

SCHNÜFFELN IM ABGASSTRAHL

Wie wirken Biotreibstoffe auf die Umwelt?

REALE FLUGZEUGE UND VIRTUELLE ZWILLINGE
DAS STADTAUTO NEU DENKEN
DIE SONNE BESSER EINFANGEN



Liebe Leserinnen und Leser,

endlich Sonne. Der Fotograf des Titelbildes freute sich über den blauen Himmel Ende Januar. Für das Gelingen von Messflügen mit Biotreibstoffen war allerdings anderes wichtiger: niedrige Temperatur und feuchte Luft. Beides ideal für gut ausgebildete Kondensstreifen. Und die brauchen die Wissenschaftler von NASA und DLR für ihre Flüge mit unterschiedlichen Treibstoffen. Sie wollen wissen, wie sich Biotreibstoffe auf Emissionen und Kondensstreifen auswirken. Die Messflüge folgten der Frage, ob weniger Rußpartikel in der Atmosphäre auch zu weniger Eiskristallen und damit Kondensstreifen führen. Die Vielfalt und Menge der Daten aus den spektakulären Flügen im Abgasstrahl werden Wege weisen, die Klimawirkungen der Luftfahrt zu reduzieren.

Noch größer sind die Datenmengen, wenn es um digitale Zwillinge von Flugzeugkomponenten geht. Deren Modellierung ist eine Mammutaufgabe, vor allem wenn am Ende der gesamte Entstehungs- und Lebenszyklus eines Flugzeugs abgebildet sein soll. Damit das gelingt, ergänzen vier neu gegründete DLR-Luftfahrtinstitute das DLR-Portfolio. Die Vision: Datenpakete zu Flugzeugzelle, Triebwerk und anderen Komponenten sollen sich wie ein digitaler Faden durch die Entwicklung ziehen. Das Flugzeug von morgen wird günstiger und fliegt ökonomischer.

Eine fliegende Plattform und ausreichend Sonne sind Erfolgsgaranten für ein Unternehmen, das sich vor zehn Jahren aus dem DLR ausgründete. Es bietet Kraftwerkbauern eine fundierte Qualitätskontrolle von Solaranlagen an, wozu die Ingenieure auch Messdrohnen nutzen. Ihre Technik ist erfolgreich. Rund um die Welt. Damit die Sonne besser eingefangen werden kann.

Weit über unser Sonnensystem hinaus blicken DLR-Forscherinnen und Forscher bei der Suche nach extrasolaren Planeten. Permanent werden neue entdeckt. Sie fordern gängige Theorien heraus. So bilden ein Zwergstern und der dazugehörige Riesenplanet in seiner Umlaufbahn ein äußerst ungewöhnliches Paar.

Wenn Sie mehr Neues aus der DLR-Forschung in Luftfahrt, Energie und Raumfahrt erfahren wollen – auf der Hannover Messe Industrie (23. bis 27. April 2018) und auf der Internationalen Luftfahrtausstellung ILA in Berlin (25. bis 29. April 2018) haben Sie Gelegenheit dazu.

Wir freuen uns auf Sie!

Ihre Magazin-Redaktion



REALE FLUGZEUGE UND VIRTUELLE ZWILLINGE 16



BERLINER FORSCHER BLICKEN INS ALL 28



DINOFILAGELLATEN ALS SENSOREN 24



NEUES DENKEN FÜR EIN STADTAUTO 34



KOMMENTAR 4

DLRmagazin 157

EDITORIAL	2
KOMMENTAR	4
MELDUNGEN	5
SCHNÜFFELN IM ABGASSTRAHL	8
Flugkampagne zur Wirkung von Biotreibstoffen	
FLUGZEUGE UND VIRTUELLE ZWILLINGE	16
Digitalisierung in der Luftfahrt	
BILDNACHRICHT	22
DINOFILAGELLATEN ALS SENSOREN	24
Jens Hauslage verknüpft Biologie und Technik	
BERLINER FORSCHER BLICKEN INS ALL	28
Ferne Sterne fordern die Theorie heraus	
EINE TONNE VOLLER ENERGIE	32
Gespräch über neue Speicherkonzepte	
NEUES DENKEN FÜR EIN STADTAUTO	34
Modulares Konzept erhöht die Effizienz	
QUALIFIZIERT AUF MISSION	38
Bauteile für Weltraumbedingungen	
FRISCHES GRÜN AUS DEM EIS	41
Ein Gewächshaus in der Antarktis	
DIE SONNE BESSER EINFANGEN	42
DLR-Ausgründung optimiert Solaranlagen	
AUF DEM MOND ZU HAUSE	46
Interview mit Charles Duke	
EINE VON DIESEN ANDEREN WELTEN	50
Frank Sohl über ein neues DLR-Buch	
UNSER GAGARIN HEISST JÄHN	52
Vor 40 Jahren flog der erste Deutsche ins All	
IN MUSEEN GESEHEN	54
Im Flugvapeurmuseum Linköping	
REZENSIONEN	56

AN DER SCHWELLE ZU EINEM NEUEN LUFTFAHRT-ZEITALTER

Von Professor Rolf Henke

Ende des 19. Jahrhunderts eröffneten die Arbeiten Otto Lilienthals bis hin zu seinen Gleitflügen für die Menschheit eine neue Epoche grenzenloser luftgetragener Mobilität. Das 20. Jahrhundert brachte den Sprung vom Gleitfluggerät zum Motorflugzeug und dann hinein in das Jet-Zeitalter. Heute ist das Fliegen längst in der Breite der Gesellschaft angekommen. Ein Ende der weiter steigenden Nachfrage nach schnellen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen für Passagiere und Fracht ist nicht abzusehen. Diese Dynamik wird flankiert von der steigenden gesellschaftlichen Notwendigkeit, den Luftverkehr umweltverträglicher zu gestalten. Gleichzeitig kommt eine Verschiebung technischer Grenzen in Gang, wie es sie schon lange nicht mehr gab: Flugzeugentwicklung, -produktion und -betrieb werden zunehmend digital. Alternative Antriebskonzepte rücken für den regionalen Flugverkehr in den Bereich des Machbaren. Luftfracht und -logistik stehen an der Schwelle zum unbemannten, hochgradig individuellen Betrieb. Große Firmen und auch Start-ups beschäftigen sich mit Airtaxis für die urbane 3D-Mobilität. Die Luftfahrt nähert sich mit Forschung und Entwicklung einem erneuten Zeiten-Sprung.

Diese komplexen Themen verlangen tiefe Systemkenntnis. In Übereinstimmung mit der Luftfahrtstrategie der Bundesregierung erhebt die Luftfahrtforschung des DLR Systemanspruch. Das heißt, sie deckt im gesamten technologischen Bereich von den Grundlagen bis zur Anwendung alle wesentlichen Aspekte des Lufttransportsystems ab. Mit dieser Systemfähigkeit treibt das DLR als weltweiter Impulsgeber Entwicklungen für die Luftfahrt der Zukunft voran.

Mit Unterstützung von Bund und Ländern wurden 2017 vier neue DLR-Institute für die Digitalisierung der Luftfahrt gegründet. In ihnen werden wir die Potenziale digitaler Technologien für einen sicheren, umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Luftverkehr identifizieren und darauf aufbauend neue Technologien entwickeln. Unser Ziel: das DLR als „Virtual OEM“ mit Forschungsbeiträgen und Impulsen in alle Zulieferer-Bereiche hinein zu positionieren. Die vier neuen Institute werden dabei neben der Forschung in ihren Kerngebieten ihre umfassende Wirkung im Konzert aller DLR-Institute entfalten. Aus dem Verbund wird im Programm Luftfahrtforschung des DLR etwas Großes. Gemeinsam werden wir die „Digitalisierung der Luftfahrt“ vorantreiben. Sie verläuft entlang eines „digitalen Fadens“, von der Entwicklung und Zulassung im Rechner über die digitalisierte Produktion sowie Auslieferung eines „digitalen Zwillings“ mit allen erfassten physikalischen Eigenschaften von Betrieb und Wartung bis schließlich zur simulierten Außerdienststellung eines Flugzeugs.

Viele Einzelaspekte dafür werden von der Industrie kommen. Aber das Entwickeln des digitalen Fadens, die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus vom Entwurf bis zur Außerdienststellung, quasi die Administration des Systems Luftfahrt, beherrscht nur das DLR – dieses Alleinstellungsmerkmal haben wir mindestens europaweit.

Dazu kommen Schwerpunkte und Initiativen des DLR auf den aktuellen Innovationsfeldern: unbemanntes Fliegen und hybrid-elektrisches Fliegen. Beim unbemannten Fliegen forcieren wir die Forschung zur Frage, wie auch größere Lasten technisch und operationell optimal in der Luft versendet, sowie später auch Personen mit unbemannten Fluggeräten transportiert werden können. Forschung für hybrid-elektrisches Fliegen öffnet die Tür, elektrische Antriebe in der regionalen Luftfahrt zu etablieren. Außerdem liegen im Hybridteil neue Entwicklungschancen für Gasturbinen.

Diese vielfältigen Ansätze zum Fliegen der Zukunft greift das DLR auf und präsentiert sich auch in diesem Sinne auf der ILA 2018 in Berlin.



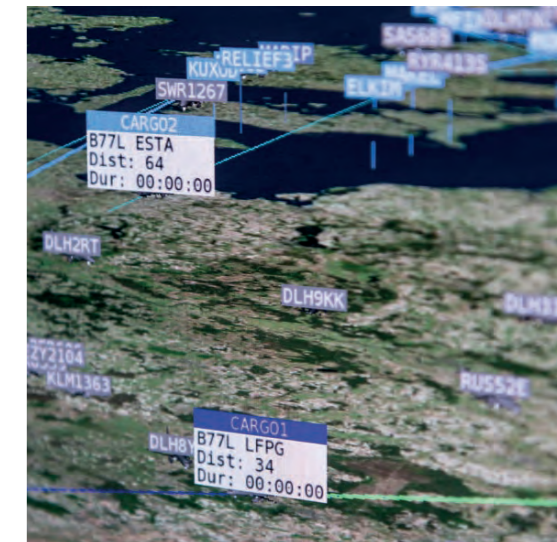
Professor Rolf Henke ist im Vorstand des DLR für die Luftfahrt zuständig

GÜTERTRANSPORT OHNE PILOT

DLR UNTERSUCHTE SZENARIEN FÜR DIE FLUGSICHERUNG

Wie Frachtflugzeuge sicher vom Boden aus gesteuert werden können, ist eine der Fragen, denen das DLR im Projekt UFO (Unmanned Freight Operations) nachgeht. Es befasst sich mit der Integration dieser Flugzeuge in den bestehenden Luftverkehr. Die DLR-Institute für Flugführung, Flugsystemtechnik, Kommunikation und Navigation, Luft- und Raumfahrtmedizin sowie die DLR-Einrichtung Lufttransportsysteme erarbeiteten Lösungsansätze für den von der Flugsicherung kontrollierten Luftraum. So entstanden drei verschiedene Szenarien, für die von den Wissenschaftlern neue Unterstützungssysteme, Verfahren und Technologien für Lotsen und Piloten entwickelt und validiert wurden.

Die drei Szenarien umfassen den Transport von Werksgütern zwischen zwei Fabrikstandorten, den Langstreckenfrachttransport und den Hilfsgütertransport und unterscheiden sich vor allem in der Größe der Maschinen und in den Streckenlängen. Neben den technischen Herausforderungen an Kommunikation, Navigation und Überwachung sowie der Zustandsüberwachung des unbemannten Luftfahrzeugs flossen auch Ideen zur Unterstützung der Bediener und Lotsen ein.



Testumgebung der Bodenkontrollstation

Für das Szenario des Hilfsgütertransports bietet sich als Überwachung ähnlich wie für bemannte Hilfsmissionen eine Separierung des Luftraums durch spezielle Korridore an. Beim Transport von Werksgütern kommt sowohl eine Zertifizierung und Zulassung für eine spezielle Transportaufgabe (EASA SORA SPECIFIC) als auch eine Integration in den konventionellen Luftverkehr in Betracht. Langstreckenfrachttransporte dagegen können nur in den konventionellen Luftverkehr integriert werden. Hier wäre eine sektorlose Führung denkbar, bei der ein Lotse unbemannte Flugzeuge über einen längeren Streckenabschnitt überwacht.

PLÄDOYER FÜR 75 PROZENT WENIGER KOHLENDIOXID

STAFFELWECHSEL BEIM EUROPÄISCHEN FORUM FÜR
LUFTFAHRTFORSCHUNG ACARE

Das Forum für Luftfahrtforschung ACARE (Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe) wird auf der kommenden ACARE-Generalversammlung am Rande der ILA 2018 in Berlin nächste Schritte zur Umsetzung der 2017 aktualisierten Forschungsagenda SRIA (Strategic Research and Innovation Agenda) diskutieren. Dabei wird das elektrisch betriebene Flugzeug eine wichtige Rolle spielen.

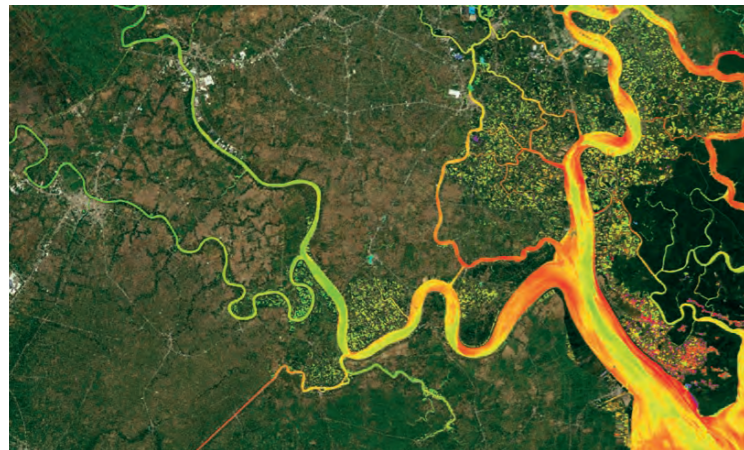
Die im Rahmen von ACARE aktualisierte Forschungsagenda SRIA ebnet den Weg zu ehrgeizigen europäischen Zielen in der Luftfahrt. Unter anderem sollen Lärm- und Kohlendioxid-Ausstoß des Luftverkehrs bis 2050 um 65 Prozent beziehungsweise 75 Prozent unter den Werten des Jahres 2000 liegen. Zugleich wird von einer Leistungssteigerung im europäischen Flugverkehr ausgegangen, mit einem Luftverkehrsmanagementsystem, das 25 Millionen innereuropäische Flüge pro Jahr bewerkstelligt.

Seit dem Jahr 2000 erstellt ACARE als Forum aller großen Luftfahrt-Akteure in Europa Leitlinien für die Luftfahrtforschung, die den Weg zum zukunftsfähigen, sauberen, leisen, komfortablen und sicheren Flugverkehr langfristig vorgeben. Das Forum ging mit einem neuen Vorsitzenden ins Jahr 2018. Turnusgemäß hatte der Vorsitz von DLR-Luftfahrtvorstand Professor Rolf Henke, als Vertreter der Forschung, zu Jean-Brice Dumont, Airbus, als Vertreter der Luftfahrtindustrie gewechselt. Henke unterstützt als stellvertretender Vorsitzender zusammen mit René de Groot, KLM Royal Dutch Airlines, den neuen Vorsitzenden Dumont bei seiner Arbeit.



Jean-Brice Dumont von Airbus und DLR-Luftfahrtvorstand Professor Rolf Henke bei der Amtsübergabe des ACARE-Vorsitzes an den Industrievertreter

DLR-AUSGRÜNDUNG EOMAP VERÖFFENTLICHT ONLINE-WASSERATLAS



Wassertrübung im Mekong-Delta in einer Teil-Ansicht des World Water Quality Portals

Für Kartenprodukte zu Küsten- und Binnengewässern aus hochaufgelösten Fernerkundungsdaten hat die DLR-Ausgründung EOMAP das Portal für die Internationale Initiative zur Wasserqualität (IIWQ) des „International Hydrological Programme“ (IHP) der UNESCO entwickelt und veröffentlicht. Gewässerexperten können damit per Klick weltweite Messdaten abfragen sowie Zeitreihen und Gewässerberichte erstellen. Die satellitengestützten Daten liefern Informationen zu Binnengewässern, Flüssen und Seen von bis zu einem Hektar Größe. Parameter wie Trübung, Chlorophyll-Gehalt, Wassertemperatur und Cyanobakterien-Indikatoren geben Aufschluss über die Wasserqualität.

„Mit dem frei nutzbaren Online-Portal stehen politischen Institutionen, Umweltbehörden, der Gewässerindustrie sowie universitären Einrichtungen erstmals weltweit flächendeckende Wasserqualitätsinformationen zur Verfügung“, sagte Dr. Walther Pelzer, Vorstand

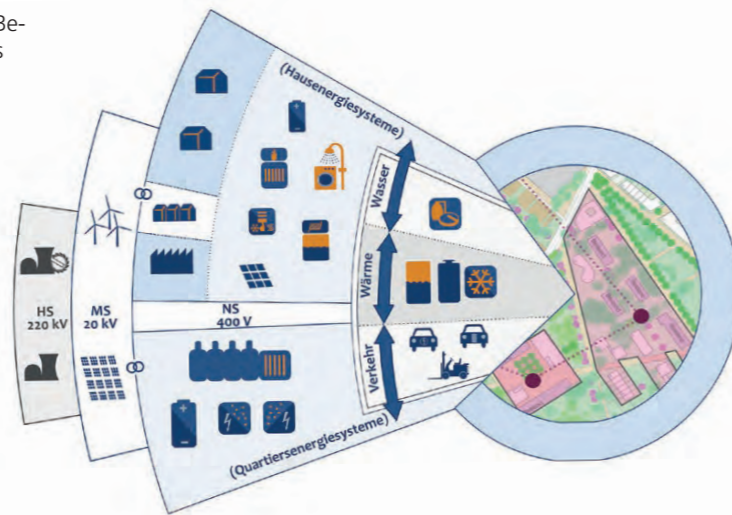
für das DLR Raumfahrtmanagement. Pelzer hat zum Jahresbeginn die Leitung des DLR Raumfahrtmanagements von Dr. Gerd Gruppe übernommen, der am 31. Dezember 2017 in den Ruhestand gegangen ist. Beispielhaft zeige das neue Portal, so Pelzer, welchen Beitrag die Raumfahrt – in diesem Fall die Erdbeobachtung – zur Lösung der großen gesellschaftlichen Herausforderungen leisten kann.

Das Online-Portal unterstützt durch den einfachen und ortsunabhängigen Zugriff auch Schwellenländer beim Aufbau von Kapazitäten und Kompetenzen technischer und administrativer Infrastruktur. Das trägt zu nachhaltigem Wasserressourcen-Management und der Erreichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG) bei. Angesichts unzureichender Daten zur Wasserqualität ist das Portal ein wertvolles Tool, um solche Informationen insbesondere aus abgelegenen Gebieten und Entwicklungsregionen wie Afrika, Asien, Lateinamerika und Inselentwicklungsländern zu erhalten.

s.DLR.de/nqhp

KLIMANEUTRALES WOHNQUARTIER FÜR OLDENBURG

Ein klimaneutrales Quartier mit circa 110 Wohneinheiten aus Bestandsgebäuden und Neubauten entsteht in Oldenburg, wo das DLR seit 2017 einen neuen Standort hat. Das dortige DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme konzipiert mit 20 Partnern aus Industrie und Forschung das Energetische Nachbarschaftsquartier (ENaQ) auf einer Teilfläche des ehemaligen Fliegerhorst-Geländes. In dem Projekt soll geklärt werden, wie die lokale Energiegemeinschaft eines Nachbarschaftsquartiers sozial und wirtschaftlich geplant werden muss, um für Anwohner, Energieerzeuger und Dienstleister langfristig attraktiv und betriebswirtschaftlich tragbar zu sein. Dafür wird das Areal als „lebendes“, auf Teilhabe ausgelegtes Labor für Smart-City-Technologien genutzt. Der Energiebedarf des Quartiers soll im Wesentlichen aus lokal erzeugter Energie gedeckt werden. Entwickelt wird ein öffentliches Versorgungsnetz, welches eine Kopplung von Strom, Wärme/Kälte und Mobilität unterstützt und den „Energietausch“ unter den Nachbarn fördert.



DLR-Wissenschaftler entwickeln das Gesamtenergiekonzept. Dafür stehen ihnen Simulationsmodelle und speziell ausgestattete Labore zur Verfügung, die alle Komponenten eines Smart Grids abbilden können, also zum Beispiel Solaranlagen inklusive PV-Wechselrichtern, Batteriesysteme als Heimenergiespeicher oder Batteriesysteme von Elektrofahrzeugen. Damit werden das Quartier und seine Wechselwirkung mit dem übergeordneten Versorgungsnetz in der digitalen Simulation nachgebildet. Anschließend wird dieses Modell in das DLR-Energielabor transferiert, das die gesamte vernetzte Energie-Infrastruktur digital abbildet und Parameter wie Wetterdaten, Benutzerverhalten, Stromnetzauslastung oder Verkehrszustände berücksichtigt. Das Vorhaben ist eines von sechs Leuchtturmprojekten zum Thema Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt, für die der Bund bis 2023 bis zu 100 Millionen Euro bereitstellt. 18 Millionen Euro fließen in das Oldenburger Projekt, weitere 8,4 Millionen Euro steuern Industriepartner bei.

s.DLR.de/v0y3

AUTOMATISIERTES UND VERNETZTES FAHREN IM GÜTERVERKEHR



Automatisiertes und vernetztes Fahren bedeuten auch für die Logistikbranche gravierende Veränderungen. Im Projekt ATLaS (Automatisiertes und vernetztes Fahren in der Logistik – Chancen für mehr Wertschöpfung) untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR und der TU Hamburg-Harburg (TUHH), wie das für den Güterverkehr aussieht. DLR-Projekt

effileiter Dr.-Ing. Stephan Müller geht davon aus, dass die Logistikunternehmen neue Technologien nur dann einsetzen werden, wenn sie damit Kosten einsparen, die Effizienz von Prozessen erhöhen und neue Logistik-Geschäftsmodelle generieren können. Ein Beispiel ist das sogenannte Platooning, bei dem mehrere Lastkraftwagen elektronisch gekoppelt werden. Schon unter heutigen technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen könnten Fahrer ihre Aufgabe größtenteils an die Automatisierungstechnik übergeben und andere Aufgaben erfüllen oder Ruhezeit nehmen.

Auch die Auswirkungen von Neuerungen auf den innerstädtischen Verkehr und die Luftqualität sind Gegenstand der Arbeiten. Damit schafft das Projekt eine breite Informationsbasis, um die richtigen Rahmenbedingungen für den Güterverkehr der Zukunft zu setzen.

ATLaS wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert.

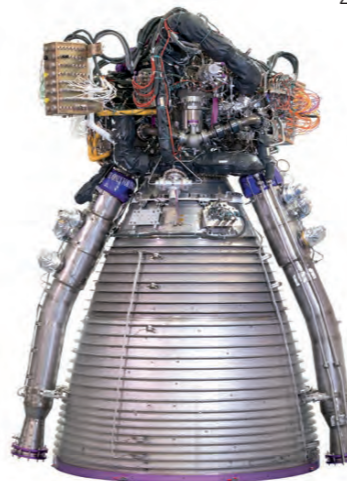
s.DLR.de/p938

ZÜNDUNG FÜR EUROPAS STÄRKSTES RAKETENTRIEBWERK VULCAIN 2.1

Effizienter bei geringeren Kosten soll das Raketentriebwerk Vulcain 2.1 im Jahr 2020 die neue europäische Trägerrakete Ariane 6 ins All befördern. Im Januar 2018 stellten die DLR-Ingenieure das von der ArianeGroup entwickelte Triebwerk im Prüfstand P 5 in Lampoldshausen erstmals auf die Probe. Die Testkampagne umfasst zwölf Versuche. Denn vor dem Start muss ein Entwicklungstriebwerk unter Beweis stellen, dass es seiner enormen Schubkraft von 130 Tonnen gewachsen ist, rund 3.000 Grad Celsius in seiner Brennkammer aushält und den hohen Drehzahlen seiner Turbopumpen und gewaltigen Drücken in seinen Treibstoffleitungen standhält. Der Gasgenerator für das weiterentwickelte Triebwerk wurde im 3D-Druck gefertigt.

Zudem hat das Triebwerk eine neu konstruierte vereinfachte Düse und die Zündung der Brennkammer erfolgt mit einem Bodensystem. Vulcain 2.1 trägt entscheidend dazu bei, die Ariane 6 zukünftig in den ersten zehn Flugminuten auf eine Höhe von 150 Kilometern zu befördern. Je nach Konfiguration soll die Ariane 6 bis zu elf Tonnen Nutzlast in den Weltraum transportieren und dabei die Kosten für den Start im Vergleich zur Ariane 5 halbieren.

Bild: ArianeGroup/DLR



s.DLR.de/22k5

REGIONALMELDUNGEN

OBERPFAFFENHOFEN: Die Laser-Terminals von Mynaric, einer DLR-Ausgründung, wurden in die Space Technology Hall of Fame, eine Auszeichnung der US Space Foundation, aufgenommen. Mynaric verfügt seit 2011 über eine Lizenz zur Kommerzialisierung der am DLR erforschten Technologie für ein „Internet über den Wolken“. Mynaric entwickelt Produkte für den Aufbau von Datenautobahnen zwischen Flugzeugen, Plattformen in der Stratosphäre oder auch Satelliten. Per Laserlicht werden damit große Datenmengen über enorme Entfernungen verlustfrei und sicher übertragen.

STUTT GART: Das Förderprogramm Helmholtz Enterprise unterstützt zwei Ausgründungsprojekte des DLR Stuttgart. Themen der Gründungsprojekte sind einerseits ein neues Verfahren zur maßgeschneiderten Herstellung von Nanomaterialien und andererseits eine Software, die Szenarien für den Fahrzeugmarkt der Zukunft errechnet.

BERLIN: Zukunftsszenarien für ein automatisiertes Verkehrssystem in Deutschland werden in einem am DLR Berlin gestarteten Projekt untersucht. Da die Forschung zur Automatisierung derzeit nur Teilbereiche des Verkehrs abdeckt, nehmen die Forscher das gesamte Verkehrssystem sowie die Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt unter die Lupe. Dazu führen sie Befragungen und Diskussionsrunden durch und erstellen Modelle zur Quantifizierung von Verkehrsnachfrage und Verkehrsflüssen.

GÖTTINGEN: Die Auswahlrunde zur Internationalen Physik-Olympiade fand im DLR Göttingen statt. Schüler aus Leipzig und Dresden belegten die vorderen Plätze. Sechs Mädchen und 44 Jungen im Alter von 15 bis 18 Jahren hatten sich unter bundesweit 930 Kandidaten für die Auswahlrunde qualifiziert. Die 15 Erstplatzierten treten im Mai noch einmal gegeneinander an, um die fünf Besten zu ermitteln, die Deutschland im Juli 2018 auf der 49. Internationalen Physik-Olympiade in Lissabon vertreten werden.

BRAUNSCHWEIG: Die COPRO Technology GmbH vereinfacht künftig Herstellungsverfahren für Faserverbundbauteile. Das DLR übergab entsprechende Lizenzen und beteiligt sich an der Ausgründung. Die spezielle Rollformtechnologie für Faserverbundbauteile ermöglicht es, komplexe dreidimensionale Profilgeometrien effizient und kostensparend herzustellen, was dem Leichtbau im Flug- und Fahrzeugbau zugutekommt.

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

SCHNÜFFELN IM ABGASSTRAHL

Die Szenerie ist amerikanisch. Feuerwehrautos und Krankenwagen mit US-Kennzeichen und den typischen Sirenen-Geräuschen fahren die Straßen entlang, die von einheitlichen gelb-braunen Flachbauten gesäumt sind. Kaum etwas zeigt hier auf der Ramstein Air Base, dass man sich im deutschen Rheinland-Pfalz befindet, außer vereinzelt deutschen Autos, Taxis und einem Flieger auf dem Vorfeld: dem Airbus A320 ATRA des DLR. Daneben steht das NASA-Forschungsflugzeug DC-8, ein „Fliegendes Labor“, wie es die NASA-Wissenschaftler achtungsvoll nennen. Erstmals ist dieses besondere Flugzeug zu Messflügen nach Deutschland gekommen. Die NATO-Basis in Ramstein ist wie geschaffen für die gemeinsame Mission.



DLR und NASA fliegen erstmals gemeinsam in Deutschland, um die Wirkung von Biotreibstoffen auf Emissionen und Kondensstreifen zu erforschen

Von Falk Dambowsky

In Ramstein haben die Forscher alles, was sie brauchen: einen großen Hangar, in dem die DC-8 untergestellt werden kann, Flächen, um die Bodentests im Standlauf des ATRA durchzuführen, und ebenso Platz, um die Tanks mit den eigens für die Mission hergestellten Treibstoffgemischen unterzubringen.

Gleich neben dem Hangar hat sich die Crew von DLR und NASA in einem Konferenzraum eingerichtet, in dem die Messflüge vorbereitet werden und wo man sich ganz unkompliziert vom Arbeitsplatz aus abstimmt. Die wichtigste Besprechung am Morgen eines Forschungsflugtages ist das Crew-Briefing. Hier gehen die Wissenschaftler von DLR und NASA zusammen mit den Teams der DC-8 und des A320 ATRA die Planung durch, sie stimmen sich ab, wie sie die gemeinsame Flugmission angehen. Das Wichtigste dabei ist das Wetter, genauer die Feuchte der Atmosphäre in Flughöhe. Denn die Wissenschaftler sind auf der Jagd nach Kondensstreifen. Der A320 ATRA des DLR fliegt dafür voraus und die mit zahlreichen Messgeräten für Eiskristall-, Ruß-, und Abgasanalyse bestückte DC-8 fliegt in einigen Kilometern hinterher, um in der Abgasfahne zu „schnüffeln“. Damit neben den Abgasen auch Kondensstreifen analysiert werden können, die sich durch die Kondensation feuchter Luft an den Rußpartikeln bilden, müssen die Temperaturen ausreichend niedrig und die Feuchte in der



Bild: DLR/NASA/ritz

Auf dem Weg in den Abgasstrahl: die DC-8 der NASA (links) hinter dem A320 ATRA des DLR



Im Rumpf der DC-8 der NASA zu erkennen: Lufteinlässe für die Abgasmessungen

Atmosphäre ausreichend hoch sein. Dafür nutzen die Wissenschaftler bei der Planung spezielle Vorhersagen zur Bildung von Kondensstreifen über Deutschland und entscheiden dann, in welcher Region günstige Bedingungen für die Messflüge vorliegen.

Das fliegende Labor ist gerüstet für die Spurenstoffanalyse

Für den 19. Januar 2018, 11 Uhr, ist nun der Start anvisiert und es geht in einen besonderen, eigens für den Flugtest reservierten und für den übrigen Verkehr gesperrten Luftraum über Mecklenburg-Vorpommern. Der A320 ATRA und die DC-8 stehen in der Morgendämmerung seitlich außerhalb des Hangars nebeneinander und die Crews in ihren gelben Warnwesten können direkt über das Vorfeld zu den Flugzeugen gehen. Die DC-8 ist mit ihrem Baujahr 1968 eine echte Rarität und mit vier Triebwerken auch etwas größer als der zweistrahlige A320 ATRA. An Bord der DC-8 gibt es breite Sitze und

Gepäckfächer über den Sitzen. Aber das ist schon alles, was an eine klassische Passagiermaschine erinnert. Überall verlaufen Leitungen und Rohre, kleine, große, dicke, dünne, weiße, rote und blaue. In das fliegende Labor wird über verschiedene Einlässe Außenluft geleitet, die dann quer und längs durch das Flugzeug in die Messgeräte geführt wird, die in schulterhohen Metallgestellen montiert sind.

Vor dem Flug herrscht reges Treiben. Die Messstationen müssen überprüft und hochgefahren werden. Hier wird ein Messgerät mit Stickstoff gespült, dort wird eine der zahlreichen Leitungen neu befestigt beziehungsweise abgedichtet. „Wir wollen kleinste Konzentrationen von Spurenstoffen analysieren“, sagt Dr. Hans Schlager, DLR-Leiter der Flugkampagne, während er den Computer einer Messstation hochfährt. „Da darf es keine undichten Stellen in den Zuleitungen geben, die unsere Daten verfälschen würden.“ Präzision, Ausdauer und Erfahrung sind dabei gefragt.

Vor der Atlantiküberquerung installierten Wissenschaftler von DLR und NASA in der 42 Meter langen Kabine und außen am Rumpf der DC-8 insgesamt 20 Messinstrumente. An der rechten Tragflächen Spitze hängt ein goldfarbendes Wolkenspektrometer, das fünf komplexe Instrumente in einem beherbergt: drei Laser-Partikel-Spektrometer, die Anzahl und Größe der Eiskristalle in Kondensstreifen vermessen. Gasförmige Emissionen misst unter anderem ein Ionenfallen-Massenspektrometer. Und ein Laser zielt aus einem Kabinenfenster auf die Tragflächenspitze, um den Wasserdampf im Umfeld der Kondensstreifen und Eiswolken zu messen.

Dr. Hans Schlager vom DLR und Dr. Bruce Anderson von der NASA wollen mit ihren Kollegen gemeinsam herausfinden, wie sich alternative Treibstoffe auf die Emissionen und Kondensstreifen von Flugzeugen auswirken. Dafür bekommen sie in der Kampagne mit dem etwas sperrigen Namen ND-MAX/ECLIF II (NASA/DLR-Multidisciplinary Airborne eXperiments/Emission and CLimate Impact of alternative Fuel) von Dr. Patrick Le Clercq beispielhaft den Biotreibstoff HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) auf Basis des Öls der Leindotterpflanze in von ihm speziell designten Mischungen mit herkömmlichem Kerosin zur Verfügung gestellt. Bei vorangegangenen Kampagnen zeigte sich bereits, dass eine Biotreibstoffbeimischung von 50 Prozent die Rußemissionen um 40 bis 60 Prozent reduziert. Nun wollen die Forscher beweisen, dass damit gleichermaßen die Anzahl der Eiskristalle in Kondensstreifen abnimmt und so auch die wärmerde Klimawirkung der langlebigen Kondensstreifen geringer ausfällt.

Rückblick: Der Spezial-Treibstoff ließ auf sich warten

Kurz vor Weihnachten 2017 hatten die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Verbrennungstechnik dafür noch mit Hochdruck an der Logistik für die Flugversuche Mitte Januar gearbeitet. „Wir benötigen für die Mission speziell gemischte Treibstoffe, die extra für uns angefertigt werden“, sagt Projektleiter Dr. Patrick Le Clercq, der nach der Bestellung bei BP Europa (Hamburg) selbst überwacht hatte, dass bei der Treibstoffmischung alles bis auf die Stelle hinter dem Komma genau stimmte. „Bei den ND-MAX/ECLIF II-Flugversuchen verwenden wir erstmals eine 30/70-Mischung von Biotreibstoff und klassischem Kerosin“, erklärt Le Clercq weiter. „Wir haben dieses spezielle Fuel-Design entworfen auf Grundlage unserer Flugversuche 2015 im Projekt ECLIF I mit dem DLR-ATRA und dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon. Die Ergebnisse von damals legen nahe, dass eine gezielt designte 30-prozentige Mischung bereits solch positive Effekte auf die Rußreduzierung haben könnte, dass die teurere 50-prozentige Mischung vielleicht gar nicht notwendig ist.“ Diese beiden Mischungen lassen die Wissenschaftler nun im Flugtest gegeneinander antreten.

Bevor es so weit war, baute sich vor den Stuttgarter Verbrennungstechnikern eine ganz andere Herausforderung auf. Die Firma, die die Treibstoffe zur Verfügung stellt, konnte diese nicht auf die Ramstein Air Base liefern. Es schien sich nun zu rächen, dass aufgrund mangelnder Lagerkapazitäten der Mischvorgang und die Lieferungen erst



In der Kabine der DC-8: Gut zu sehen sind die Schläuche, in denen die Außenluft in die zahlreichen Instrumenten-Racks geführt wird. Rund die Hälfte der Instrumente an Bord stammt vom DLR.



Am Missionskontrollstand in der DC-8 der NASA



An der Seite des „Fliegenden Labors“ DC-8: Lufteinlässe und Messinstrumente



Sonden zur Messung der Größe, Anzahl und Form von Eiskristallen in Kondensstreifen



Aus einem der sieben Treibstoffcontainer wird der zu untersuchende Kraftstoff in den Tankwagen gepumpt



Das DLR-Forschungsflugzeug wird mit einem der Treibstoffgemische befüllt

kurz vor Start des Projekts erfolgten. Doch Le Clercq und sein Team hatten eine Idee: Sie versuchten zunächst eine auf den Treibstofftransport spezialisierte Firma separat zu beauftragen. Doch schon bei der ersten Nachfrage winkten die Ansprechpartner dort ab. „Bis Mitte Februar sind wir ausgebucht und haben keine Transportkapazitäten.“ Zu spät für das Projekt. Es folgten weitere Anfragen, bis kurz vor Weihnachten überall die gleiche negative Antwort. Im Team hatte sich damals Nervosität breitgemacht: Sollte die ganze Mission an der Anlieferung der Treibstoffe scheitern?

Dr. Patrick Le Clercq und sein Kollege Dr. Uwe Bauder starteten einen letzten Versuch. Mit der Kördel GmbH und einem Unternehmen der Hoyer Group klappte es dann: Die nach DLR-Vorgaben extra angefertigten Treibstoffgemische standen in der ersten Januarwoche verteilt auf sieben Tankcontainer und zwei Tankwagen rechtzeitig in Ramstein: Drei Container und ein Tankwagen mit klassischem Kerosin Jet A-1-Gemisch als Referenz, zwei Container und ein Tankwagen mit einer 30/70-Mischung und zwei Container mit einer 50/50-Mischung. Die sorgfältigen Berechnungen von Dr. Patrick Le Clercq während des Treibstoffdesigns und die Kontrolle während des Mischvorgangs machten sich nun

bezahlt, denn beide Mischungen wurden von einem speziellen Labor als Luftfahrtkraftstoff zugelassen. Damit war die Sicherheit für jede Variante gewährleistet, die heute in den Tanks des A320 ATRA steckt.

Take-off zur Verfolgungsjagd im Dienste der Forschung

Vor dem Start leuchtet für alle Crew-Mitglieder der DC-8 das „Bitte anschnallen“-Zeichen auf, übrigens auch in Deutsch – „weil die Maschine früher einmal im Liniendienst für die italienische Alitalia flog, die auch deutsche Passagiere beförderte“, verrät einer der alten Hasen aus der DC-8 Stamm-Crew mit einem Lächeln.

Beim Blick durch das Fenster sieht man bereits den A320 ATRA losrollen. Dort ist nur eine kleine Crew an Bord – und die besondere Treibstoffmischung. Auch die DC-8 setzt sich in Bewegung und folgt dem ATRA. Schon beim Rollen kommt die Durchsage durch die angenehm lärmindernden Kopfhörer an jedem Sitzplatz, dass auch beim späteren Eintauchen in die Kondensstreifen Wissenschaftler und Crew angeschnallt sitzen bleiben müssen.

Auf der Start- und Landebahn der Ramstein Air Base herrscht reger Betrieb. Eine Frachtmