden aufgestellt, Kabel hin- und hergereicht und die Deckenverkleidung wird abgenommen, um weitere Antennen miteinander zu verbinden. „Ich bräuchte hier vorne nochmal kurz Hilfe! Wir müssen uns ein bisschen beeilen, damit wir die Nummer 28 noch rechtzeitig im Bahnhof treffen können“, ruft Paul Unterhuber in den vorderen Waggon.



Die beiden Frecciarossa-Hochgeschwindigkeitszüge erreichen eine Höchstgeschwindigkeit von 360 Kilometern pro Stunde und haben eine Länge von 328 Metern. In ihren Spitzen installierten die Wissenschaftler Messantennen und Abstandsradar, um die Distanz der zwei Züge genau zu ermitteln und Informationen zwischen den Zügen auszutauschen.

Die Nummer 28 ist, wie auch die Nummer 7, in deren Nase er gerade die Antenne zur Funkkanalcharakterisierung befestigt hat, ein italienischer Hochgeschwindigkeitszug – ein Frecciarossa, auf Deutsch: Roter Pfeil. Diese beiden Züge sind nicht – wie üblich um diese Uhrzeit – mit Passagieren besetzt auf dem Weg zu einem Bahnhof oder stehen zur Reinigung im Depot. Heute Nacht befinden sie sich in den Händen eines elfköpfigen Teams aus dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation. Die Wissenschaftler nutzen die beiden Schnellzüge, um während der Fahrt die Zug-zu-Zug-Kommunikation zu untersuchen. Dazu sind sie extra von Oberpfaffenhofen nach Italien gereist. Auf der Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen Neapel und Rom kann das Team bei nächtlichen Messfahrten auf 206 Kilometern seine Untersuchungen durchführen. Die Forscher möchten herausfinden, wie der Informationsaustausch zwischen zwei Zügen bei voller Fahrt sichergestellt werden kann. Zur Vorbereitung der Messungen reiste Paul Unterhuber schon vorher nach Neapel und Vicenza und rüstete die Messzüge entsprechend aus: Vier Antennen auf dem Dach von Zug Nummer 28, zwei Antennen auf dem von Zug Nummer 7 und insgesamt 150 Meter Messkabel quer durch Waggons und Lokomotiven. Fünf weitere Antennen müssen heute Nacht noch eingebaut werden.

Inzwischen hat Paul Unterhuber seine Arbeit an der offenen Zug Nase beendet und telefoniert. Am anderen Ende ist Dr. Stephan Sand, der Leiter der Gruppe Landverkehr am Institut für Kommunikation und Navigation und Teamleiter der Kampagne. Während Paul Unterhuber sich im Zug 7 um die letzten Installationen gekümmert hat, sorgte Stephan Sand im Zug 28 dafür, dass alle Beteiligten so schnell wie möglich startklar waren. „Wir sind bereit. Bis gleich am Bahnhof“, sagt Paul Unterhuber ins Telefon. Wenig später setzt sich der Zug langsam in Bewegung.



Die Arbeit in der Zug Nase fordert von Paul Unterhuber Fingerspitzengefühl und ganzen Körpereinsatz

Signalstörung nach Mitternacht

Die Stazione di Napoli Centrale ist mit einem Passagieraufkommen von 50 Millionen Fahrgästen pro Jahr einer der wichtigsten Bahnhöfe Italiens. Als die beiden Züge um 1:00 Uhr am Bahnhof eintreffen, ist allerdings nicht mehr viel los. Vereinzelt sind noch Fahrgäste unterwegs, Reinigungskräfte säubern die Bahnsteige. Für die Wissenschaftler muss es jetzt schnell gehen, denn jede Minute im Bahnhof ist eine verlorene Minute für die Messung. Und beim Startsignal muss jeder im richtigen Zug sitzen. Equipment wird zwischen den Zügen ausgetauscht – bei einer Zuglänge von jeweils 328 Metern eine zeitraubende Angelegenheit. In den Waggons werden die Sende- und Empfangseinheiten kalibriert. Konzentriert sitzen alle an ihren Instrumenten. Dr. Michael Walter, Dr. Wei Wang und Dr. Thomas Jost beugen sich über einen großen Kasten, den sogenannten Channel Sounder. Michael Walter wirkt beunruhigt: „Ich höre ein Klacken – kein gutes Zeichen!“

Mit dem Channel Sounder wollen die Wissenschaftler den Übertragungskanal zwischen den beiden Zügen ganz genau charakterisieren. Ein Impuls von 120 Megahertz Bandbreite wird bei 5,2 Gigahertz von der Sendeeinheit ausgestrahlt und erreicht die Empfangseinheit, die sich auf dem anderen Zug befindet. Anhand der Signale können die Wissenschaftler Vorhersagen darüber treffen, wie eine bestimmte Umgebung das Übertragungssignal beeinflusst. Mit den Ergebnissen der Messung wird ein Modell für den Funkkanal erstellt. Darauf basierend sollen in Zukunft Kommunikationssysteme entwickelt werden, mit denen die Züge während der Fahrt Informationen austauschen können. Tunnel, Brücken, Wälder – dies alles sollte im empfangenen Signal für die Wissenschaftler erkennbar sein. Gestern, als das Team Messungen in nur einem Zug durchgeführt hat, hat auch alles wun-

derbar funktioniert. Heute gibt es allerdings Probleme beim Kalibrieren: Die Wissenschaftler empfangen Signale, die nicht ins Schema passen.

Mehrere Kollegen haben sich mittlerweile um das Messgerät versammelt und probieren verschiedene Lösungsansätze aus – immer noch erhalten die Wissenschaftler Signale, die sie sich nicht erklären können. Mittlerweile stehen die beiden Züge im Nirgendwo zwischen Neapel und Rom und die Zeit verrinnt. Schließlich zieht Paul Unterhuber einen Schlusstrich: „Wenn wir es bis 3:00 Uhr nicht schaffen, dann messen wir nur mit den anderen Instrumenten. Wir müssen langsam los und sollten nicht noch mehr Zeit verlieren.“

3:00 Uhr – nach wie vor gibt es Kalibrierungsprobleme – der Zug setzt sich in Bewegung.

Michael Walter, Wei Wang und Thomas Jost beginnen damit, das Equipment zusammenzupacken. Enttäuschung macht sich breit, die heutige Nacht ist, zumindest für die Messungen mit dem Channel Sounder, verloren. Doch der enge Zeitplan lässt eine aufwändige Untersuchung zur Fehlerbehebung jetzt nicht mehr zu. Am nächsten Tag werden die Wissenschaftler mehrere Stunden damit verbringen, jede Verbindung und jedes Kabel akribisch zu überprüfen, um den Fehler zu finden. Höchstwahrscheinlich verursachte die Oberleitung Störungen im Signal. In den folgenden beiden Nächten wird das Team dann bei den Messungen mit dem Channel Sounder gute Ergebnisse erzielen und den Funkkanal zwischen zwei fahrenden Hochgeschwindigkeitszügen genau charakterisieren können. Davon weiß allerdings in der heutigen Nacht noch niemand etwas. Deshalb heißt es für die drei Wissenschaftler: Kurz durchatmen, nachdem alles verstaubt ist, der Rest der Nacht wird schon noch lang genug. Jetzt hat auch Paul Unterhuber endlich ein wenig Zeit, um ein Stück von seiner Pizza zu essen – die ist allerdings schon lange kalt.

Kollisionsvermeidung bei Hochgeschwindigkeit

Ein anderes Bild bietet sich beim Blick zurück: Im Führerstand der Lok am Ende des Zuges schaut Dr. Thomas Strang gespannt auf einen kleinen Laptopmonitor, hält einen Telefonhörer in der Hand und hat gleichzeitig ein Funkgerät in Griffweite. „220 Kilometer pro Stunde – Geschwindigkeit halten“, sagt er auf Englisch in den Hörer. Er spricht mit dem Lokführer vorn und hält gleichzeitig Kontakt zu seinem Kollegen Dr. Andreas Lehner in dem Zug, der ihnen folgt. Thomas Strang schaut hinaus auf die schnell vorbeiziehenden Lampen am Rand der Bahnstrecke. Von Zug Nummer 28 ist nichts zu sehen. Weit entfernt ist er allerdings nicht. Strang deutet auf seinen Laptop, auf dem die Daten des Kollisionsvermeidungssystems RCAS (Railway Collision Avoidance System) angezeigt werden: „Hier kann ich den anderen Zug sehen, wir haben im Moment noch eine Distanz von ungefähr zehn Kilometern. Allerdings holen die anderen immer weiter auf und demnächst müssten wir sie zu sehen bekommen.“ Und wirklich, kurze Zeit später biegen Lichter um eine Kurve, die der Schlusslok des voranfahrenden Zuges näher kommen.

Das in den beiden Hochgeschwindigkeits-Messzügen installierte RCAS-System erfasst ständig relevante Parameter wie Position, Streckenführung, Geschwindigkeit und Bremsvermögen. Diese Informationen werden an alle Züge in der näheren Umgebung gesendet. Während der Fahrt vergleicht das System die eigenen Parameter mit denen der anderen Züge. Die exakte Kenntnis und der Vergleich der Parameter machen es möglich, Konfliktsituationen schnell zu identifizieren. Einen weiteren Vorteil bietet das System bei der Streckenbelegung: Derzeit werden Streckenabschnitte immer nach dem maximalen Bremsweg kalkuliert. Befindet sich ein Zug auf einem Gleisabschnitt, muss der nachfolgende Zug einen Abstand von bis zu zehn Kilometern einhalten. Mit dem RCAS-System könnten Zugstrecken in Zukunft effektiver belegt werden, da die Länge des Bremsweges zu jeder Zeit exakt bestimmt werden kann.

DAS PROJEKT

Wissenschaftler des DLR untersuchten in Italien vier Nächte lang die drahtlose Zug-zu-Zug-Kommunikation in und zwischen zwei Hochgeschwindigkeitszügen. Der italienische Partner Trenitalia stellte ihnen dazu zwei Hochgeschwindigkeitszüge des Typs Frecciarossa zur Verfügung. Die Messungen wurden im Rahmen des EU-Projekts Roll2Rail auf der Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen Neapel und Rom durchgeführt. Bei Roll2Rail handelt es sich um ein Leuchtturmprojekt aus der Shift2Rail-Initiative innerhalb des Programms Horizont 2020. 31 europäische Partner arbeiten daran, Schlüsseltechnologien zu entwickeln und die Zuverlässigkeit im Zugverkehr zu erhöhen sowie Kosten zu senken.

Das Projekt Roll2Rail wird im Programm Horizont 2020 der Europäischen Union gefördert (Grant Agreement No 636032). Es ist eng verbunden mit dem DLR-Projekt Next Generation Train.



Der Channel Sounder besteht aus einer Sende- und einer Empfangseinheit. Der Empfänger zeigt, wie das Funksignal durch die Umgebung reflektiert wird.



In einem hell erleuchteten Tunnel sind die beiden Roten Pfeile schließlich auf gleicher Höhe, bei einer Geschwindigkeit von etwa 250 Kilometern pro Stunde. Beim Vorbeifahren ist in den Fenstern des vorderen Waggons Stephan Sand zu sehen, der in Zug Nummer 28 die Messungen kontrolliert. Thomas Strang dirigiert die Überholmanöver: „Geschwindigkeit anziehen, ja, das ist gut, die anderen sind bei 230 Kilometern pro Stunde, also halten wir unsere Geschwindigkeit bei 250 und ziehen langsam vorbei.“ Sein System funktioniert einwandfrei, auch bei Hochgeschwindigkeit. Der Stolz steht ihm ins Gesicht geschrieben: „Wir machen gerade RCAS bei 250 Kilometern pro Stunde, das gab es bis jetzt noch nie!“ In der letzten Nacht der Messungen wird das Team den Rekord bei einer Kreuzungsfahrt sogar auf relative 560 Kilometer pro Stunde hochschrauben. Und auch dabei wird das System problemlos funktionieren.

Kopplung per Funk erspart das Umsteigen

Neben dem RCAS-System haben die Wissenschaftler des DLR noch ein weiteres System zum Informationsaustausch zwischen den Zügen mit an Bord, das ITS-G5 (Intelligent Transportation System at 5 GHz). Es ist eigentlich für den Austausch von hohen Informationsraten ausgelegt und wurde ursprünglich für Straßenfahrzeuge entwickelt. Es funktioniert wie das RCAS-System, ohne auf Funkmasten oder andere Komponenten entlang der Strecke zurückgreifen zu müssen – allerdings bislang nur auf kurzen Entfernungen. Während das RCAS-System noch ein Signal bis zu einer Distanz von fast 40 Kilometern empfangen kann, hat das ITS-G5 die Verbindung schon nach ungefähr 1,2 Kilometern verloren.



Kurz bevor es losgeht, klären Stephan Sand vom DLR und Maurizio d'Atri (rechts) von Trenitalia die letzten Formalitäten

Mit den Messungen vom ITS-G5 möchten die Forscher die Grundlage schaffen für das sogenannte dynamische Flügeln von Hochgeschwindigkeitszügen. Bei diesem Manöver, das auch virtual coupling genannt wird, sollen sich die Züge selbstständig während der Fahrt zu einem längeren Zug verbinden und auch wieder in Einzelzüge trennen können. Dabei fahren die Züge hintereinander und sind nicht physisch, sondern nur über einen drahtlosen Kommunikationslink verbunden. Je näher sich die hintereinander fahrenden Schienenfahrzeuge kommen, desto präziser müssen sie Informationen über ihre Position und Geschwindigkeit austauschen. Nur so können sie sich derart aneinander anpassen, dass sie sich wie ein einziger, langer Zug verhalten. Das hat den Vorteil, dass bestimmte Passagiere ihr Ziel ohne Umsteigen erreichen können, da zeitintensive An- und Abkopplungsmanöver in den Bahnhöfen vermieden werden. Außerdem können mit dem dynamischen Flügeln die Kapazitätsgrenzen der Strecken erhöht werden.

Mehrere Male noch überholt Zug 28 die Nummer 7 und lässt sich sofort wieder zurückfallen. Durch die Fenster sieht man die Dämmerung, aber dafür haben die meisten der nächtlichen Forschungsreisenden keinen Blick. Ihre Aufmerksamkeit gilt allein den Messinstrumenten. Als die beiden Frecciarossas wieder in das Depot bei Neapel einfahren, geht gerade die Sonne auf. Die Instrumente werden aus den Waggons getragen, das Reinigungspersonal steigt ein und beginnt seine Arbeit.

Für die beiden Roten Pfeile beginnt nach der Nacht, in der sie als Kommunikationslabor dienten, wieder der Alltag als Personenzug. Für die Wissenschaftler geht es jetzt allerdings erst einmal ins Hotel zum Schlafen ...



Vorsicht ist geboten, wenn der empfindliche Channel Sounder in den Zugwaggon geschoben wird

DER CHANNEL SOUNDER: 15 JAHRE SIGNALANALYSE

Bei der Entwicklung von neuen Kommunikationssystemen ist es wichtig, den Funkkanal zwischen Sender und Empfänger so genau wie möglich zu kennen und zu erfassen. Je besser ein Kanal verstanden und definiert werden kann, umso genauer können Sender und Empfänger auf die Umgebung abgestimmt werden. Der sogenannte Channel Sounder dient dazu, die Funkkanäle zu charakterisieren.

Ein Signal, das von einem Sender ausgestrahlt wird, erfährt Reflexionen durch die Umgebung, bevor es den Empfänger erreicht. In der Umgebung eines Zuges, der mit hoher Geschwindigkeit durch einen Tunnel fährt, wird das Signal anders reflektiert als bei einer Satellitenfunkverbindung zu einem Empfänger in einem Waldgebiet. Solche Reflexionen und auch andere Effekte wie Beugung führen zu Signalverzerrungen. Da das Sendesignal des Channel Sounders bekannt ist, können die Wissenschaftler diese Signalverzerrungen, die das gesendete Signal auf seinem Weg durch den Funkkanal erfährt, sehr genau messen.

Auch die Beschaffenheit des Bodens, an dem die Signale von Navigationssatelliten reflektiert werden, spielt eine Rolle für das Verhalten des Signals. In mehreren Messungen von 2014 bis 2015 montierte ein Team von Wissenschaftlern Sender und Empfänger des Channel Sounders auf zwei 40 Meter hohen Kränen. Vermessen wurden die Eigenschaften des Asphalts einer Landebahn, von Wasser und von einem eisbedeckten See.

Ganz gleich, ob es sich um zukünftige Kommunikationssysteme handelt oder ob neue Anwendungsbereiche erschlossen werden sollen, ohne den Channel Sounder wäre Kommunikation ein Funken ins Ungewisse. So ist es mit heutigen Navigationssystemen wie Galileo oder GPS (Global Positioning System) derzeit noch nicht möglich, innerhalb von Gebäuden präzise Positionsbestimmungen vorzunehmen. Die Messungen mit dem Channel Sounder sollen dies ändern. 2008 gelang es, den Übertragungskanal von einem simulierten Navigations-Satelliten zu einem improvisierten Fußgänger innerhalb eines Gebäudes mit Hilfe des Sounders zu charakterisieren.

Neben Messungen für Systeme wie Galileo oder GPS dient der Channel Sounder auch der Vorbereitung neuer Kommunikationssysteme. So untersuchten die Wissenschaftler die Kommunikationswege von Flugzeug zu Flugzeug (2009), von Auto zu Auto (2013) sowie von Schiff zu Schiff. Während im Jahr 2014 Messungen auf der Ostsee bei ruhigem Seegang durchgeführt wurden, untersuchten DLR-Wissenschaftler 2016 auf der Nordsee die Reflexionen der Wellen und des Wassers rund um die Insel Helgoland bei Windstärke 7.

Seit 15 Jahren ist der Channel Sounder ein bewährtes Messinstrument für die Wissenschaftler am DLR-Institut für Kommunikation und Navigation. Bei der Roll2Rail-Messkampagne in Italien 2016 zeigte sich sein Nutzen einmal mehr: Die Wissenschaftler gewannen wertvolle Informationen über den Charakter des Funkkanals im Bereich der Zug-zu-Zug-Kommunikation.



Im Jahr 2002 untersuchten DLR-Wissenschaftler mit dem Channel Sounder den Funkkanal zwischen einem Messbus und einem Zeppelin



Um die Bodenreflexionen eines Funksignals zu messen, das von einem Flugzeug oder einem Satelliten ausgestrahlt wird, installierten die Wissenschaftler für Versuche 2014 und 2015 den Channel Sounder auf einem 40 Meter hohen Kran

Leiser fliegen, aber wie? Wo genau entsteht der Lärm und auf welchen Pfaden gelangen die Schallwellen in die Kabine? Lässt sich schon an der Turbine etwas gegen den Lärm tun oder kann auf die Bauteile, die Strukturen des Flugzeugs, Einfluss genommen werden, damit es die Passagiere leiser haben? – DLR-Wissenschaftler verfolgen verschiedene Ansätze. Gemeinsam ist ihnen ein Ziel: Das Reisen im Flugzeug soll angenehmer werden.

MIT 12.000 MESSPUNKTEN DEM LÄRM AUF DER SPUR

DLR-Forscher untersuchen Wege der Schallwellen in die Flugzeugkabine

Von Dr. René Winter

Der Komfort der Passagiere ist bei der Entwicklung moderner Flugzeuge ein wichtiger Faktor. Die beiden großen Flugzeughersteller Airbus und Boeing ergreifen eine Reihe von Maßnahmen, die Fluggästen vor allem auf den Langstrecken höheren Komfort bieten sollen. So werden der Airbus A350-XWB ebenso wie die Boeing 787 Dreamliner mit höherem Kabinen-Innendruck geflogen, was dem Körper eine geringere Flughöhe suggeriert und den Jetlag-Effekt mindern soll. Die Beleuchtung wird optimiert und es wird angestrebt, den Lärmpegel in der Kabine zu senken. Das Reisen soll angenehmer werden.

Der Lärm im Flugzeug allerdings stellt die Entwickler vor ein Problem: Kabinenlärm lässt sich schwer vorausschätzen. Meist zeigen erst Messungen am fertigen Flugzeug, wie es um den Lärmpegel tatsächlich bestellt ist. Dann kann man ihn aber nur noch bedingt senken, etwa durch zusätzliche Dämmung. Doch Dämmmaterial benötigt viel Platz und erhöht das Gesamtgewicht des Flugzeugs. Außerdem ist diese Maßnahme gegen tieffrequentes Brummen kaum wirksam.

Wie wird es leiser?

Die Frage ist also: Wie wird es leiser in der Kabine? Dazu muss man wissen: Wie kommt der Lärm überhaupt ins Flugzeug? – Klar ist, Lärm wird von einer Lärmquelle, zum Beispiel den Triebwerken, abgestrahlt und breitet sich über die Luft aus. Der Lärm kann so an einem anderen Ort wahrgenommen werden als dort, wo er entsteht. Trifft der Schall auf Barrieren, wie etwa die Kabinenwände, wird er von diesen mehr oder weniger stark absorbiert und verändert. Allerdings gibt es noch eine weitere Ursache für den Lärm in der Kabine: Die Schwingungen der Triebwerke breiten sich auch über ihre Aufhängungen (Pylonen) in die Flügel und von diesen in die Rumpfstruktur aus. Diese wird ihrerseits in Schwingung versetzt. Ähnlich wie ein Lautsprecher strahlen die schwingenden Oberflächen des Rumpfes Luftschall in die Kabine ab. Es wird lauter.



Bild: DLR/Jan Vetter (CC-BY 3.0)

Ein Schwingungserreger wird auf der Außenhaut des Demonstrators einer Flugkabine justiert. Der speziell für diesen Zweck modifizierte Shaker leitet Schwingungen im besonders interessanten mittleren Frequenzbereich in die Struktur ein, um den Weg des Schalls in die Kabine zu erforschen.



Das Lautsprecher-Array zum Beschallen des Demonstrators. Es hat 132 Elemente und lässt sich an fast jede Stelle der Oberfläche fahren.



Die Kabelführung für 200 Sensoren muss so organisiert sein, dass Fehler und Defekte möglichst schnell behoben werden können

GLOSSAR

UHBR – Ultra High Bypass Ratio: Konzept für ein modernes, sparsames Mantelstromtriebwerk mit sehr großem Fan-Durchmesser

CROR – Counter-Rotative Open Rotor: Ein Turbinenriebwerk mit zwei gegenläufigen, offenen Rotoren

FEM – Finite-Elemente-Methode: numerisches Berechnungsverfahren zum Lösen von physikalischen Problemen

EMA – Experimentelle Modalanalyse: Bestimmung dynamischer Eigenschaften einer Struktur aus Schwingungsmessdaten

SEA – Statistical Energy Analysis: Methode zur Vorhersage von gemittelten Schwingungsenergien einzelner, leicht gekoppelter Substrukturen einer Gesamtstruktur

LDV – Laser-Doppler-Vibrometer: Gerät zur berührungslosen Messung von Schwingungen mit Hilfe des optischen Doppler-Effekts

Dieser sogenannte Körperschall wird für die Kabinenakustik in Flugzeugen immer wichtiger. Denn neue, sparsamere Triebwerke erzeugen auch andere Schallwellen. Während die Schwingungen bei älteren Triebwerkarten eher hochfrequent waren, rücken sie bei neuartigen Antriebskonzepten wie UHBR (Ultra High Bypass Ratio) oder CROR (Contra Rotating Open Rotor) stärker in den niederfrequenten Bereich. In diesem Frequenzbereich breitet sich Körperschall besser aus und sein Einfluss auf die Kabinenakustik nimmt zu. Beim aktuellen Stand der Technik bereiten diese Frequenzen Schwierigkeiten, sowohl in der Simulation als auch im Experiment: Im niederfrequenten Bereich kann mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) und mit Experimenteller Modalanalyse (EMA) gearbeitet werden, im höheren Frequenzbereich kommen statistische Energiemethoden (SEA, Statistical Energy Analysis) zur Anwendung (Erläuterung im Glossar). Aber im mittleren Frequenzbereich liefert keines der verfügbaren Werkzeuge zufriedenstellende Ergebnisse.

Was passiert im mittleren Frequenzbereich?

Es ist genau dieses Problem des Körperschalls samt seiner Ausbreitungspfade, mit dem sich die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Vibroakustik im Institut für Aeroelastik beschäftigen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf das physikalische Verständnis der Kopplung zwischen Strukturschwingungen und Akustik gelegt. Dabei betrachten sie vor allem die Schwingungen im mittleren Frequenzbereich, also zwischen 50 und 500 Hertz.

Zunächst identifizierten die Wissenschaftler vibroakustische Schallquellen und deren Rolle im Kabinenkomfort. Flugtestdaten wurden am DLR-Forschungsflugzeug D-ATRA aufgenommen, einem seriennahen A320. Die Akustiker werteten Daten von verschiedenen Sensoren aus. Diese Daten geben unter anderem Aufschluss über die Strukturschwingungen sowie über den Schalldruck in der Kabine und an der Rumpf-Außenhaut. Aufgezeichnet wurden die Daten von 330 Sensoren bei mehr als 300 unterschiedlichen Flugbedingungen. Im Ergebnis lagen 2,4 Terabyte an Informationen vor. Um diesen großen, heterogenen Datensatz zu verarbeiten, wurde eigens eine Software entwickelt. Sie kombiniert Methoden der Strukturdynamik, der Akustik und der Signalverarbeitung. So war es nicht nur möglich, die wichtigsten Quellmechanismen für Kabinenlärm zu identifizieren. Es konnten auch die Komponenten der Flugzeugstruktur identifiziert werden, die an dem Ausbreitungspfad beteiligt sind und somit den Kabinenlärm beeinflussen. Allerdings zeigte die Analyse auch, dass sich die Pfade des Schwingungstransfers aufgrund ihrer komplexen Struktur schwer identifizieren lassen.

Neue Analysewerkzeuge sind gefragt

Ausgehend von den Methoden strukturdynamischer Experimente, die es für den niedrigen Frequenzbereich bereits gibt, wurden Versuchs- und Analysewerkzeuge entwickelt, mit denen die Finite-Elemente-Methode auch für Körperschallwellen in höheren Frequenzbereichen eingesetzt werden konnte. Kennt man die Übertragungswege für Körperschall in einer Struktur, so lassen sich Lärminderungsmaßnahmen lokal zielgerichtet einbringen – und das ohne zu viel Zusatzgewicht und mit hoher Effizienz.

Um Versuchsmethoden zu überprüfen, benötigen die Wissenschaftler allerdings geeignete Daten. Diese zu generieren, ist ein aufwändiges Unterfangen. An einer Rumpftonne des Flugzeugs A400M haben die DLR-Wissenschaftler in einer groß angelegten Messkampagne mittelfrequente Strukturschwingungen erstmals untersucht und ausgewertet. Dazu errichteten Fachkollegen der Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr Hamburg (HSU) eigens eine Halle für die 32 Meter lange Leichtbaustruktur mit einem Durchmesser von sechs Metern. Ein Team von DLR-Mitarbeitern untersuchte dann das kabinenähnliche Bauteil auf seine strukturdynamischen und vibroakustischen Eigenschaften.

Um die Strukturwellen im mittleren Frequenzbereich identifizieren zu können, die sehr viel kleiner sind als die im tiefen Frequenzbereich, ist eine hohe räumliche Auflösung der Rumpfvibrationen erforderlich. Wie viele Messpunkte benötigt man, um zu Ergebnissen in der gewünschten Qualität zu kommen, ohne die Versuche zu sehr in die Länge zu ziehen? Die Wissenschaftler gaben sich letztlich mit 2.800 Messpunkten zufrieden. – Eine immer noch enorme Anzahl. Zum Vergleich die Eckdaten eines Standschwingungsversuchs: Zur Schwingungsidentifikation am Airbus A350-XWB im niederen Frequenzbereich waren 500 Sensoren auf das gesamte Flugzeug verteilt worden.

Die wesentlich größere Zahl an Messpunkten beim A400M-Vibroakustikversuch machte mehrere Messungen notwendig: 200 Sensoren waren stets aufs Neue

anhand eines vorher definierten Schemas manuell durch die Struktur zu führen. Immer wieder regten die Forscher die Struktur an fest definierten Stellen zu Schwingungen an.

Bessere Schwingungsvorhersage

Auch Simulation und Experiment zu vergleichen, ist im mittleren Frequenzbereich nicht einfach. Etablierte Methoden steigen bereits bei leichten Unstimmigkeiten in den Simulationsmodellen und in der Fertigung der realen Struktur aus. Anhand der Versuchsdaten entwickelten die Forscher deshalb eine neue Methode: Diese vergleicht über Frequenzbereiche gemittelte Schwingungsenergien in einer Vielzahl von Strukturflächen. So können sie die Finite-Elemente-Modelle bis in den mittleren Frequenzbereich besser abschätzen und gegebenenfalls Modellparameter anpassen. Auf diese Weise ist ein bereits bekanntes Werkzeug zur Schwingungsvorhersage nun auch für diesen mittleren Frequenzbereich nutzbar.

Der an der Rumpfstuktur des A400M validierte Messprozess und das neue Korrelationsverfahren wurden inzwischen bereits angewendet: Im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung in Hamburg, kurz ZAL, führten die DLR-Wissenschaftler am Flight-LAB-Demonstrator eine Schwingungsmessung durch. Der Flight-LAB-Demonstrator ist ein von der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) und Airbus betriebener Versuchsträger. Mit ihm werden Maßnahmen zur Verbesserung des akustischen Kabinenkomforts erprobt. Es handelt sich dabei um eine Rumpfstuktur, die ähnlich der des A320 konstruiert und aufgebaut ist. Am Boden sollen akustische Messungen realisiert werden, wie sie sonst nur im Flug stattfinden können. Das DLR setzte die neu entwickelten Versuchsmethoden zur Charakterisierung des Flight-LAB-Demonstrators ein. Die Vermessung dieser Struktur war der bisher wichtigste Meilenstein der Arbeitsgruppe Vibroakustik. Die Wissenschaftler erfassten dazu die Schwingungsdaten dieser Struktur an 12.000 Sensorpunkten. Mittels der daraus gewonnenen gewaltigen Datenmenge und dank des neuen Korrelationsverfahrens wird jetzt das Simulationsmodell angepasst.

Demnächst Messungen mit einem Laserscanner

Um zukünftig den gewaltigen Aufwand für eine solche Untersuchung zu reduzieren und gleichzeitig die Genauigkeit der Messungen zu erhöhen, hat die Arbeitsgruppe Vibroakustik begonnen, einen mobilen Laserscanner für Flugzeugrumpfstrukturen zu entwickeln. Dieser soll es erlauben, Schwingungen von zylindrischen Strukturen, wie dem Inneren eines Flugzeugrumpfes, automatisch zu vermessen und zu kartieren. Das ist bisher mit noch keinem kommerziell erhältlichen System möglich.

Der neu entwickelte Laserscanner arbeitet mit einem Laser-Doppler-Vibrometer (LDV). Dieses Messsystem nutzt den optischen Doppler-Effekt, um die Vibrationsgeschwindigkeiten von Oberflächen an einem anvisierten Punkt berührungslos zu erfassen. Eine spezielle Spiegeloptik fährt sehr viele Messpunkte mit dem Laserstrahl automatisch an. Über eine Kamera kann der Laserscanner zuvor mit QR-Codes markierte Punkte auf der Struktur finden und sich so selbstständig in seiner Umgebung bewegen. In Kombination sind der Laserscanner und das Vibrometer in der Lage, viele zehntausend Punkte in einer Flugzeugkabine eigenständig auf ihre Vibrationseigenschaften hin zu vermessen – Tag und Nacht, ohne Kabel und mit überschaubarem Aufwand.

Mit diesem System werden die kommenden experimentellen Herausforderungen bearbeitet: Die Rumpfstuktur des A400M der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg wird ein weiteres Mal vermessen. Dabei kommen aber nicht mehr Hunderte von Sensoren zum Einsatz, sondern der neu entwickelte Laserscanner. Er wird mit einem Mikrofon-Array der Universität zu einem Vibrations- und Schalldruckmesssystem gekoppelt. Aber auch die Untersuchungen am Flight-LAB-Demonstrator sind längst nicht abgeschlossen. Bis das Ziel der Flugtests am Boden erreicht werden kann, muss noch eine Vielzahl von Untersuchungen folgen: Als nächstes wird mit 132 Lautsprechern der Triebwerklärm am Acoustic Flight-LAB-Demonstrator simuliert. Die von den DLR-Wissenschaftlern entwickelten Methoden werden eingesetzt, um die Genauigkeit dieser Flugtests am Boden zu bestimmen und so dem Lärm schlussendlich auf die Spur zu kommen.

Dr. René Winter forscht in der Abteilung Strukturdynamik und aeroelastische Systemidentifikation am DLR-Institut für Aeroelastik und leitet die Gruppe Vibroakustik.

PROJEKTBETEILIGTE:

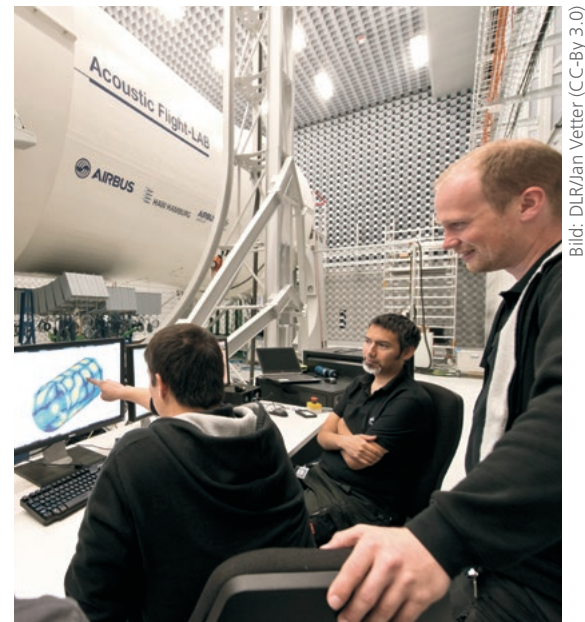
Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr Hamburg (HSU): Bereitstellung der Infrastruktur für den Test an der A400M-Rumpftonne

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW): Eigentümer des Acoustic Flight-LAB-Demonstrators

Airbus Operations GmbH: Betreiber der Laborumgebung im ZAL (Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung) und Projekt-Verbundführer



Der Acoustic Flight-LAB-Demonstrator im ZAL Hamburg. Diese Umgebung bietet optimale Bedingungen für die Messung.



Während der vielen Einzelmessungen prüfen die Wissenschaftler der Gruppe Vibroakustik die Daten immer wieder auf Konsistenz

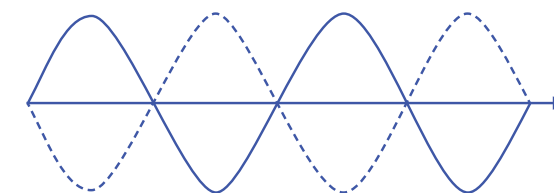


Innenraum des
Acoustic Flight-LAB-Demonstrators



Ein Lautsprecher-Array, bestehend aus 112 einzelnen Schallquellen, simuliert das komplexe Schallfeld eines CROR-Triebwerks. Als Testobjekt dient das DLR-Versuchsflugzeug Dornier Do 728. Es wurde zum Versuchslabor für Kabinenakustik und Klimatisierung umgebaut.

MIT LAUTEM GETÖSE ZUM LEISEREN FLUG



DLR-Akustiker auf der Suche nach der richtigen Gegenschwingung

Von Jana Hoidis

Lautes Getöse in einer Versuchshalle des DLR in Göttingen. Man könnte annehmen, gleich starte ein Flugzeug. Ohne Gehörschutz ist die Halle nicht betretbar – so laut ist es. Die Wissenschaftler befinden sich gerade mitten in einem Experiment zur Schallmessung und -reduzierung am Flugzeugrumpf. Der Krach kommt aus einem großen Lautsprecher. Im Grunde ist es eine Vielzahl von Lautsprechern, ein sogenanntes Lautsprecher-Array. Es simuliert eine Antriebsturbine. Im Innenraum des Flugzeugs wird der Schall gemessen und aktiv verringert. Durch spezielle Gegenschwingungen wird ein Teil des Schalls ausgelöscht und dadurch die Lärmabstrahlung in die Flugzeugkabine vermindert. Aktive Struktur-Akustikregelung, kurz ASAC (Active Structural Acoustic Control) heißt die Technologie, mit der die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Faserverbundleichtbau und Adaptronik hier arbeiten, eine Arbeit, mit der sie gewiss nicht auf taube Ohren stoßen.

Nicht nur umweltfreundlich, auch komfortabel fliegen

Flugzeuge der nächsten Generation sollen sparsamer im Treibstoffverbrauch werden und damit ökologisch verträglicher fliegen. Eine Lösung hierfür ist der zunehmende Einsatz neuer Materialien wie kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK). Da sie sehr leicht sind und das Gesamtgewicht des Flugzeugs verringern, nimmt auch der Treibstoffverbrauch ab. Der Vorteil der geringen Masse und hohen Steifigkeit bringt jedoch auch Nachteile mit sich. Im Flugbetrieb strahlen diese Materialien mehr Schall in die Kabine ab.

Eine weitere Schlüsseltechnologie, um den Treibstoffverbrauch weiter zu senken, ist der Einsatz von gegenläufigen offenen Rotoren (Counter Rotating Open Rotors), sogenannten CROR-Triebwerken, als Antriebstechnik. Leider sind auch diese sehr laut und geben störende tieffrequente Töne ab. Derzeitiger Stand der Technik ist die Reduktion des Turbinenlärms mittels Dämmmatten im Innenraum der Flugzeuge. Bei stärkerer Schallabstrahlung müsste das Dämmmaterial jedoch noch mehr verstärkt werden, wodurch das Flugzeug wieder an Gewicht zunehmen würde. Das macht den Gewichtsvorteil von CFK zunichte. Außerdem können die tieffrequenten Töne auch mit Dämmung nicht wirkungsvoll abgeschirmt werden.

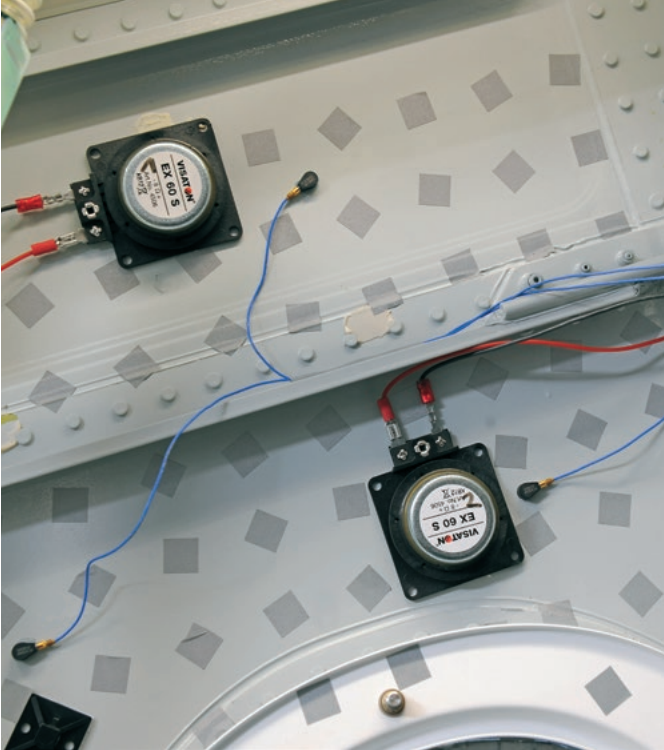
Eine andere Lösung muss also her. Denn auch der akustische Komfort spielt in der modernen Flugzeugentwicklung eine wesentliche Rolle. Für die Behaglichkeit während des Reisefluges ist die Lärmeinwirkung auf die Passagiere ein wichtiger Faktor. Die DLR-Wissenschaftler nutzen für diese Herausforderung unter anderem eine aktive Struktur-Akustikregelung. Hinter dieser Technologie steckt ein einfaches Prinzip: Sensoren zur Schwingungsmessung erfassen die Vibrationen der Struktur zweitausend Mal pro Sekunde. Die angeschlossene Regelung berechnet daraus die Gegenschwingung, die nötig ist, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Aktuatoren, die im Grunde Lautsprecher ohne Membran sind, geben die errechneten Impulse direkt auf die Rumpfschale. Die gegenschwingende Rumpfstuktur hebt somit einen Teil des Schalls auf.

Theoretisch leicht, praktisch anspruchsvoll! Die aktive Struktur-Akustikregelung wurde schon vor einigen Jahren an kleinen Propellerflugzeugen mit Erfolg getestet. Diese strahlen jedoch Schall mit weniger Frequenzen ab als große Passagierflugzeuge mit CROR-Triebwerken. Für die Lärmabschirmung dieser Triebwerke besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Versuche erst im Labor, dann an einem echten Flugzeug

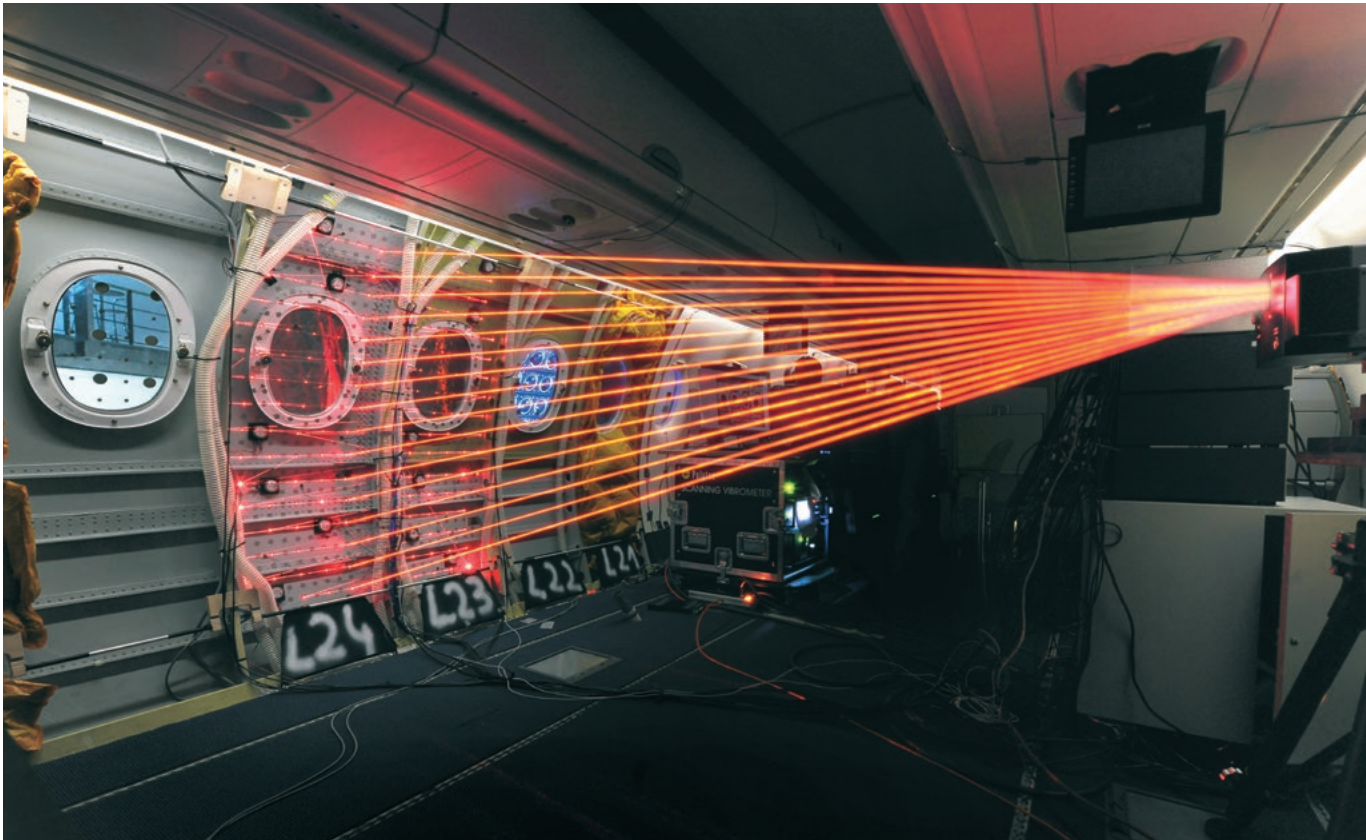
Anfangs mussten die Wissenschaftler den neuen System-Bauplan austüfeln. Hierzu gehörte zum einen die Entwicklung der Algorithmen für die Steuerungssoftware, zum anderen wurden mehrere Simulationen durchgeführt, um zu wissen, an welchen Stellen des Rumpfes die Sensoren und Aktuatoren angebracht werden müssen. Danach stand das Konzept. Ein erster Versuch im kleinen Maßstab an einem Rumpfausschnitt im Akustiklabor in Braunschweig brachte ein positives Ergebnis. Die Wissenschaftler gingen einen Schritt weiter: zum Test an einem echten Flugzeug.

Hierfür betreibt das DLR ein Regionalverkehrsflugzeug, die zu einem Versuchslabor für Kabinenakustik und Klimatisierung umgebaute



Sensoren (mit blauem Kabel an die Regelung angeschlossen) erfassen die Schwingungen der Struktur zweitausend Mal pro Sekunde. Die angeschlossene Regelung berechnet daraus die Gegenschwingung, die nötig ist, um den Schall zu reduzieren. Die gegenschwingenden Impulse werden dann mit Aktuatoren direkt auf die Rumpfschale gegeben.

Dornier Do 728. Fliegen darf sie zwar nicht, dafür kann sie aber beliebig für spezielle Tests umgebaut werden. Für das Experiment wurde ein Teil der Innenverkleidung demontiert, damit die Sensoren und Aktuatoren direkt am Flugzeugrumpf angebracht werden konnten. Aber woher kommt der Lärm eines Triebwerks, wenn das Flugzeug nicht starten darf? Ganz klar: aus Lautsprechern, genauer aus vielen einzelnen Lautsprechern, zusammengesetzt zu einem sogenannten Lautsprecher-Array. Dieses hat die Firma Pan Acoustics eigens für das



Das Laservibrometer scannt die Struktur ab und liefert präzise Werte über deren Schwingungseigenschaften

DLR angefertigt und dafür sogar einen Technologietransferpreis der Industrie- und Handelskammer Braunschweig gewonnen.

Das spezielle Schallbild eines CROR-Triebwerks wurde vom DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik berechnet. Dr. Stephan Algermissen vom DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptionik hat aus diesen Berechnungen den Input für den großen Lautsprecher entwickelt. „Ein Schallfeld zu rekonstruieren, war für uns Neuland“, so Algermissen. „Wir mussten mit aufwändigen Messungen ermitteln, wie jeder der 112 einzelnen Lautsprecher zu dem komplexen Sound beiträgt.“ Nach etlichen Experimenten war das Lautsprecher-Array dann so eingestellt, dass es sich wie ein echtes CROR-Triebwerk anhört. Es kann aber durchaus auch für andere Versuche eingesetzt werden. „Nicht nur CROR-Triebwerke, sondern auch weitere Lärmquellen, wie konventionelle Jet-Triebwerke oder sogar der Schalleintrag einer turbulenten Umströmung können mit Hilfe des Lautsprecher-Arrays simuliert werden“, ergänzt Dr. Oliver Unruh, Akustiker in der Abteilung Adaptionik.

Fünf Wochen lang haben die Ingenieure ihre Ohren offen gehalten und immer und immer wieder Krach gemacht, Krach gemessen, Sensoren umgeordnet, Aktuatoren an anderen Stellen angebracht. Die zuvor berechneten Methoden mussten validiert und im Anschluss optimiert werden. Gemessen haben sie mit drei Instrumenten: einer Sonde, einem Mikrophon und einem Laservibrometer. Die Schallintensitätsmesssonde misst die Geräusche ziemlich genau an der Schallquelle und dies unabhängig von Umweltfaktoren, wie der Raumgröße oder der Raumausstattung, wohingegen ein Mikrophon den Schall an einer bestimmten Stelle im Raum messen kann. Die Mikrofone wurden an den Sitzpositionen der Passagiere angebracht und dienten quasi als deren Ohrenersatz. Eine besondere Herausforderung war es, das optimale Anordnungsmuster der Einzelkomponenten zu finden.

Zukünftig leiser und behaglicher

„Mit unserer Vorgehensweise konnten wir das beste System für den von uns überwachten Rumpfbereich festlegen“, erklärt Ingenieur Thomas Haase, der sich in der Abteilung Adaptronik mit dieser Thematik auseinandersetzt. „Die optimale Anbringung der Aktuatoren ist allerdings variabel und immer einzelfallabhängig von der jeweiligen Struktur, deswegen war die Validierung der Auslegungsmethodik extrem wichtig.“ Bei der Auswahl des besten Musters der Sensoren und Aktuatoren half das Laservibrometer. Es scannt die Struktur ab und liefert präzise Werte über deren Schwingungseigenschaften.

Insgesamt ist das Resultat des Experiments positiv ausgefallen. Ingenieur Algermissen: „Die Schallabstrahlung in die Kabine konnte mit gezielten Gegenschwingungen um bis zu sechs Dezibel verringert werden – das entspricht immerhin 50 Prozent.“ Die Versuchsergebnisse konnten auch helfen, die Regelungssoftware zu verbessern. Diese ist jetzt modular aufgebaut und arbeitet schneller. Durch die neue Anordnung der Aktuatoren und die neue Regelung existiert nun ein Ansatz, nach dem der Lärm valide minimiert wird. 2017 wollen die Forscher ihren Versuch auf einen größeren Teil des Flugzeugs erweitern und ihre Methoden optimieren. „Bis das System in Serie geht, ist noch einiges zu erforschen“, so Unruh. „Zunächst müssen die Robustheit und Leistungsfähigkeit des Systems verbessert werden“. Zusätzlich soll das System weniger kosten, indem statt teurer Laborhardware auch Low-Cost-Komponenten verwendet werden. Eines ist jedenfalls klar: Schon heute können wir uns auf ein umweltfreundliches und erholsames Fliegen in nicht allzu ferner Zukunft freuen.

Jana Hoidis ist im DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik unter anderem für die Öffentlichkeitsarbeit verantwortlich.

Mit einer Schallintensitätsmesssonde bestimmen Dr. Stephan Algermissen (links) und Dr. Oliver Unruh (rechts) die Geräusche direkt an der Schallquelle



SICHER LEICHT GEMACHT

DLR-Forscher entwickeln Strukturen, die im Crashfall möglichst viel Energie aufnehmen

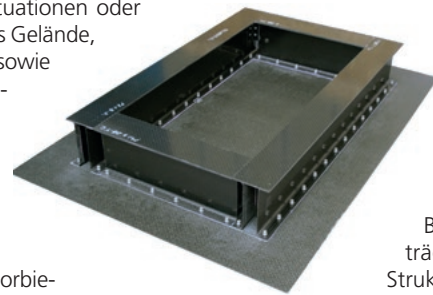
Von Nicole Waibel

Berg- und Seenotrettung, Notarzt- und Polizei-Einsätze, Waldbrandbekämpfung und Lastentransporte im Hochgebirge – Hubschrauber werden häufig in Extremsituationen oder für Spezialaufträge eingesetzt. Unwegsames Gelände, die Nähe zu Boden, Wasser oder Gebäuden sowie kritische Windverhältnisse und Witterungsbedingungen erschweren das Operieren in und aus der Luft und erhöhen das Risiko für Unfälle. Aktive Sicherheitssysteme unterstützen den Piloten und helfen, diese zu vermeiden. Kommt es doch zum Crash, gibt es passive Sicherheitssysteme wie Gurte und energieabsorbierende Sitze, um die Folgen für die Passagiere so gering wie möglich zu halten. Wie die Aufprallwirkung noch weiter reduziert werden kann, beschäftigt die Wissenschaftler im DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart. „Wir entwickeln leichte Strukturen aus Faserverbundmaterialien, welche im Crashfall die auf die Insassen einwirkenden Beschleunigungen verringern. Den Begriff Knautschzone kennt man ja aus dem Automobilbereich. Sie verformt sich beim Aufprall und nimmt so einen Teil der Energie auf“, erklärt Marius Lützenburger, in der Abteilung Strukturelle Integrität verantwortlich für den Bereich Crashesicherheit von Hubschraubern.

Das Experiment ergänzt den virtuellen Test

Wesentlicher Bestandteil bei der Entwicklung dieser energieabsorbierenden Bauteile sind Simulationen. „Reale Crashtests sind teuer und aufwändig. Am Computer stellen wir Unfallszenarien nach und setzen Strukturen Belastungen aus, wie sie in der Realität vorkommen. Virtuelle Tests zeigen das Crashverhalten schon vor dem realen Versuch. So lassen sich Kosten und Entwicklungszeiten reduzieren“, fasst Lützenburger die Vorteile der Simulation zusammen. Trotzdem sind reale Experimente unabdingbar, um eine Datenbasis zu schaffen und die am Computer entwickelten Simulationsmodelle zu überprüfen und zu verfeinern. Die Simulation wird dazu mit den Testergebnissen abgeglichen. „Einzelne Bauteile können wir bis zu einer gewissen Größe unter anderem in unserem Fallturm prüfen.“ Mit kompletten Flugzeugen oder Hubschraubern sind aufgrund des hohen versuchstechnischen und finanziellen Aufwands weltweit bisher nur sehr wenige Crashtests durchgeführt worden.

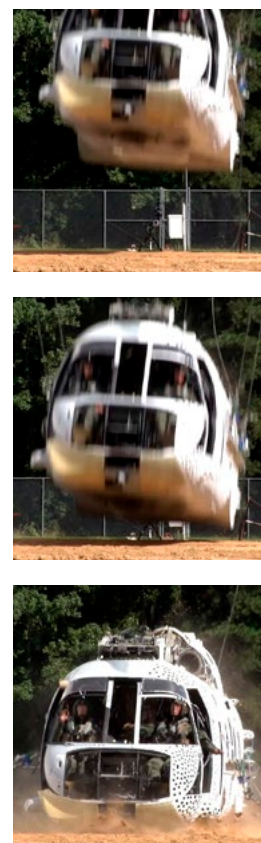
Im Oktober 2014 führte die NASA einen Crashtest mit der Zelle eines ehemaligen Transporthubschraubers der U.S. Marine durch. Der Test fand im Rahmen des NASA Transport Rotorcraft Airframe Crash Testbed (TRACT) Programms auf dem Gelände des NASA Langley Research Center statt. „Dort, wo einst Neil Armstrong für die Mondlandung übte“, erläutert



Lützenburger. „Ein Testziel war es, zu untersuchen, wie gut Unterböden aus Faserverbundkunststoffen die Aufprall-Energie aufnehmen. Dazu wurden drei metallische Böden durch unterschiedliche Unterbodenstrukturen aus Faserverbundmaterialien ersetzt. Eine dieser Strukturen wurde in Kooperation zwischen dem DLR und dem australischen Cooperative Research Centre for Advanced Composite Structures (CRC-ACS) entwickelt. Bei diesem Konzept wurde ein sehr steifer Quertträger mit einer darunter liegenden „weiche“ Struktur kombiniert. Diese Strukturzone soll die Aufprall-Energie aufnehmen und so die auf die Insassen einwirkenden Vertikalbeschleunigungen reduzieren. „Das Konzept hatte sich zuvor in reinen Vertikaltests gut



Nach dem Aufprall untersuchen die Wissenschaftler den Hubschrauber-Rumpf. Rechts: Sequenz aus dem Crashtest TRACT2.



Bildsequenz: NASA



Hochgeschwindigkeitskameras ermöglichen es, jeden einzelnen der über 8.000 schwarzen Punkte auf der Außenhaut des Hubschraubers zu verfolgen und genau zu sehen, wie sich der Rumpf unter der Crashbelastung verformt

bewährt“, so Lützenburger. „Beim Test der NASA kam zusätzlich eine hohe Vorwärtsgeschwindigkeit dazu.“ Aus über neun Meter Höhe wurde die circa 13 Meter lange Hubschrauberzelle des CH-46E Sea Knight Helicopter an Stahlseilen Richtung Boden geschwungen. Kurz vor dem Aufprall wurden die Trageile abgesprengt, sodass der Helikopter die letzte Strecke in freiem Fall zurücklegte. Mit einer Geschwindigkeit von circa 45 Stundenkilometern grub sich der mehr als 4,7 Tonnen schwere Rumpf in den nachgiebigen Boden aus Sand und Erde und kam nach nur einem Meter Vorwärtsgleiten zum Stehen. Der abrupte Halt brachte eine sehr hohe Längsbeschleunigung mit sich. Die Folge: Auf der Unterseite riss die Haut auf und die Quertträger kippten seitlich weg.

Nächste Frage: Aufprallschutz bei gefährlich weichem Boden

„Hochgeschwindigkeitskameras filmten durch Plexiglasscheiben, die in den Fußboden eingebaut worden waren, das Verhalten der Unterböden während des Aufpralls“, schildert Lützenburger den Versuchsaufbau. Insgesamt fast 40 Kameras nahmen den mit 15 Dummies besetzten Hubschrauber-Rumpf von innen und außen auf. Die Auswertung des Tests zeigt, dass sich die DLR-Wissenschaftler nun noch mehr den komplexeren Aufprallszenarien widmen müssen, in denen eben auch nachgiebige Aufprallflächen und eine zusätzliche Vorwärtsgeschwindigkeit auftreten.

Aktuell arbeiten die DLR-Forscher zusammen mit Partnern aus Neuseeland und Australien an einer energieabsorbierenden Struktur, die auf Wasser, auf hartem und auf weichem Boden für einen möglichst sanften Aufprall sorgen soll. „Vor Schwierigkeiten stellt uns auch hier vor allem der weiche Boden. Durch die Nachgiebigkeit des Bodens werden die in der Struktur vorgesehenen ‚Knautschzonen‘ nicht immer aktiviert. Ein ‚Eingraben‘ und höhere Beschleunigungen sind die Folge.“ Damit klärt sich die Frage, warum gelegentlich Autobahnen für Notlandungen von Kleinflugzeugen genutzt werden. „Die eignen sich einfach besser als ein weicher Acker.“

Nicole Waibel ist im DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie unter anderem für die Öffentlichkeitsarbeit verantwortlich.



Struktur aus Faserverbundkunststoff: Sie wurde anstelle des Metallbodens in den Unterboden der Hubschrauberzelle (oben im Bild) eingebaut

Der neu entwickelte Multi-Terrain Crash Test Demonstrator (Bauteil auf der linken Seite) soll den Aufprall auf Wasser sowie hartem und weichem Boden mildern



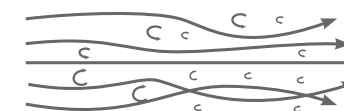
Auf dem Gelände des NASA Langley Research Center übte Neil Armstrong einst die Mondlandung

Bild: NASA (1969)



Laminarforscher dreier Generationen: Prof. Dr.-Ing. Karl Heinz Horstmann, Dr.-Ing. Arne Seitz und Sven Wedler (von links nach rechts)

OHNE TURBULENZEN



Was wir von der Laminartechnologie erwarten können
Ein Rundtischgespräch

Mehr als die Hälfte des Luftwiderstands eines Flugzeugs ist reibungsbedingt. Für die Aerodynamiker ist daher ganz klar: Wie ein Flugzeug umströmt wird, ist entscheidend für spritsparende, umweltfreundliche Luftfahrzeuge. Und sie wissen auch, wie das erreicht werden kann: mit der Laminartechnologie. Ein Forschungszweig mit einer langen Geschichte – denn die Laminarität, also das Verringern des Reibungswiderstands durch das Erzeugen einer gleichmäßigen Umströmung am Flugzeug, erlebte im Laufe der vergangenen Jahrzehnte ein Auf und Ab. Jetzt obliegt der Laminartechnologie der letzte große Sprung in der Aerodynamik, um das Fliegen noch effizienter zu machen. Zu einem Gespräch über die drei maßgeblichen Abschnitte in ihrer Entwicklung – von ersten einfachen Flugversuchen bis hin zur nun schon in greifbare Nähe gerückten Serienreife – haben wir drei Experten und wissenschaftliche Zeitzeugen aus dem DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik an einen Tisch geholt und das Gespräch aufgezeichnet.

Herr Horstmann – als Laminarforscher der ersten Stunde können Sie uns sicher sagen: Ohne Luftverwirbelungen fliegen, geht das überhaupt? Und wenn ja, warum tun wir es nicht längst?

Karl Heinz Horstmann: Ja, das geht, sogar sehr gut. Das zeigen uns die Segelflieger schon seit Langem. Mit ihren Laminarprofilen können sie den Reibungswiderstand von Flügeln und Leitwerk halbieren, das ist schon eine enorme Ansage. Solche Einsparpotenziale wollten wir natürlich gern auch bei Verkehrsflugzeugen ausschöpfen, das hat uns Anfang der Achtzigerjahre in unserer Forschung angetrieben. Bei großen, schnellen Flugzeugen mit gepfeilten Flügeln ist das aber viel schwieriger, denn hier kann die Laminarhaltung nicht mehr allein durch die Formgebung erreicht werden. Dafür muss man eine weitere Technik anwenden, nämlich hybride Laminarisierung – eine Kombination aus Formgebung und schwacher Grenzschicht-Abtragung.

WAS BEDEUTET „LAMINAR“?

Das Wort stammt vom Begriff „lamina“, lateinisch für „Platte“ oder „Schicht“, ab. In der Aerodynamik bezeichnet man mit „laminar“ eine Strömung, die geordnet, also in parallelen Bahnen oder Schichten, gleitet. Im Unterschied dazu ist beim Aufsteigen des Rauchs einer Zigarette oder bei einer verlöschenden Kerzenflamme eine ungeordnete, turbulente Strömung zu beobachten. Hier strömt der Rauch zunächst noch mit den Luftteilchen in geordneten Bahnen aufwärts, dann erfolgt ein plötzlicher Umschlag in die Turbulenz und die Teilchen strömen in geradezu chaotischen Bahnen aufwärts, der Rauchfaden verwirbelt und zerflattert. Betrachtet man eine Strömung dicht an der Kontur eines Körpers, zum Beispiel eines Flugzeugs, so hängt das Strömungsverhalten von der Form, aber auch von der Beschaffenheit der Oberfläche und von der Strömungsgeschwindigkeit ab. Auch hier gibt es einen Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung. Diesen versuchen Luftfahrtforscher hinauszuzögern, um so den Reibungswiderstand und damit den Energieverbrauch für Flugzeuge zu verringern. Dazu gibt es verschiedene Methoden:

1. Die natürliche Laminarhaltung „Natural Laminar Flow“. Sie wird bereits seit den Fünfzigerjahren des 20. Jahrhunderts bei Segelflugzeugen eingesetzt und funktioniert rein über die Formgebung der Oberfläche.
2. Die hybride Laminarhaltung „Hybrid Laminar Flow Control“. Hierbei wird eine Technologie eingesetzt, die Teile der umströmenden Luft durch winzige Löcher in der Oberfläche, also der Außenhaut des Flugzeugs, absaugt und damit die Strömung dicht an der Oberfläche laminar hält. Solche Absaugsysteme sind in Kombination mit natürlicher Laminarhaltung vor allem für größere und schnellere Flugzeuge, also etwa Passagiermaschinen, gedacht.



Vor dem Flugversuch mit dem A320 befüllt Arne Seitz (links) die Infrarotkamera mit flüssigem Stickstoff aus der Thermoskanne – Aufnahme von Flugversuchen im Jahr 1998

Einem solchen Absaugsystem haben Sie Jahrzehnte Ihres Lebens gewidmet. Was hat Sie daran so sehr fasziniert?

Horstmann: Also angefangen hat es im DLR eigentlich 1982. Da hatten wir gerade bei einer Reise in die USA gesehen, was die Amerikaner dort in Sachen Laminarforschung machen – und das war schon beachtlich. Wir hatten hier allerdings eine Technik, die sie nicht besaßen: eine Infrarottechnik, mit der man flächig sichtbar machen konnte, wo die Strömung turbulent und wo sie laminar war. Wir beschlossenen sofort, diese Technik einzusetzen. Begeisterungstürme hat das allerdings nicht gerade ausgelöst, denn damals glaubte in der Industrie keiner daran, dass man die Laminartechnologie auf große Verkehrsflugzeuge anwenden könnte. Wir haben das dann hier im DLR selbst in die Hand genommen und mit den für uns verfügbaren Mitteln in einem ersten Schritt Flugversuche mit einem einmotorigen Flugzeug gemacht.

Herr Seitz, Sie standen damals am Beginn Ihrer Karriere und an der Seite von Herrn Horstmann. Waren diese ersten Ergebnisse denn schon vorzeigbar?

Arne Seitz: Absolut! Als wir die Infrarottechnik das erste Mal im Flugversuch einsetzten, erreichten wir die gleiche Laminarleistung wie bei Segelflugzeugen – aber bei wesentlich höherer Geschwindigkeit und größerer Flügeltiefe. Das hat damals mächtig Eindruck gemacht. In dieser Form hatte zuvor noch niemand reibungsarme Strömung nachgewiesen und sichtbar gemacht.

Horstmann: Wir haben dann auch Unterstützung von Airbus bekommen und konnten im nächsten Schritt auf einem deutlich größeren Flugzeug, der DLR-eigenen VFW614 „ATTAS“, Untersuchungen an einem Flügel mit Pfeilung machen. Das war der Basisversuch für Verkehrsflugzeuge, für alles, was wir heute noch betreiben. Damit haben wir den Grundstein für unsere Laminarforschung gelegt.

Seitz: Dass wir die Möglichkeit dazu bekamen, lag natürlich auch an zeitgenössischen wirtschaftlichen Interessen ...

Horstmann: Ja, das stimmt, die Ölkrise war ein Treiber. Alle suchten nach Lösungen, um Treibstoff zu sparen.

Als Sie in den Achtzigerjahren Laminarhaltung an Flugzeugen mit geringer Flügelpfeilung nachwiesen, war das aber noch eine „natürliche Laminarhaltung“, die sich über die Profilform erreichen ließ. Von einem Absaugsystem war damals noch keine Rede, oder?

Horstmann: Doch, doch, uns war damals schon klar, dass Laminarhaltung sich bei Langstrecken-Flugzeugen erst richtig lohnt und dass wir dafür ein Absaugsystem brauchen. Aber das war natürlich eine Riesenherausforderung. Wie saugt man bei großen, schnellen Flugzeugen die Luft unmittelbar über der Flugzeugoberfläche ab, um die Strömung turbulenzarm zu halten? Dafür mussten wir erst mal ein Pumpensystem mit Absaugkammern entwickeln und eine Technik, mit der sich Millionen winziger Löcher durch die Außenhaut bohren lassen, um die Luft durch Absaugleitungen ins Flugzeuginnere zu ziehen. Diese Technik haben wir bei einer Firma in England gefunden, die uns nach vielen Versuchen die Absaugbleche gebohrt hat. Airbus und später die EU haben das Potenzial schnell erkannt. Im Auftrag von Airbus wurde ein A320-Seitenleitwerk mit diesem Absaugsystem ausgerüstet und zunächst in Kooperation mit der ONERA, der französischen Schwesterorganisation des DLR, in Windkanälen ausführlich getestet. 1998 war es dann so weit: Airbus und DLR wagten einen ersten Flugversuch mit dem frisch entwickelten Absaugsystem. Übrigens: Projektleiter des Flugversuchs war damals Rolf Henke, der heutige DLR-Luftfahrtvorstand.

Seitz: Bei diesem Versuch haben wir eine laminare Strömung schon auf mehr als der Hälfte der Leitwerksfläche erreicht! DLR und Airbus waren hier absolute Vorreiter.

Horstmann: Ja, unser erster Flugversuch mit Absaugung ist hervorragend gelaufen. Fand dann aber erst mal ein jähes Ende ...

Hört sich an, als wären Sie einem Technologiesprung nahe gewesen – zu dem aber letztlich noch keiner bereit war ...

Seitz: Man muss sich das so vorstellen: Unser erstes Absaugsystem war ein riesiger Labor-Aufbau, der uns vielfache Modifikationen erlaubte. Wir hatten ein Seitenleitwerk mit Absaugkasten gebaut, dessen Absaugsystem im Passagierraum gleich mehrere Sitzreihen einnahm. Als wir das nach unserem erfolgreichen Versuch dann ganz stolz maßgeblichen Industrievertretern zeigten, haben die nur fassungslos auf unsere Ausrüstung gestarrt. Sie haben damals nicht verstanden, dass es sich um einen rein wissenschaftlichen Versuchsaufbau handelte, mit dem wir zunächst nur die aerodynamische Machbarkeit unter Beweis stellen und die Grenzen der Absaugung testen wollten. Ein so komplexes und teures System wollte natürlich keiner haben. Es war auch fraglich, ob und wie man es überhaupt herstellungsreif hätte machen können.

Ein herber Rückschlag. Haben Sie an Aufgaben gedacht?

Horstmann: Nein, wir haben uns von diesem Unverständnis nur antreiben lassen und sofort weitergemacht. Uns war klar: Das muss alles einfacher werden. Ich habe dann Ende der Neunzigerjahre radikale Vorschläge für ein vereinfachtes Absaugsystem gemacht. Das hat mir zwar viel Gegenwind beschert, aber: Das Auslegungstool für dieses vereinfachte System, das ich im Projekt ALTTA entwickelte, wird bis heute als Berechnungsgrundlage für Absaugsysteme benutzt.



DLR-Flugversuchsträger LFU205 (vorne rechts) und VFW614 ATTAS (hinten rechts)



Flugversuch mit Laminarhandschuh am ATTAS

Damals kam der ALTTA-Vorschlag für ein vereinfachtes Absaugsystem aber nicht zum Einsatz?

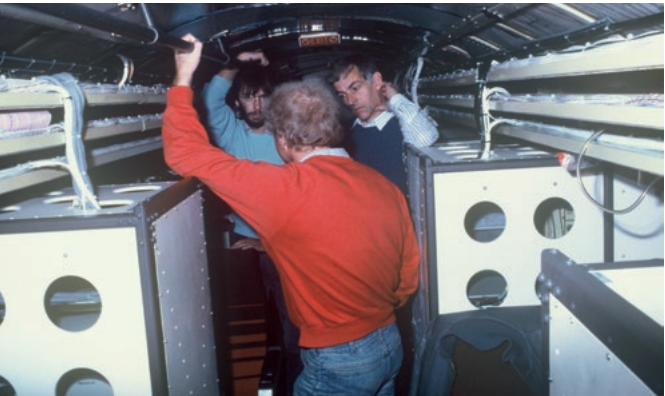
Horstmann: Nein. Leider.

Seitz: Die Ölpreise fielen zu dieser Zeit wieder und von Kohlendioxid-Emissionen sprach noch niemand. Das Interesse der Industrie war gering ...

Horstmann: ... und dementsprechend wurden auch im DLR die Mittel gekürzt. Wir waren natürlich sehr enttäuscht, dass unsere Arbeit nicht fortgesetzt werden konnte.

Herr Seitz, was hat Sie bewogen, die Forschung an der Laminartechnologie 2007 wieder aufzunehmen?

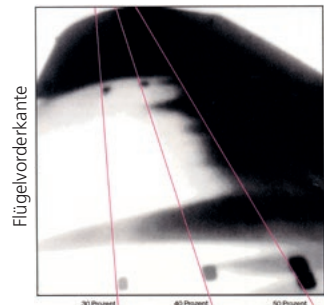
Seitz: Nachdem wir gezeigt hatten, dass auch Großflugzeuge laminar fliegen können, war uns klar, wie der nächste Schritt aussehen musste: Die Aerodynamiker mussten andere mitnehmen, mussten multidisziplinär an die Entwicklung gehen, also Bauweise, Material und Fertigung berücksichtigen. Wir wussten, dass Treibstoffkosten und Umweltverschmutzung wieder ein Thema werden würden. 2007 hat dann die Europäische Union das Projekt Cleansky, Sauberer Himmel, aufgelegt. Zudem habe ich das DLR-interne Projekt LamAiR ins Leben gerufen. In beiden Fällen haben wir Leute aus dem DLR zusammengebracht, haben gemeinsam mit anderen Instituten überlegt, wie wir die Machbarkeit des ALTTA-Konzepts belegen und umsetzen. Gemeinsam mit Airbus haben wir im Rahmen des 2010 folgenden Projekts VER²SUS ein neues Absaugsystem in ein Leitwerk gebaut. Unter der Projektleitung von Dr. Heiko von Geyr aus unserem Institut konnten wir das Absaugsystem dann 2014 erstmals in Europa erfolgreich in einem großskaligen Versuch bei Flug-Reynoldszahlen im Windkanal testen.



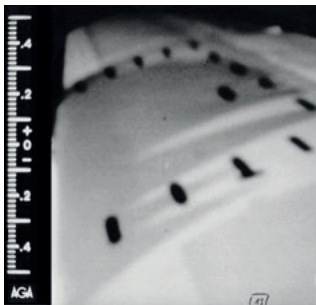
Karl Heinz Horstmann (rechts) mit Kollegen während des Flugversuchs im ATTAS



Der Laminarhandschuh im Flugversuch an der LFU205



Infrarotaufnahme eines laminar-turbulenten Umschlags



Das Experimentalsystem beim Flugversuch 1998 in einem A320-Seitenleitwerk



Das Absaugsystem am beziehungsweise im Leitwerk des A320. Von außen ließ es kaum auf den komplexen Aufbau im Inneren schließen.

Horstmann: Ja, das habe ich natürlich begeistert mitverfolgt. Das war ein ganz wesentlicher Windkanalversuch: Er bewies, dass das System funktioniert.

Seitz: ... und deshalb soll es jetzt auch im realen Flugversuch getestet werden.

Das heißt, eine technische Umsetzung ist jetzt möglich und die Laminarforschung steht vor einem Meilenstein?

Seitz: Was die Aerodynamik angeht, wissen wir längst, was wir machen müssen. Jetzt geht es darum, das System im Realflug zu testen und dann serienreif zu machen. Der Flugversuch wird im nächsten Jahr mit unserem Forschungsflugzeug ATRA im Rahmen des EU-Projekts AFLoNext stattfinden.

Und hier steigen Sie ein, Herr Wedler. Als Jungwissenschaftler sind Sie sozusagen Laminarforscher in dritter Generation. Beschreiben Sie uns doch einmal die aktuellen Herausforderungen und Trends. Bedeutet Laminarforschung heute noch das Gleiche wie zur Pionierzeit in den Achtzigerjahren?

Sven Wedler: Das ALTTA-Konzept von Karl Heinz Horstmann liegt auch unseren aktuellen Arbeiten immer noch zugrunde. Doch jetzt stehen wir kurz vor der Anwendung. Jetzt gilt es, das Konzept noch so weit zu verbessern, dass es einfach zu fertigen ist und günstig, leicht sowie energieeffizient zum Einsatz kommt. Das heißt, es soll bei geringem Aufwand bestmöglich funktionieren – und das in naher Zukunft.

Ein Absaugsystem und damit die Laminarhaltung ist also schon in Kürze serienreif an Verkehrsflugzeugen denkbar?

Wedler: In spätestens sechs Jahren soll unser Absaugsystem in Serie gehen. Wir haben ein Auslegungstool entwickelt, das die Last- und Absaugverteilung optimal vorhersagen kann. Damit haben wir jetzt eine tolle Möglichkeit, jede Form einer energiesparenden Laminarverteilung zu entwerfen. Im Idealfall spuckt diese Software für jeden Flugzeugtypen die perfekten Daten für ein individuell zugeschnittenes, optimales Absaugsystem aus.

Seitz: Wir müssen jetzt in der Herstellung eines solchen Systems und dann im Betrieb Erfahrungen sammeln. Wenn die Laminarhaltung am Leitwerk erprobt ist, könnte es nach und nach auf alle relevanten Flächen, also Flügel, Triebwerksgondeln und Rumpf, ausgeweitet werden. Aus Sicht der Aerodynamik könnten so bei Langstreckenflügen zehn bis 15 Prozent Treibstoff gespart werden.

Herr Horstmann, eine Technologie, die Sie vor rund 20 Jahren entwickelten, soll bald ihren Weg in die Industrie finden. Gefällt Ihnen die Rolle als Wegweiser einer Forschungsrichtung?

Horstmann: Ich bin schon stolz darauf, dass wir damals Messungen gemacht haben, auf denen heute noch die Auslegungen für Laminarflugzeuge basieren. Wir hatten und haben im DLR immer noch gute Randbedingungen für solche Arbeiten. Die Wege zwischen den Instituten beziehungsweise den Disziplinen sind kurz. Die Institute sind gut mit der Flugabteilung und dem Entwicklungsbetrieb vernetzt und wir haben motivierte Mitarbeiter, die sich in diesem Umfeld bestens auskennen. Um diese Situation haben uns Kollegen aus der Industrie auch immer wieder beneidet.

Herr Horstmann, würden Sie denn heute etwas anders machen? Wenn Sie etwa mit Herrn Wedler tauschen und noch einmal als Jungwissenschaftler im Institut starten könnten?



Erfahrungsaustausch vor dem DLR-Entwicklungsträger für laminare Tragflügelprofile

Horstmann: Vielleicht hätten wir Ende der Neunzigerjahre noch energischer versuchen müssen, unsere Forschung durchzusetzen. Aber im Nachhinein ist es immer leicht, das zu beurteilen. Ich denke, wichtig ist vor allem, eine solide Wissensbasis für die Laminartechnologie an Verkehrsflugzeugen erarbeitet zu haben.

Befürchten Sie, dass es noch einmal zu einer Unterbrechung kommen könnte?

Horstmann: Manchmal denke ich, es würde mich kaum wundern, wenn das Interesse wieder nachließe, jetzt wo die Ölpreise wieder fallen ... Aber, nein, ...

Seitz: Das glaube ich auch nicht. Die Umweltanforderungen sind heute andere, die würden Politik und Forschung jetzt nicht mehr aufgeben.

Was Herr Horstmann begonnen hat, was nach einem wissenschaftlichen Dornröschenschlaf durch Herrn Seitz wieder aufgenommen und fortgeführt wurde, wird jetzt an Jungwissenschaftler wie Sie, Herr Wedler, weitergereicht. Bei solch einem Erbe würde ich gern noch wissen, was Sie motiviert.

Wedler: Es ist ein starker Antrieb, zu wissen, dass man dabei sein wird, wenn so ein bahnbrechendes System in Betrieb geht. Wenn man so etwas zukünftig auf dem Flughafen an einem Flugzeug sieht, dann ist es toll, wenn man sagen kann: „Es hat lange gedauert – aber jetzt läuft!“

Das Gespräch moderierte **Yvonne Buchwald**, im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik zuständig für die Öffentlichkeitsarbeit.

DIE GESPRÄCHSPARTNER



Prof. Dr.-Ing. Karl Heinz Horstmann ...

... gilt als der Laminarforscher im DLR. In den Achtzigerjahren gestaltete er die Anfänge dieses Forschungszweigs mit. Ende der Neunzigerjahre war der heute 71-Jährige maßgeblich an dem im Flugversuch erbrachten Nachweis beteiligt, dass mit einem Absaugsystem eine Laminarhaltung erzeugt und damit der aerodynamische Widerstand eines Flugzeugs reduziert werden kann. Im Anschluss entwickelte er ein vereinfachtes System, das heute noch den modernen Laminarkonzepten zugrunde liegt.



Dr.-Ing. Arne Seitz ...

... stand bereits zu Beginn seiner Laufbahn an der Seite von Karl Heinz Horstmann. Nachdem der Aerodynamiker erkennen musste, dass das Absaugsystem im Flugversuch 1998 zwar erfolgreich, die Technologie jedoch noch nicht ausgereift war, nahm der heute 56-Jährige gemeinsam mit seinen DLR-Kollegen und Partnern von Airbus die Forschung im Jahr 2007 wieder auf. Er leitete eine Reihe von Projekten, im Laufe derer die Laminartechnologie weiterentwickelt wurde.



Sven Wedler ...

... kam gleich nach seinem Studium als Aerodynamiker ins DLR. Der 31-jährige Jungwissenschaftler hatte die Laminarforschung zum Thema seiner Diplomarbeit gemacht. Für ihn geht es vor allem um die aktuelle Herausforderung, die Laminartechnologien herstellungsfähig zu machen. Er weiß um die mittlerweile lange Geschichte dieser Forschung und arbeitet eng mit deren oben genannten Wegbereitern zusammen.

EINE RAKETE LIGHT UND EINE ZWEITE CHANCE



Das Studenten-Raketenprogramm STERN startet in seine dritte Flugkampagne

Von Diana Gonzalez und Karsten Lappöhn

Rund drei Meter lang wird sie sein, die Rakete des HyCOMET-Studententeams von der Hochschule Augsburg. Das Kürzel steht für Hybrid-Composite Experimental Rocket. Doch im Moment ist von der Rakete noch nicht viel zu sehen. Jede Menge Kabel und einzelne Bauteile liegen auf Tischen und Werkbänken in der Werkstatt der Hochschule. An allen Ecken und Enden wird getüftelt, geschraubt, geprüft – die Endphase des Projekts STERN hat begonnen.

STERN steht für „Studentische Experimental-Raketen“. Dahinter verbirgt sich das Studentenprogramm des DLR Raumfahrtmanagements. In dem Programm können Hochschulteams eine eigene Rakete entwickeln, bauen und starten. Eine besondere Herausforderung – innerhalb einer Frist von nur drei Jahren gilt es, die gesamte Technik und einen Großteil der Einzelteile für die Rakete und für deren Betankungssystem zu konzipieren. Am Ende steht dann ein absolutes Unikat. Dabei müssen die gleichen Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden wie bei professionellen Forschungsraketen. Zahlreiche Tests sind daher vorab durchzuführen. Besonderes Augenmerk liegt auf den Triebwerken. Hierfür bauen die meisten Studentengruppen eigens eine kleinere Variante des Originalmotors oder ein Engineering-Modell – also eine massivere Ausgabe des späteren Triebwerks. So können verschiedene Konfigurationen getestet werden, ohne dass die teure Flughardware Schaden nehmen kann.

Auch das Telemetriesystem wird auf Herz und Nieren geprüft. Es soll später während des Raketenfluges wichtige Daten, etwa zu Geschwindigkeit und Höhe, zur Bodenstation funken. Um dies sicherzustellen, führen die Studenten Reichweitentests durch. Im Gegensatz zu den Triebwerktests, die unter hohen Sicherheitsvorkehrungen auf speziellen Testständen stattfinden müssen, sind diese Telemetrie-Tests recht einfach durchzuführen. Dafür positionieren die Studenten den Sender auf einer Erhebung, beispielsweise auf einem Hügel. Anschließend wird die Empfänger-Einheit in ein Fahrzeug gepackt und in einem Radius von rund 30 Kilometern um die Sendestation herumgefahren. Dabei überprüft die Gruppe kontinuierlich die Empfangsqualität des Signals.

Sind schließlich alle Tests bestanden, machen sich die Teams auf die Reise zum Raumfahrtzentrum Esrange bei Kiruna in Nordschweden, den Startplatz für ihre Raketen.

Bild: HyEnD Uni Stuttgart



Montage der HEROS-Rakete an die Führungsschiene der Startrampe auf Esrange



MIRAS-Rakete auf der Startrampe

Eine Rakete auf Basis von Carbon

„Die Konstruktion einer eigenen Rakete war für uns eine große Herausforderung“, sagt Moritz Ellerbeck. Der Diplom-Ingenieur ist Leiter des HyCOMET-Teams. „Wir haben uns gefragt: Welche besonderen Erfahrungen und Kenntnisse können wir dafür nutzen, was unterscheidet uns von anderen Hochschulen?“ Der Bereich Raumfahrtstechnik ist noch recht jung an der Hochschule Augsburg. Dafür wurden jedoch Kompetenzen auf einem ganz speziellen Gebiet aufgebaut: der Leichtbautechnik. Dabei arbeiten die Studenten an neuen Einsatzmöglichkeiten für Verbundwerkstoffe, wie carbonfaserverstärkten Kunststoff (CFK), kurz Carbon genannt. Schon heute ist das Material beliebt im Spitzensport, aber auch in der Luftfahrt und im Fahrzeugbau, denn es vereint zwei wichtige Eigenschaften: hohe Belastbarkeit bei geringem Gewicht. Genau das haben die Studierenden für ihr Projekt genutzt: Sie haben eine Rakete auf Basis von Carbon entwickelt – ein Light-Produkt sozusagen. Die gesamte Außenhaut der Rakete wird aus dem Verbundmaterial bestehen, auch der Treibstofftank wird mit Kohlefaser verstärkt sein. Nur rund 22 Kilogramm wird die Leichtbau Rakete bei ihrem Start wiegen und soll damit eine Höhe von rund 4,5 Kilometern erreichen.

Als Treibstoff für die Leicht Rakete dient eine Kombination aus flüssigem Lachgas und Polyethylen, dem Material, aus dem beispielsweise Plastikbecher und -flaschen hergestellt werden. „Wir packen nicht den Tiger in den Tank, sondern den Plastikteller“, sagt Ellerbeck augenzwinkernd. Wenn das Team nach Kiruna aufbricht, wissen die Studenten noch nicht genau, was sie vor Ort erwartet: Von der Startanlage, auf der sie ihre Rakete montieren werden, kennen sie bislang nur Beschreibungen und Fotos. Wird alles zusammenpassen? Oder müssen vor Ort noch Änderungen vorgenommen werden?

Ein Comeback und ein Rekordversuch

Anders sieht es beim Stuttgarter Team aus: Die Studenten der HyEnD-Gruppe waren mit ihrer HEROS-Rakete (Hybrid Experimental Rocket Stuttgart) bereits bei der ersten STERN-Flugkampagne im Oktober 2015 dabei. Sie kennen die Gegebenheiten und die Abläufe auf Esrange. Aber sie haben auch schon erfahren müssen, dass es in einem „echten“ Raumfahrtprojekt auch Rückschläge geben kann.

Ein Rückblick: Am Nachmittag des 22. Oktober 2015 steht HEROS auf der Startrampe. Nachdem der Tag mit strahlendem Sonnenschein begonnen hat, zieht sich der Himmel am Vormittag immer weiter zu.

Als die FAUST-Rakete des LEONIS-Teams von der TU Braunschweig startet, wird es bereits diesig, und die Sicht verschlechtert sich. Doch alles geht gut, die Rakete erreicht eine Höhe von rund sechs Kilometern. Nun ziehen Nebelschwaden auf, legen sich wie ein dichter Schleier über das Startgelände. Schon bald beträgt die Sichtweite nur noch wenige Meter. Selbst vom nahe gelegenen Hauptgebäude von Esrange aus ist nichts zu erkennen als graues Nichts. „Ten, nine, eight ...“, der Countdown schallt aus den Lautsprecheranlagen durch das Tal. Den Start selbst kann man nur erahnen. Um 16:45 Uhr hebt die Rakete planmäßig ab. Für einige Sekunden ist das Geräusch des Raketenmotors zu hören. Dann ein dumpfer Schlag: Was ist geschehen? Es folgen Stunden ängstlichen Wartens ... Als die Rakete später geborgen werden kann, wird klar: Antrieb und Heck der Rakete sind zerstört. Doch was war die Ursache für diesen Fehler?

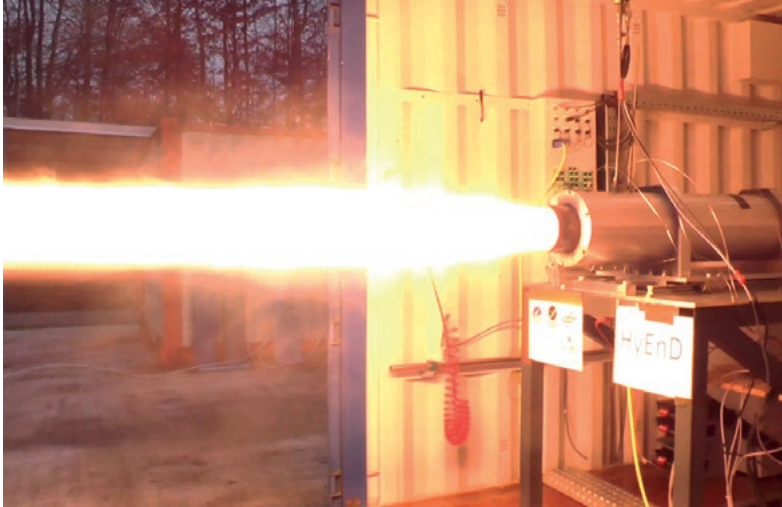
„Das war eine riesige Enttäuschung für uns. Die gesamte Arbeit von drei Jahren schien uns in diesem Augenblick vernichtet“, sagt Dr.-Ing. Mario Kobald, Leiter des Stuttgarter Projekts, rückblickend. „Es hat eine Weile gedauert, bis wir in diesem Rückschlag eine Chance erkannt haben. Vermutlich hat uns dieser Fehler mehr gelehrt als ein Großteil unserer bisherigen Studien.“ Denn nach der Kampagne ging es erst richtig los mit der Arbeit: Das DLR stellte kurzerhand ein „Return to Flight-Programm“ auf die Beine, in dem die Studenten sämtliche Prozesse durchliefen, die in der Raumfahrt nach einem Fehlstart üblich sind. Solch ein Prozedere erfolgt auch bei den großen Trägerraketen, wie etwa Ariane oder Sojus, wenn eine Anomalie aufgetreten ist. Die Raketenteile von HEROS mussten gründlich untersucht, Daten ausgewertet und analysiert werden. Zahlreiche Triebwerktests wurden durchgeführt, um die Startsituation nachzustellen und um Verbesserungsmöglichkeiten für die Rakete zu finden.

Mit Hilfe der Experten von der Mobilen Raketen-Basis des DLR, kurz MORABA, und des DLR-Testzentrums in Lampoldshausen verfolgte das Team in fast kriminalistischer Kleinarbeit jede Spur, rekonstruierte anhand der Messdaten die Flugbahn der Rakete sowie die Druck- und Temperaturverhältnisse im Tank. So wurde schließlich klar: Eine zu niedrige Treibstoff-Temperatur löste die Fehlzündung aus. „HEROS fliegt mit einer Kombination aus Lachgas und Wachs“, erläutert Kobald. „Am Start-Tag war es recht kalt, die Außentemperatur lag bei unter null Grad. Dadurch wurde das Lachgas zu stark heruntergekühlt. Das hat dazu geführt, dass der Druck im Tank abnahm. Das Ergebnis: Es traten Druckschwankungen auf, die das Triebwerk in Schwingung versetzt haben, bis es instabil und letztendlich sogar zerstört wurde. Die Heizsysteme vor dem Start waren offensichtlich nicht ausreichend.“

Bei der dritten STERN-Kampagne im Oktober 2016 bekommt das Stuttgarter Team eine neue Chance. Denn mit ihrer verbesserten rund sieben Meter langen und 180 Kilogramm schweren Rakete wollen die Studenten nicht nur einen perfekten Flug schaffen, sondern auch gleich noch den bisherigen Höhenrekord für studentische Raketen brechen. Der wurde im letzten Jahr von der Universität Delft aufgestellt und liegt bei rund 21 Kilometern. Wenn alles klappt, könnte HEROS mit dreifacher Schallgeschwindigkeit sogar die stolze Höhe von rund 40 Kilometern erreichen.

Geduldssprobe bei der „Öko-Rakete“

Dass man sich nicht entmutigen lassen darf, zeigt auch das Beispiel der sogenannten „Öko-Rakete“ von Studenten des Zentrums für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) der Universität Bremen, die bei der zweiten STERN-Kampagne im April 2016 geflogen ist. Auch hier wurde die Geduld der Studenten auf eine harte Probe gestellt: Vier Startversuche waren notwendig, bis die Rakete erfolgreich vom Boden abhob. Zuerst wurde der Countdown wegen zu starken Windes abgebrochen, dann führte ein Fehler während des Betankungsvorgangs zum Abbruch und beim dritten Mal trat aus einem undichten Ventil Helium aus. Erst der vierte Countdown führte zum Erfolg. Dabei hatte die Bremer Gruppe auf eine Treibstoffkombination von flüssigem Sauerstoff und Kerzenwachs (Paraffin) gesetzt, was der ZEPHyR-Rakete (ZARM Experimental Hybrid Rocket) in den Medien den Beinamen „Öko-Rakete“ einbrachte.



Auf dem Testfeld 11.5 des DLR-Instituts für Raumfahrtantriebe in Lampoldshausen wurde das Triebwerk der HEROS-Rakete getestet

Dabei ist gerade der Umgang mit flüssigem Sauerstoff sehr anspruchsvoll: Die Arbeit mit einem minus 183 Grad Celsius kalten Treibstoff, einer sogenannten kryogenen Flüssigkeit, die zudem sehr schnell mit anderen Materialien reagiert, erfordert besondere Sicherheitsvorkehrungen und Kenntnisse. Auch eine Verflüssigungsanlage für den Sauerstoff mussten die Studenten eigens für ihr Experiment konstruieren.

Triebwerke, die mit einer Kombination aus festem Treibstoff wie Wachs oder Kunststoff und einem flüssigen Gas angetrieben werden, bezeichnet man als Hybridmotoren. Im STERN-Programm haben sich alle Studentengruppen mit Ausnahme der TU Berlin für einen solchen Antrieb entschieden. Für die erfahrenen Ingenieure und Techniker von Esrange war der Umgang mit diesen Triebwerken ein Novum, denn dort werden normalerweise Forschungsraketen mit Feststoffmotoren gestartet. Spannend fänden sie das, sagt einer von ihnen. Beeindruckt wären sie aber vor allem von der Professionalität, welche bisher alle STERN-Gruppen an den Tag gelegt hätten. Sie unterscheide sich nicht von der industrieller Teams.

Flexibilität und Ausdauer zahlen sich aus

Wer an einem Raumfahrtprojekt arbeitet, der sollte bestimmte Eigenschaften mitbringen. Dazu gehören etwa Ausdauer und Neugier. Flexibilität zählt aber auch dazu: Als während der Kampagne beim Team von der Hochschule Bremen, nachdem ein technisches Problem behoben worden war, die Zündschnüre für die AQUASONIC-Rakete auszugehen drohten, wurde gekonnt improvisiert. Um die Vorräte für den Start zu schonen, wurde bei ein paar kleineren Vorab-Tests des Zündsystems in Wildwest-Manier eine Lunte mit Schwarzpulver gelegt – unter Einhaltung aller Sicherheitsvorschriften, versteht sich. Denn gerade in der Raumfahrt gilt: Safety first! Darüber wachen auch die Sicherheitskräfte von Esrange mit Argusaugen. Im Ergebnis konnte die Bremer Rakete dann erfolgreich starten.

Alle Studierenden haben ihre Flugkampagnen daher nicht nur unbeschadet überstanden, sie haben die Mitarbeit an ihren STERN-Projekten auch für ihr Studium nutzen können: Bis dato wurden rund 240 studentische Arbeiten erstellt und 35 Paper veröffentlicht. Teilgenommen haben bislang insgesamt 460 Studenten von acht deutschen Hochschulen. Auch die Industrie hat inzwischen Interesse an dem vielversprechenden Raumfahrt Nachwuchswachstum gezeigt. So hatte die Airbus Safran Launchers GmbH die Raketen der zweiten Flugkampagne mit einem Experiment ausgestattet, bei denen sogenannte thermoelektrische Generatoren Strom durch Temperaturdifferenzen erzeugen. Die dabei gesammelten Daten werden derzeit ausgewertet.

Für die Teams der Hochschule Augsburg und der Universität Stuttgart wird es derweil ernst. Ein letztes Review, bei dem geprüft wird, ob Rakete und Bodeninfrastruktur einsatzbereit und fertig für den Transport sind, trennt sie noch von ihrer Reise nach Kiruna. Dort stehen den Studenten noch weitere Tests und schließlich die letzte Prüfung, das Flight-Readiness-Review bevor. Dann können HyCOMET und HEROS in den Himmel über Esrange starten ...

Diana Gonzalez ist Online-Redakteurin im DLR Raumfahrtmanagement und hat die erste STERN-Kampagne in Kiruna begleitet.

Karsten Lappöhn arbeitet beim DLR Raumfahrtmanagement in der Abteilung Trägersysteme und leitet das STERN-Programm.



Studenten bei Laminier-Arbeiten zur Herstellung einer Raketenspitze für ein verkleinertes Modell der HyCOMET-Rakete



HEROS ist mit 7,5 Metern die größte Rakete aus dem STERN-Programm. Am Testzentrum des DLR-Instituts für Raumfahrtantriebe in Lampoldshausen wurden auch die Triebwerktests durchgeführt.

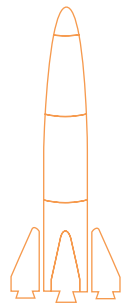
STERN-PARTNER IN LAMPOLDSHAUSEN UND OBERPFAFFENHOFEN

Das DLR-Testzentrum Lampoldshausen besitzt jahrzehntelange Erfahrung beim Test von Raketenantrieben insbesondere für das schon seit den Siebzigerjahren laufende europäische Ariane-Programm. Darüber hinaus werden anwendungsorientierte und auch grundlagennahe Arbeiten auf dem Gebiet der Raketenantriebe durchgeführt. Mit den vielen Starts von Höhenforschungsraketen besitzt die DLR MORABA umfangreiche Gesamtsystemkompetenz, wenn es darum geht, die Raketen hinsichtlich der strukturellen Integrität, des Flugverhaltens beziehungsweise der Flugleistung zu beurteilen. Zu den Aufgaben der Lampoldshausener DLR-Kollegen zählen Reviews, Motorentests auf dem Testfeld 11.5 in Lampoldshausen und der „Workshop Raumfahrtantriebe“, in dem die Studenten sich aktiv mit systemrelevanten Arbeiten an Antrieben und Prüfständen auseinandersetzen können. In die Zuständigkeit der MORABA-Kollegen in Oberpfaffenhofen gehören ebenso Reviews, aber auch die Vortragsreihe „STERN-Stunden“ zu Themen wie Flugdynamik, Telemetrie, TÜV etc. und der Zugang zum Raumfahrtzentrum Esrange.

DIE GROSSEN INDIVIDUALISTEN

Sie stehen im Freien als Testanlagen oder in eigens für sie errichteten Gebäuden, fliegen als Forschungsplattformen am Himmel oder kreisen im Erdorbit. Eines ist ihnen gemeinsam: Sie gelten als Großanlagen der Forschung. Im Vergleich zu Forschungsgeräten in Laborgebäuden normaler Dimension fallen sie wegen ihrer Architektur oder Bauweise auf. Oft sind sie exklusiv in ihrer Leistungsfähigkeit und in jedem Fall hochspeziell in ihrer Ausstattung. Für Forscherinnen und Forscher weltweit haben sie eine enorme Anziehungskraft. Großgeräte sind komplexe Anlagen, werden international genutzt und oft auch so betrieben. Sie stehen für den Erkenntnisfortschritt schlechthin. Gründe genug, um den Großanlagen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt eine Serie im DLR-Magazin zu widmen. Tauchen Sie mit uns ein in die Welt der Windkanäle und Forschungsflugzeuge, Flug- und Verkehrssimulatoren, Satelliten und Prüfstände für Weltraumraketen. Teil 1 der Serie beginnt im Harthäuser Wald ...

ZUGPFERD DER TRÄGER-TECHNOLOGIE



Teil 1 der Serie Großgeräte: Der Prüfstand P8 für Raketenmotoren

Von Manuela Braun

Für den Laien hat er den Charme einer Garage, in diesem Fall von zwei nebeneinanderliegenden Garagen, abgelegen im Grünen. Für die Fachleute ist er eine in Europa einmalige Testanlage. Ein wenig Beton, drumherum jede Menge Tanks und Leitungen, es sieht alles etwas verbaut aus, wie es dort auf dem Gelände am Waldrand steht. Äußerlich stellt der Prüfstand P8 sein Licht gewaltig unter den Scheffel. Rein optisch kommt er beispielsweise gegen den Höhensimulationsprüfstand P4 auf dem Gelände des DLR in Lampoldshausen nicht an. „Aber so einen wie den P8, den gibt es baugleich nirgendwo noch einmal auf der Welt“, sagt Prüfstandsleiter Gerd Brümmer. Wäre der P8 ein Pferd, würde Brümmer ihm jetzt voller Stolz aufmunternd auf die Schulter klopfen. Für die Wissenschaftler und Ingenieure ist der Forschungs- und Technologieprüfstand P8 seit über 20 Jahren ein zuverlässiges Arbeitstier: Mehr als 1.400 Versuchstage wurden durchgeführt, mittlerweile sind es im Jahr 70 bis 80 Testläufe. Alle paar Tage herrschen in den Testzellen, die nun mal von außen lediglich wie etwas größere Garagen aussehen, Bedingungen wie in richtigen Raketentriebwerken. „Wir verwenden die Treibstoffe mit den entsprechenden Drücken bei den entsprechenden Temperaturen“, erläutert der Prüfstandsleiter.



Im geschützten Kontrollraum liegt die Verantwortung für die Tests im Raketenmotorenprüfstand P8 des DLR. Draußen ist im Umkreis von einhundert Metern alles gesperrt.



Die Entwicklung von Trägerraketen für Raumflugkörper beginnt unter anderem hier, im DLR-Prüfstand P8 für Raketenmotoren

Heißläufe für den Flug ins All

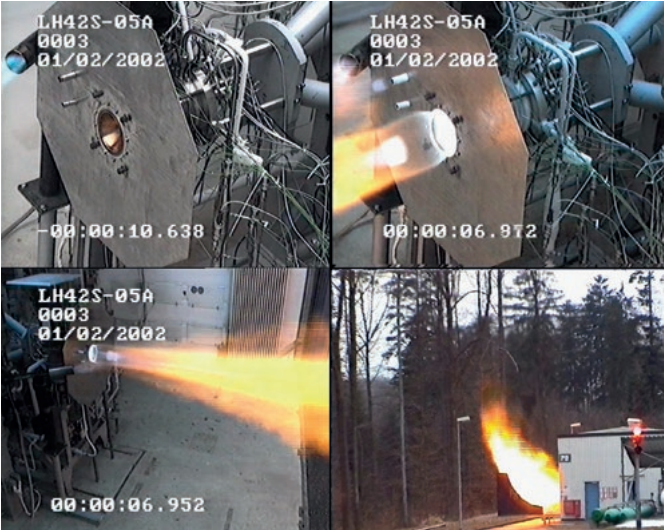
Getestet werden alle Komponenten und Prozesse, die einen Raketenmotor ausmachen: Einspritzköpfe, die den Treibstoff in die Brennkammer bringen, die Zündung und Verbrennung der Treibstoffe, die Kühlung der Brennkammerwände und die Expansion der Heißgase in der Überschalldüse. Dafür fließen unter Hochdruck Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Methan oder Helium in gasförmiger oder flüssiger Form durch die Leitungen, während im Inneren der Testzelle eine Schubkammer gezündet wird. Die gemessenen Daten können hochskaliert werden und bilden dann den echten Flug ins All ab. Steht als nächster Schritt ein Test an den „großen“ Prüfständen an, profitiert deren Team zudem von den Erkenntnissen aus den P8-Versuchen. „Die Kollegen müssen dann nicht im Nebel herumstochern, wenn sie testen, sondern können gezielter arbeiten.“

Pro Versuchstag können mit dem P8 zwei bis vier Heißläufe durchgeführt werden – aus der Entfernung sieht das dann oft aus, als stünde der Prüfstand in Flammen. „Treibstoff, der brennt, ist nicht gefährlich, aber Treibstoffe, die sich mischen und detonieren, die würden den Prüfstand beschädigen.“ Sauerstoff und Wasserstoff sind deshalb durch dicke Mauern getrennt. „Hinter der Mauer ist alles, was brennt“, sagt Brümmer.

Kooperation statt Konkurrenz

Die Idee und die Pläne für diesen Hochdruck-Prüfstand entstanden 1992 aus einer internationalen Kooperation der damaligen Partner SEP (Société Européenne de Propulsion; heute Airbus Safran Launcher ASL), Dasa (heute Airbus Safran Launcher ASL), der französischen Raumfahrtagentur CNES sowie des DLR. „Hier trifft sich alles, was sich normalerweise eher als Konkurrenz versteht.“ Am P8 zähle das aber nicht, sagt Prüfstandsleiter Brümmer. „Verschiedene Kulturen, die unterschiedlichsten Leute, viele technisch-wissenschaftliche Ziele, ein Austausch von Wissen unter den Forschern – das macht den P8 aus.“

1995 wurde der Prüfstand eingeweiht und in Betrieb genommen. Die Anteile an der Nutzung sind seitdem exakt festgelegt: 55 Prozent Nutzungszeit stehen dem DLR zu, Airbus Safran Launcher verfügt über 30 Prozent, die CNES über 15 Prozent. Einmal im Jahr trifft sich ein Komitee mit allen Partnern und plant die Belegung der beiden Testzellen. „Der P8 ist seit 20 Jahren ausgebucht, und für 2017 sieht das nicht anders aus.“ Dabei werden im Wechsel die beiden identischen Testzellen eingesetzt – das spart Umrüstzeiten und macht aus dem P8 einen fast ständig verfügbaren Prüfstand für Forschung und Technologieentwicklung. Mittlerweile ist aus dem P8 ein Katalysator



Das Geschehen im und um den Prüfstand P8 verfolgen die DLR-Wissenschaftler im Kontrollraum anhand von Kamerabildern – vor Ort ist Sperrzone

für weitere wissenschaftliche Kooperationen zwischen Forschungseinrichtungen und Industriepartnern in Deutschland und Frankreich geworden.

Spezialisten mit Veto-Recht

Eines bleibt allerdings immer gleich: An der Steuerkonsole für die Zündung sitzt stets das DLR-Team. „Der Kunde sagt, was er haben will, und bekommt nach dem Test die Daten – die Durchführung und die Verantwortung liegen bei uns.“ Auch das letzte Veto-Recht liegt beim Spezialisten-Team der beiden Prüfstandsleiter Gerd Brümmer und Fritz Wildner. Wird es für den Prüfstand zu riskant, kann der Versuchsleiter im Kontrollraum jederzeit auf den Stopp-Knopf drücken. Zehn Monitore übertragen dafür Bilder aus dem Teststand, über die Rechner wird in Echtzeit gesteuert, was im Inneren des P8 geschieht. Der Kontrollraum hinter seinen dicken Wänden ist dabei wie eine sichere Rettungsinsel. Im Umkreis von hundert Metern um den Prüfstand ist alles gesperrt – dann sind die Mitarbeiter des DLR-Teams die Einzigen, die sich noch in der Nähe des Heißlaufs aufhalten dürfen. Im Teststand selbst ist der Aufenthalt strikt verboten.

Wiederholungstäter mit Präzision

„Das DLR funktioniert am P8 als Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie“, sagt Prof. Oschwald. Oschwald leitet die Abteilung Raketentriebwerke am DLR-Institut für Raketenantriebe – und braucht für seine Arbeit nicht nur Labore, sondern auch Anlagen, in denen die Wissenschaftler nah an die Wirklichkeit im Raketentriebwerk herankommen. „Im Labor haben wir nicht die Möglichkeit, mit so hohen Massenströmen und Drücken zu messen.“ Wenn er von Massenströmen und Drücken spricht, kommt etwas ins Spiel, was den P8 besonders macht: die Regelventile. Sie steuern den Druck sowie die Masse an Treibstoff hochpräzise mit elektrisch betriebenen Ventilen. Bis zu 330 bar und 16 Kilogramm Treibstoffmasse pro Sekunde kann das Prüfstand-Team mit der Großanlage realisieren – und bei den Drücken somit sogar weit über die Bedingungen in einem Raketenmotor hinausgehen. „Und wenn man bei uns zum Beispiel 9,5 Kilogramm Sauerstoff pro Sekunde bestellt, fließt auch exakt so viel durch die Leitungen. Und beim nächsten und übernächsten Versuch ebenso.“ Der P8 ist ein Wiederholungstäter mit Präzision, dessen Messungen auch in numerische Simulationen am Rechner einfließen.

Im Idealfall könnte sich der Prüfstand damit ein Stück weit überflüssig machen, denn er liefert Daten, mit denen die numerischen Simulationen optimiert werden: Wenn die Simulationen besser und zuverlässiger sind, werden im Entwicklungsprozess weniger Tests benötigt.

Das spart Kosten und Entwicklungszeit. Arbeitslos wird die Großanlage dennoch nicht. „Die Prozesse, beispielsweise in einer Brennkammer, sind so kompliziert, dass man ohne Tests nicht auskommt, ein Raketentriebwerk kann man nicht allein am Schreibtisch entwickeln.“ Im besten Fall wechseln sich Numerik und Tests miteinander ab, validieren sich gegenseitig und gehen dabei in der Erforschung und der Entwicklung von Technologien immer einen Schritt nach vorne. Die enge Zusammenarbeit von Numerikern und Experimentatoren, das ist auch eine der großen Stärken, die die Arbeit am Prüfstand P8 ausmachen.

Testen für die Zukunft

Außerdem – darauf legt Oschwald großen Wert – sei der Prüfstand sehr flexibel nutzbar, da er verschiedene Treibstoffe für die Tests zur Verfügung stellt: „Die Anlage ist ein wichtiges Gerät, um die Technologie für die zukünftigen Trägerraketen vorzubereiten, und ein signifikanter Beitrag des DLR zur Entwicklung der Ariane-Trägerfamilie.“ Kontinuierlich wurde deshalb die Prüfstandstechnik ergänzt und die Anlage erweitert. Parallel werden für die neuen Aufgaben Forschungsbrennkammern entwickelt und getestet. Mal sollen höhere Drücke ermöglicht werden, mal ein besserer Wirkungsgrad erreicht oder auch das Spektrum an Treibstoffen erweitert werden. Nur wenn der Prüfstand, die Messtechnik und die Versuchsträger mit den Entwicklungen für die Zukunft mithalten, können Daten generiert werden, die die Entwickler neuer Triebwerke benötigen.

Deshalb soll nun auch eine dritte Testzelle gebaut werden, denn in einem Punkt unterscheidet sich der Prüfstand von den leistungsfähigeren Raketenmotoren, die in den Weltraum fliegen: Während der Treibstoff in der Rakete nur mit geringem Druck vorhanden ist und über Turbopumpen in die Brennkammer gedrückt wird, kommt der Treibstoff im P8 bereits mit Druck aus den großen Tanks in die Kammer. „Wir brauchen deshalb auch eine Niederdruckversorgung, um die Situation realitätsnah zu simulieren.“ Damit könnten dann auch Triebwerkspumpen oder komplette Triebwerkssysteme getestet werden. Für die Wissenschaftler und Ingenieure ist dies ein großer Schritt, sagt Oschwald: „Bisher haben wir viel auf der Komponenten-Ebene gearbeitet, nun werden wir zum Motor, also zum Gesamtsystem, übergehen – das ist eine eigene Kompetenz, die wir dafür entwickeln müssen.“



Je mehr Schub die getesteten Triebwerke haben und je höher der Druck in der Brennkammer ist, desto lauter fallen die Tests im P8 aus – mit einem Leitrohr wird daher die Schall-Emission reduziert

Von einzigartig bis exotisch

Aber auch jetzt schon ist kein Versuchstag wie der andere. Das Programm deckt bereits ein breites Spektrum ab. Eine Messkampagne untersucht die Zündung einer Brennkammer mit einem gepulsten Laser, die nächste vergleicht verschiedene Einspritzköpfe, von herkömmlich bis im 3D-Druck hergestellt. Mal werden die Bedingungen erforscht, unter denen es in der Brennkammer zu Verbrennungsinstabilitäten kommen kann, die während des Fluges die gesamte Mission gefährden würden, mal wird in Experimenten untersucht, welche Temperatur durch eine Kühlung der Brennkammerwand aufgenommen werden kann. „Es gibt niemanden, der Prüfstandsmechaniker oder -messtechniker ausbildet“, sagt Prüfstandsleiter Gerd Brümmer. „Unsere Messtechnik ist einzigartig, die Materialien sind exotisch – für das Team bedeutet dies, dass vieles auch in der Praxis erarbeitet wird.“

Als der Prüfstand vor 20 Jahren seine ersten „Gehversuche“ machte, war der Versuchsablauf noch etwas anders: gegenüber heutigen Versuchen eher mäßig komplizierte Sequenzen bei den Tests, mehr Versuchstage, um zu guten Ergebnissen zu kommen. „Da war man froh, wenn ein Versuch überhaupt lief.“ Mittlerweile gab es bereits 60 Zündungen in einem einzigen Heißlauf, ein Ergebnis der eingespielten Zusammenarbeit von Forschern und dem Prüfstandsteam. Oder auch einen Versuch mit einem Brennkammerdruck von 330 bar, derzeit ein europäischer Rekord. „Natürlich gibt es auch Abläufe, die sich bei vielen Tests wiederholen“, erläutert Gerd Brümmer. „Aber ein Test am P8 ist nie Routine und wird er auch niemals sein“.

ARBEITEN AM P8

Verbrennungsinstabilitäten in Raketenbrennkammern:

Bei dem gefürchteten Phänomen der Verbrennungsinstabilitäten treten im Brennraum akustische Wellen hoher Amplituden auf, die ein Triebwerk in kürzester Zeit zerstören können. Am P8 wurden die Bedingungen, unter denen diese Instabilitäten auftreten, in umfangreichen Studien untersucht. Der weltweit einmalige Datensatz dient im Rahmen internationaler Kooperationen dazu, Modelle zur Vorhersage des Stabilitätsverhaltens zu überprüfen.

Laserzündung von Raketenbrennkammern:

Die Expertise in der Durchführung von Testkampagnen am P8 war Voraussetzung, um während einzelner Testläufe eine Forschungsbrennkammer mit einem Laserzündsystem bis zu sechzig Mal wiederzuzünden. Die Kampagne umfasste insgesamt mehr als 1.000 Zündungen. Nachdrücklich konnte die Robustheit der neuen Zündmethode für verschiedene Zündbedingungen demonstriert werden.

LUMEN, der Demonstrator für ein Oberstufentriebwerk:

Durch das neue DLR-Projekt LUMEN werden die Forschungsziele am P8 von der Ebene von Brennkammerkomponenten auf die Systemebene eines ganzen Antriebs erweitert. Im Rahmen von LUMEN wird ein pumpengefördertes LOX/Methan-Triebwerk entwickelt und getestet.



MISSION ROSETTA IM MUSEUM FÜR NATURKUNDE BERLIN

DLR-Ausstellung zum spektakulärsten Raumfahrtprojekt der letzten Jahre

Die Kometen-Mission Rosetta sorgte zwei Jahre lang für Aufsehen. Seit der Ankunft an ihrem Ziel, dem Kometen 67P, im Herbst 2014 hielt sie Weltraumforscher und Laien in Atem. Nun ist sie zu Ende gegangen. Welche Fragen sie beantworten sollte, wie sie abließ, weshalb sie so begeisterte und welche Ergebnisse schon zu Buche stehen, zeigt seit dem 9. August 2016 eine Sonderausstellung im Museum für Naturkunde Berlin.

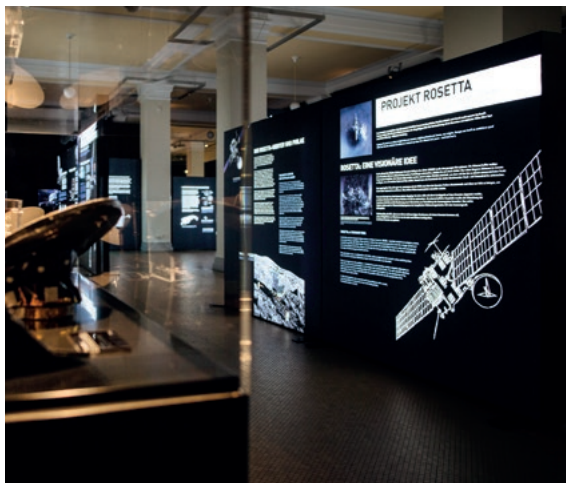
Unter dem Titel „Kometen. Die Mission Rosetta. Eine Reise zu den Ursprüngen des Sonnensystems“ stellt das DLR in Kooperation mit dem Museum für Naturkunde und der Max-Planck-Gesellschaft unter anderem eine Nachbildung des Zielkometen 67P Churyumov-Gerasimenko in einer Größe von 4,3 Meter mal 3,6 Meter (Maßstab 1:1000) aus. Auch ein Modell der Rosetta-Raumsonde im Maßstab 1:5 sowie ein Modell des Philae-Landers in Originalgröße wird gezeigt. Die viertausendjährige Geschichte der Kometenforschung und der aktuelle Wissensstand werden anschaulich dargestellt.

Die europäische Mission Rosetta war am 2. März 2004 gestartet worden. Nach zehnjähriger Reise durchs All erreichte die Raumsonde am 12. November 2014 den Kometen und erstmals wurde mit Philae eine Landeeinheit auf einem Kometen abgesetzt. Insgesamt 21 Instrumente waren mit Rosetta und Philae zu ‚Tschuri‘ geflogen. Die Resultate: detaillierte Bilder von einem zerklüfteten, tiefschwarzen Kometen, der in zunehmender Sonnennähe immer aktiver wird und gewaltige Gasströme ins All schleudert; das Wissen, dass Kometen keine „schmutzigen Schneebälle“ aus lockerem Material sind, sondern eisige, poröse Staubkörper mit einer unerwartet harten Oberfläche; und die Erkenntnis, dass Kometen wie Churyumov-Gerasimenko wohl doch nicht das Wasser der Ozeane auf die Erde gebracht haben.

Im September 2016 sind die Rosetta-Raumsonde und der Lander Philae wieder vereint: Rosetta sinkt auf die Kometenoberfläche und reist dann mit dem dort befindlichen Philae gemeinsam auf dem Kometen um die Sonne. Allerdings nunmehr ohne Funkkontakt zur Erde ...

Manuela Braun

s.DLR.de/v109



DER MARS IN 3D – MEHR ALS DREI MILLIONEN HABEN IHN GESEHEN!

DLR-Ausstellung „Das neue Bild vom Nachbarn Mars“ seit elf Jahren auf Weltreise

Forschung steht immer an erster Stelle, wenn geplant wird, Raumsonden zu anderen Planeten zu schicken. Die Entwicklung der Experimente und Kameras ist zeit- und kostenintensiv. Das Ziel ist stets, die Wissenschaft einen Schritt weiterzubringen. Fast genauso wichtig ist es, die Öffentlichkeit an dieser Forschung teilhaben zu lassen. Denn es sind Steuergelder, mit denen diese Wissenschaft finanziert wird. Das geschieht meist über Bilder, denn ein Foto dieser weit entfernten, fremden Welten bedarf kaum Erläuterungen. Der visuelle Eindruck bleibt.

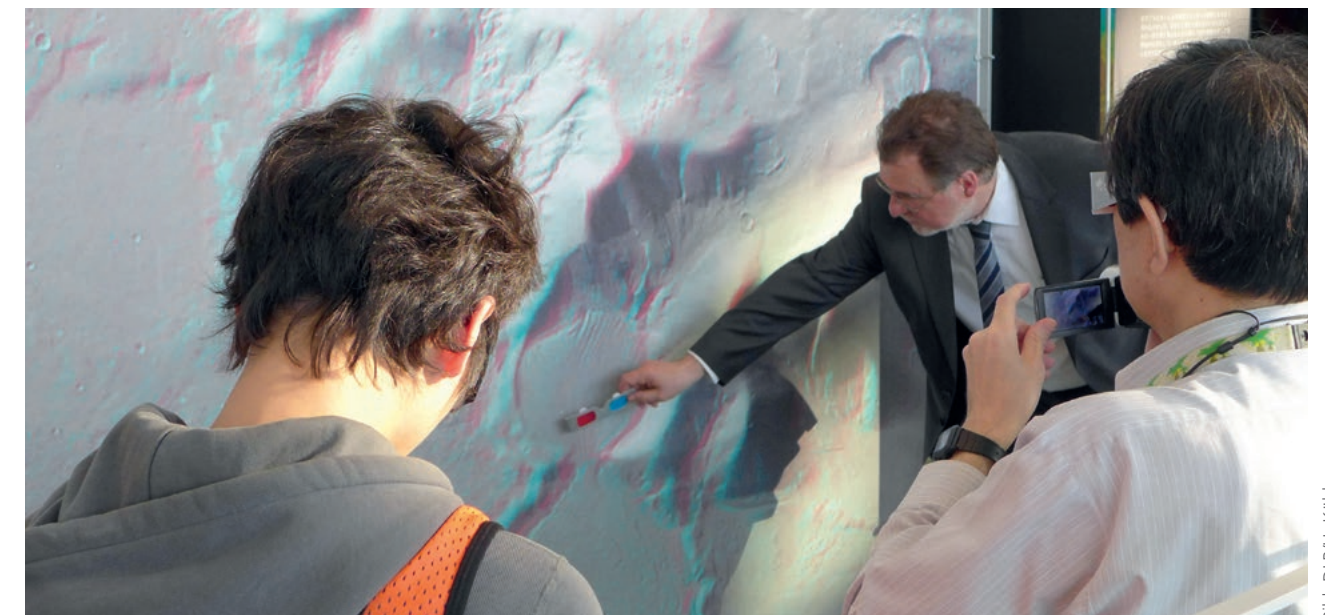
Seit der Viking-Mission zum Mars (1976) ist uns der Rote Planet ein vertrauter Nachbar. Doch so, wie ihn die am DLR entwickelte Stereokamera HRSC (High Resolution Stereo Camera) seit 2004 abbildet, kennen wir ihn noch nicht – in räumlicher Darstellung, dreidimensional. Berge und Täler, Vulkane und Schluchten scheinen zum Greifen nah. Sehr spektakulär. Möglich ist dies durch die Aufnahmetechnik der HRSC, mit der die globale Topografie erfasst wird. Aus den Stereobildern lassen sich 3D-Bilder, sogenannte Anaglyphen, erzeugen, die bei Betrachtung mit einer Rot-Grün- oder Rot-Cyan-Brille ein atemberaubendes dreidimensionales Seh-Erlebnis ermöglichen.

Aus 19 Motiven entstand 2005 die DLR-Ausstellung „Das neue Bild vom Nachbarn Mars“. Berlin, München, Köln, Tokyo, Haifa, Oslo, Bangkok, Singapur, die UNO in Wien und New York – und noch einige Dutzend Ausstellungsorte mehr: Über drei Millionen Besucher haben dort einen virtuellen Ausflug auf den Mars gemacht. Auch spektakulär.

Ulrich Köhler

mex10.dlr.de

Professor Ralf Jaumann vom DLR-Institut für Planetenforschung erklärt japanischen Journalisten die Geologie des Mars. Seit über 25 Jahren ist er an der Stereokamera beteiligt und inzwischen hauptverantwortlich für das Kamerasystem.



Eintauchen in die Welt des Mars – ein 3D-Erlebnis, das diese junge Besucherin der DLR-Marsausstellung am Sitz der UNO in New York im Jahre 2007 intensiv beschäftigt

DIE ERDE LEBT, DIE ERDE SCHWEBT



In der Ausstellung „Wunder der Natur“ im Gasometer Oberhausen

Von Cordula Tegen

Den Gasometer in Oberhausen als Ausstellungsort zu erleben, ist allein schon die Reise wert. Der gewaltige Zylinder ragt weit sichtbar in die Höhe. Im Dämmerlicht verheißungsvoll illuminiert zieht er die Blicke auf sich. Ist die profane Eingangstür, die im Verhältnis zu dem einhundert Meter hohen Bau wie ein Provisorium anmutet, durchschritten, taucht man ein ins Halbdunkel einer Welt, die einen sofort gefangen nimmt. Und so schnell auch nicht wieder loslässt. Egal, wie alt, ganz gleich, welcher Herkunft – keiner, der dieser Wunderwelt nicht erliegt. Einem Kosmos, in dem man zwischen scheinbar frei schwebenden großformatigen Bildern umherwandeln, verweilen, sich entfernen und wieder nähern kann. Und wo das Staunen nicht aufhört. „Wunder der Natur“ heißt diese Ausstellung von 150 Bildern namhafter international bekannter Fotografen, die man noch bis zum Jahresende 2016 im Gasometer Oberhausen sehen kann.

Fantastische Fotografien bringen uns Fauna und Flora der Erde nah. Eine Elefantenherde kommt auf uns zu. Löwenaugen scheinen uns zu fixieren. Pinguine demonstrieren uns ihre eleganten Unterwasserbewegungen. Der herausfordernde Blick eines Primaten scheint zu fragen, warum wir seinen Lebensraum beschneiden. Surriles Kleingetier fasziniert durch seine Farbenpracht, überrascht mit seiner Art, sich zu bewegen, erstaunt uns durch seine ungewöhnliche Anatomie. Nahaufnahmen, die von außergewöhnlichen Sinnen erzählen, von hochentwickelten Strategien im Kampf ums Dasein, vom Reichtum sozialer Beziehungen, von originellen Paarungsritualen.

Die Pflanzenwelt steht der Tierwelt nicht nach. Im Gegenteil: Noch bunter, noch ungewöhnlicher, fremder und unerwartet zeigefreudig erwecken diese Momentaufnahmen die Bewunderung seitens der Betrachter. Was für eine Pracht, welche Vielfalt, bewegend in Szene gesetzt durch effektvolle Beleuchtung. Der Fokus liegt auf dem Bild, das ungerahmt im Halbdunkel eine Intensität bekommt, die den Betrachter fast ehrfürchtig werden lässt.

Die Fotografien führen uns in die Tiefsee, zu Korallenriffen, in Wüsten und tropische Regenwälder. Aufnahmen mit dem Elektronenmikroskop zeigen mikrobiologische Lebensprozesse. Selbst die Bilder aus unseren gemäßigten Breiten zeigen uns die Natur, wie wir sie noch nicht gesehen haben. Nah, bunt, in schöpferischer Vielfalt. Zudem laden erstaunliche Filmsequenzen und Fundstücke sowie Präparate dazu ein, vielleicht auch einmal eine naturkundliche Sammlung zu besuchen.

Bild: DLR/Michael Winter



Bild: DLR/Michael Winter

Und als ob das alles nicht genug wäre, rückt beim nun folgenden Treppenaufstieg Schritt für Schritt diese gewaltige Skulptur unserer Erde ins Blickfeld. Kaum ein Besucher, der nicht spätestens jetzt seiner Faszination Ausdruck gibt. Im riesigen, nun nicht mehr durch eine Zwischendecke verstellten Innenraum des Gasometers erweckt eine ausgeklügelte Projektion unseren Planeten zum Leben. Die Erdkugel mit einem Durchmesser von zwanzig Metern scheint sich zu drehen und den Wechsel von Tages- und Jahreszeiten zu durchlaufen.

Es sind Daten von Satelliten, die diesen Eindruck schaffen. Wissenschaftler aus dem Earth Observation Center im DLR erstellten diese einzigartige Animation mit einer Auflösung von 58 Millionen Pixeln. 100 Tage mussten die Rechner arbeiten, bevor die Erdskulptur in ihrer Dynamik für die Besucher zum Leben erwachen konnte. Eineinhalb Millionen Bilder wurden erzeugt. Nun kann die Erde von den Sitzstufen aus beobachtet werden. Wer Glück hat, findet einen Platz auf einem der großen Liegekissen und kann sich in entspannter Rückenlage vom schwebenden Blauen Planeten überwältigen lassen.

GASOMETER OBERHAUSEN: WUNDER DER NATUR

Gasometer Oberhausen
Arenasträße 11
46047 Oberhausen

noch **bis 30.12.2016**

Öffnungszeiten:
dienstags bis sonntags sowie feiertags
von 10 bis 18 Uhr

Eintritt:
Erwachsene 10 Euro, ermäßigt 7 Euro

www.gasometer.de





Perry Rhodan, der Erbe des Universums. Seit den Sechzigerjahren sind bis heute zahlreiche Romane in der gleichnamigen Reihe erschienen. Vom bunten Science-Fiction-Roman über Fachliteratur und Zeitungsartikel der Sechzigerjahre, Actionfiguren, Gemälde und Entwicklungen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt – die Sonderausstellung im Schlossmuseum Senftenberg entführt in eine Welt zwischen Zukunftsvision und Realität.

Bild: Pabel Moewig Verlag KG, Illustration: Renato Casaro



Protagonist der Science-Fiction-Literatur: Jules Vernes mit seinem Roman „Von der Erde zum Mond“ (Cover der 3. Auflage aus dem Kinderbuchverlag Berlin, DDR 1955)

Bild: Thomas Kläber



Museum Schloss und Festung Senftenberg

SCIENCE-FICTION TRIFFT REALITÄT

Sonderausstellung im Museum Schloss und Festung Senftenberg

Von Jana Hoidis

Außerirdische, Raumfahrer und Superhelden. Sie spielen die Hauptrollen in Büchern, auf der Leinwand und im Fernsehen, in Serien, die Kult geworden sind. Aber in Senftenberg, der einstigen Braunkohlestadt nahe der polnischen Grenze? – Oder vielleicht gerade hier?

Das Museum Schloss und Festung Senftenberg wartet in diesen Wochen mit einer Sonderausstellung auf. In ihr treffen sich Science-Fiction und Realität. „Sachsens Festung in Brandenburg“, ein Kleinod im Landkreis Oberspreewald-Lausitz, lädt ansonsten zu einer Zeitreise durch die Geschichte von Stadt, Land und Industrie in Senftenberg und der Lausitz ein. Das Schloss wurde im 16. Jahrhundert errichtet und ist heute Deutschlands einzige erhaltene Festungsanlage, die von einem Schutzwand umgeben ist. Unter der Erde zeigt ein Schaubergwerk den Alltag und die Arbeitswelt des ehemaligen Lausitzer Bergbau-Reviers. – Wie kommt ein kleines, bodenständiges Museum in Brandenburg zu einer so skurrilen Ausstellung über Science-Fiction?

Neben der Geschichte der Region Lausitz zeigt das Museum wechselnde Sonderausstellungen. Tom Fehrmann, dem wissenschaftlichen Mitarbeiter am Museum, ist es, getrieben von der Vorliebe für das Thema Science-Fiction, gelungen, die etwas andere Ausstellung für einige Monate ins Schloss zu holen. Die private Sammlung von Bettina Dorfmann und Karin Schrey, die Bücher, Comics, Spielfiguren, Gemälde, Kostüme etc. umfasst, wird durch Exponate des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt ergänzt – science fiction meets reality! Auf 100 Quadratmetern sind die zum Teil recht urig anmutenden Ausstellungsstücke über zwei Etagen in etlichen Vitrinen arrangiert. Der Rundgang entführt gleichzeitig in die Vergangenheit, in die Zukunft und in fremde Welten. Los geht es mit der Gegenüberstellung von utopischer Literatur und realen Entwicklungen der Weltraumtechnik.

Bereits 1885 starteten Astronauten in Jules Vernes gleichnamigem Science-Fiction-Roman „Von der Erde zum Mond“ ins All. Seit den Nachkriegsjahren des Zweiten Weltkriegs ist es Perry Rhodan, der Erbe des Universums, der die Menschheit zwischen Westblock, der Asiatischen Föderation und dem Ostblock vereint und uns in etlichen Romanen und Comics mitnimmt auf seine spannende Abenteuer-Reise. In der Ausstellungsgalerie wird erklärt, dass Science-Fiction in den Fünfziger- und Sechzigerjahren ein Mittel war, um das Grauen des Kriegs zu verarbeiten. Der Kalte Krieg spiegelte sich in den Themen der Geschichten wider. Die Ausstellung zeichnet die Entstehung der Science-Fiction-Literatur von ihren Anfängen bis in die Gegenwart nach, vom Ursprung und den Hintergründen der ersten Romane über den Boom in den Sechzigerjahren bis hin zu aktuellen Kinofilmen.

Etwa 100 Jahre nach Jules Vernes fiktiver Mondlandung folgte die reale: Mit der Mission Apollo 11 betraten erstmals zwei Menschen, Neil Armstrong und Buzz Aldrin, unseren Erdtrabanten. Das Apollo-Programm wurde von der NASA zwischen 1961 und 1972 betrieben. In mehreren Schritten erprobte die NASA für eine Mondlandung erforderliche Techniken. Der letzte bemannte Raumflug zum Mond war „Apollo 17“ am 7. Dezember 1972. Zu sehen gibt es eine Miniatur des Landemoduls, Dias der verschiedenen Apollo-Missionen sowie ein breites Spektrum an Literatur und Zeitungsartikeln aus jener Zeit. Was damals in der Mediennutzung Hightech oder State of the Art war, ist heute ein Geschichtsexkurs. – Wer besitzt heutzutage noch ein Gerät, mit dem Dias an die Wand projiziert werden können?



Mondlandung: Sammlung zu den Apollo-Missionen



Star Trek Barbie Collector Edition



Helden mehrerer Generationen: Star-Wars-Figuren



Der Asteroidenlander MASCOT des DLR

Die Erfolge der Raumfahrt der Sechzigerjahre führten zu größer werdendem Interesse in der Öffentlichkeit. So entstanden etliche Fernsehserien, die das Thema Science-Fiction aufgriffen. Die bekannteste ist bis heute „Star Trek“, vorerst als „Raumschiff Enterprise“ in Deutschland bekannt. Die Besatzung der Enterprise ist multiethnisch und multikulturell. Erstmals im amerikanischen Fernsehen wurde eine Kuss-Szene zwischen einer Farbigen und einem Weißen gezeigt – damals ein Tabubruch! Im ersten Obergeschoss taucht man in eine kuriose Welt aus Actionfiguren und jeder Menge Merchandising-Artikeln sowie DVDs ein.

Beindruckend ist die große Sammlung von „Star Wars“-Figuren, die einige Schätze umfasst. Der Blick in die Vitrine auf Helden und außerirdische Wesen sowie Fluggeräte aller bisher erschienenen Episoden versetzt Fans ins Staunen. „Star Wars“ (Krieg der Sterne) hatte 1977 seine Kino-Premiere und wurde ein großer Erfolg. Der bis dato letzte Teil der Saga, Episode VII, kam erst 2015, also 38 Jahre später heraus. Mit Lichtgeschwindigkeit fliegen die Raumschiffe in der Kult-Serie in Sekundenschnelle von einer Galaxie in die andere. Mit heutigem Stand der Technik sind Raumflüge über eine solche Entfernung allerdings noch nicht möglich. Und das menschliche Leben im All spielt sich aktuell größtenteils auf der Internationalen Raumstation, der ISS, ab.

Indessen werden die Tiefen des Weltraums von unbemannten Raumsonden erkundet. Mit den zwei Ausstellungstücken MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout) und MATROSCHKA vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt präsentiert das Museum aktuelle Exponate der Weltraumtechnik und vermittelt einen Eindruck von der Nähe zwischen Utopie und aktuellen wissenschaftlichen Projekten. Ein reizvoller Kontrast zu den teils kuriosen und teils urigen Sammlungstücken aus der Science-Fiction-Welt. Dabei hat MASCOT durchaus etwas Visionäres: 2014 ist er mit der japanischen Sonde Hayabusa2 gestartet worden. Bei Ankunft am Asteroiden Ryugu (1999 JU3) soll sich der Lander MASCOT vom Mutterschiff lösen und über den Asteroiden springen, um so Untersuchungen an verschiedenen Stellen auf

der Oberfläche zu ermöglichen. Das Zwillingsmodell von MASCOT, an dem vor dem Start diverse Tests durchgeführt wurden, kann in der Sonderausstellung studiert werden. Beim Ansehen eines Films über die geplante Landung auf Ryugu können die Betrachter etwas von der Erkundung des Asteroiden erahnen.

Real indessen sind Astronauten auf der ISS. Insbesondere bei Außenbordeinsätzen sind sie einer Strahlenbelastung ausgesetzt. Wie hoch diese genau ist, stellten DLR-Wissenschaftler mit MATROSCHKA fest. MATROSCHKA verkörpert Mensch und Maschine gleichermaßen. Das dem menschlichen Oberkörper in Originalgröße nachgebildete Phantom ist mit über 6.000 passiven und sieben aktiven Detektoren zur Messung der Strahlungsexposition ausgestattet. Es reiste 2004 für fünf Jahre zur ISS. Mit dem Wissen über die Wirkung der Strahlen auf menschliche Organe kann man die Astronauten nun besser schützen.

Die Sonderausstellung „Science Fiction – Flucht in die Zukunft“ ist für Kinder, Science-Fiction-Liebhaber und wissenschaftlich Interessierte gleichermaßen sehenswert. Sie zeigt, dass einstige Zukunftsvisionen heute in der Realität angekommen sind. Die Unterschiedlichkeit der Ausstellungstücke vermittelt dem Besucher einen vielfältigen Einblick in die Geschichte und deutet an, wie sich Fiktion und Wirklichkeit gegenseitig beeinflusst haben.

Auch nicht unbedingt an Technik interessierte Besucher kommen in der Senftenberger Schlossanlage auf ihre Kosten: In den Dauerausstellungen erzählt das Museum, wie aus der mittelalterlichen Burg eine sächsische Festung entstand und daraus ein preußisches Gericht mit Gefängnis und später eine Schule wurde. Und es beherbergt die Kunstsammlung Lausitz mit einer Auswahl aus über 2.500 Werken von mehr als 130 Malern, Grafikern und Bildhauern, die alle in Bezug zur Lausitz stehen.

Die wunderschöne Schloss- und Festungsanlage bietet auch wechselnde Workshops und Erlebnisprogramme für Kinder oder Erwachsene und ist in jedem Fall einen Ausflug mit der ganzen Familie wert.



Museumspädagoge Martin Baumgart erklärt MATROSCHKA

MUSEUM SCHLOSS UND FESTUNG SENFTENBERG

Sonderausstellung „Science Fiction – Flucht in die Zukunft“

noch bis 31. Oktober 2016

geöffnet dienstags bis sonntags von 10:30 bis 17:30 Uhr
mit speziellen Programmen für Kindergruppen und Schulklassen

Schlossstraße, 01968 Senftenberg
Telefon: 03573-2628 oder 03573-798190
museum-senftenberg@museum-osl.de

www.museumsentdecker.de

facebook/museumsentdecker



STETER TROPFEN HÖHLT DEN STEIN ...

Wer einen Bildband zum Thema „Wasser“ macht, hat es nicht einfach: Wohl jeder hat schon einmal Aufnahmen von verschlängelten Flussläufen, einem fächerförmigen Fluss-Delta oder von Gletschern und Eisbergen gesehen. Und an Bildbänden mangelt es auch nicht. Fotograf Bernhard Edmaier ist mit **Wasser (Prestel-Verlag)** deshalb einen etwas anderen Weg gegangen und hat mit einer ungewöhnlicheren Kapitel-Einteilung Abwechslung ins Spiel gebracht. Neben „Flüssig, Fest, Gasförmig“ hat er seine Aufnahmen noch nach den Kategorien „Destruktiv“, „Bewegend“ und „Konstruktiv“ angeordnet – und kann somit auch Bilder zeigen, auf denen kein einziger Tropfen Wasser zu sehen ist, sondern „nur“ dessen Auswirkungen auf die Erdoberfläche. Edmaier hat Bauwesen studiert und war als Geologe tätig, der etwas andere Blick auf das Phänomen Wasser tut dem Buch gut.

Edmaier verlässt sich dabei nahezu vollkommen auf die Macht der Bilder, gerade einmal vier Seiten Text und zwei Seiten Glossar fügt er zu seinen Aufnahmen hinzu. Selbst die Bildunterschriften sind kurz und knapp gefasst. Das funktioniert durchaus. Die Luftaufnahmen beeindrucken, reichen von Tiefblau über Schlamm-braun und Grasgrün bis hin zu eisigem Weiß und zeigen die teilweise abstrakte Schönheit der Natur auf allen Kontinenten. In den wenigen Texten finden sich jedoch auch ganz interessante Informationen: Regentropfen schlagen mit 20 Kilometern in der Stunde auf die Erde und sprengen Material weg. Fließt Wasser mit nur zwei Metern in der Sekunde, reißt es Kieselsteine mit sich, die das Flussbett schmirgeln. Und Flüsse transportieren jährlich etwa 20 Milliarden Tonnen Erde und Gestein ins Meer. Schade, dass es von solchen Fakten so wenig gibt – sie sind spannend zu lesen und würden in diesem Fall den Wissenshintergrund geben, der die tollen Bilder noch besser wirken ließe.

Manuela Braun



FINGER WEG VOM ERFINDER-BERUF!

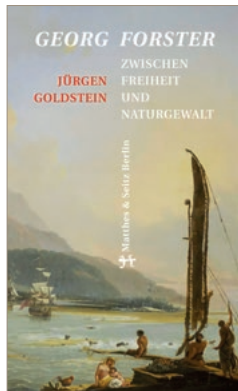
Zehntausende Erbsen hat Gregor Johann Mendel gezüchtet, unermüdlich und gewissenhaft. Doch das Ergebnis – die drei Gesetze der Vererbung – haben damals, in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts – einfach niemanden so recht interessiert: „Fragen wurden nicht gestellt, eine Diskussion fand nicht statt“, vermerkt das Protokoll des Vereins, vor dem Mendel seinen ersten Vortrag hielt. Der Mönch Mendel beschäftigt sich zum Ende seines Lebens hin mit der Bienen-zucht, der Meteorologie und einem unangenehmen Steuerstreit. „Wer durch die Welt will rücken – der muss sich hübsch bücken“, stellt er verbittert fest. Nach Krankheit und Nervenzusammenbrüchen stirbt er ungewürdigt, denn seine Entdeckung wurde erst Jahrzehnte später geschätzt. Er ist mit seinem Scheitern in guter Gesellschaft: Rosalind Franklin, Mitentdeckerin der DNA-Struktur, wurde von ihren männlichen Kollegen verspottet und ignoriert, ihre Forschungsarbeit hingegen nur zu gerne übernommen. Robert Trevithick erfand zwar die Dampf-lokomotive, endete aber dennoch im Armengrab.

21 solcher Erfinder-Schicksale hat Autor Armin Strohmeyr für sein Buch **Verkannte Pioniere – Abenteuerer, Erfinder, Visionäre (Styria Premium)** zusammengetragen. Das Buch aus schönem starken Papier ist mit historischen Fotos und Zeichnungen ansprechend aufgemacht und führt den Leser von Erfindung zu Erfindung: das Telefon, das Fahrrad, der Laser, die Pockenschutzimpfung, das Radarprinzip oder auch die Schiffsschraube. Detailreich und gut lesbar schildert Strohmeyr das schwierige und frustrierende Leben der Menschen, ohne deren Erfindungen heute niemand mehr leben möchte.

Manuela Braun

DASEIN ALS EXPEDITION

Naturforscher. Schriftsteller. Übersetzer. Zeichner. Revolutionär. – Georg Forster war das alles. Und er hat wohl noch mehr gewollt. Aber die Strapazen der Weltum-segung mit James Cook und sein unstetes Leben for-derten ihren Tribut. 1794 starb Forster, erst 39-jährig in Paris, nachdem er im Sog der Französischen Revolution zuvor die nur wenige Wochen existierende „Mainzer Republik“ ausgerufen hatte.



Cook. Humboldt. Kant. Goethe. – Forster? Es ist das Verdienst von Jürgen Goldstein, Philosophie-Professor an der Universität Koblenz-Landau, Forsters Leben **Zwischen Freiheit und Naturgewalt (Matthes & Seitz)** nachgezeichnet, in die Debatten seiner Zeit eingeordnet, akribisch doku-mentiert und für eine breite Öffentlichkeit ins Scheinwerferlicht gestellt zu haben. Dafür gab es 2016 den Preis der Leipziger Buchmesse in der Kategorie Sachbuch.

Goldstein bleibt nah an Forsters Aufzeichnungen, was das 300-Seiten-Buch dank dessen wunderbaren Sprachgebrauchs zu einem bleibenden Leseerlebnis macht. Dabei belässt der Autor es nicht beim Nachzeichnen von Forsters Lebensweg. Er ordnet dessen Ansichten und Einsichten in die ambivalente Naturphilosophie-debatte Ende des 18. Jahrhunderts ein, in der kein anderer die Natur und die Politik so eng verwob wie der 1754 nahe Danzig geborene Georg Forster. Goldstein begleitet um- und weitsichtig den Weg des weltoffenen Erkunders und Denkers, der auch in seinem späteren Leben oft unbequeme Pfade einschlug. Sein ganzes kurzes Dasein eine einzige Expedition, auf der die Natur ihm in Zeiten des Trübsals Trost spendete. „Die Funken, die Forster aus seinen Leitvorstellungen schlug, er-hellten für einen Weltaugenblick die Aussicht, es könne so etwas wie natürliche Revolutionen geben.“ – Selten wurde ein Klappentext so gleichermaßen schön wie treffend formuliert.

Cordula Tegen

POESIE DES FLIEGENS

Luftfahrtbücher gibt es zuhauf. Meist geht es darin um Technik und Abläufe um die Piloten – und nur selten um die Faszination des Fliegens, um das un-mittelbare Erleben von Himmel, Wolken und Land-schaften. Mark Vanhoenacker, ein noch relativ junger Amerikaner, seit einiger Zeit Langstreckenpilot auf der Boeing 747, beschreibt jetzt in seinem bei **Han-ser** erschienenen Buch **Himmelhoch** all die Facetten zwischen unten und oben, die das Fliegen zur Faszination machen. Und er tut dies in einer brillant poe-tischen Sprache, wie man sie seit Antoine de Saint-Exupéry und auch Joseph Conrad nicht mehr erlebt hat. Der Autor macht dort weiter, wo diese beiden Poeten der Lüfte und der Meere seinerzeit aufgehört haben. Auch Vanhoenacker erläutert Flugabläufe, technische Navigationshilfen und physikalisch-meteorologische Naturphänomene, dies aber mit großer emotionaler Intensität. In neun Einzelkapiteln lässt er den Le-ser teilhaben an Nachtflügen, an der Navigation über Ozeane und Kontinente, und fast in jedem Satz schimmert immer noch das schiere Staunen des Flugschü-lers über die Vielfalt von Eindrücken in der dritten Dimension des Fliegens. Eine Impression aus einem Nachtflug: „...Hoch oben wirkt der Himmel dreidimensio-nal. Wenigstens hier vermittelt das Weltall einen Eindruck von Raum, von Tiefe, ein Meer, das aus Entfernung besteht, durchschossen von uralten Lichtern.“ – Mit „Himmelhoch“ beschert uns der Autor eine einfühlsame Poesiestunde.

Hans-Leo Richter



LINKTIPPS

SUCHMASCHINE FÜR SATELLITENBILDER

terrattern.com

Wo Google Earth aufhört, fängt TERRAPATTERN an. Googles Dienst ist stark an Adressdaten ge-bunden. Die Carnegie-Mellon-Universität indes-sen verknüpft Satellitenbilder mit einer komfor-tableren Suchfunktion. Noch läuft sie allerdings prototypisch und ist auf vier US-Städte und Berlin beschränkt. Der Nutzer wählt ein visuelles Muster auf der Karte, die Maschine findet ähnliche. Wenn zukünftig nicht nur urbane Umgebungen, sondern auch unkartierte Areale durchsuchbar und die Ergebnisse genauer werden, hat das Open-Source-Tool Potenzial, mehr als nur Spielerei zu sein.

LANDEKAPSEL LIVE

http://bit.ly/28UVNeH

Astronaut Reinhold Ewald kommentiert in einem Video (YouTube) die Ankunft der Sojus-Kapsel auf dem DLR-Gelände in Köln. Mit der 1,5 Tonnen schweren Kapsel TMA-13M waren Alexander Gerst, Reid Wisemen und Maxim Surajew am 10. November 2014 in Kasachstan gelandet. Mitarbeiter und Besucher des DLR können sie nun aus nächster Nähe sehen.

ENERGIE-BERATUNG

co2online.de/

Tipps und Fachartikel zum Thema Energie sparen gibt es zielgruppenorientiert aufbereitet auf der Seite der co2online GmbH. Mehr Informationen zum Klima, zu För-dermitteln, Statistiken, Strom-Check? – Auch das findet man hier. Hilfreicher Rundum-Service.

LUST MITZUFLEIEN?

wingly.de

Das Prinzip der klassischen Mitfahrzentrale – nur in der Luft! Privatpiloten bieten unkompliziert Rundflüge oder Kurztrips an. Überraschend günstig und bestimmt besser als im Stau stehen!

KALENDERBLATT

kalenderblatt.de

Geburtstage, Gedenktage, News – die Seite KALENDER-BLATT der Deutschen Welle ist wie ein anregender Pausen-Snack. Tageszitat und Quiz gibt's auch noch. E-Card-Service nicht zu vergessen. Locker. Leicht. Zu empfehlen.

BÜROPAROLE

business-punk.com/bueroparole/

Poster mit Witz und Grips stellt die crossmediale Monats-schrift Business Punk (Gruner + Jahr) auf ihrer Website zum Download bereit. Frei nach dem Motto: Graue Mäuse kriegen keinen Käse. Hier kann man sich ver-standen fühlen.

ERFOLGREICH GELANDET

http://bit.ly/1rqQXyN

Was für eine Nachricht! Das Unternehmen SpaceX hat es geschafft: Die erste Stufe einer Falcon-9-Rakete landete am 9. April 2016 sicher – und zwar auf einem Schiff, senkrecht. Die Landung gibt es unter anderem als interaktives 360-Grad-Video auf YouTube (Achtung, funktioniert nicht im Internet Explorer). Unterschiedliche Blickwinkel möglich. Da staunt man, immer wieder.

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, Diana Gonzalez, Julia Heil und Fabian Locher

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.

ClimatePartner°
klimateutral
Druck | ID: 53106-1608-1003



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Titelbild

Leiser fliegen, aber wie? DLR-Forscher untersuchen die Wege des Triebwerkschalls in die Kabine. Dazu experimentieren sie im Acoustic Flight-Lab-Demonstrator in Hamburg.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages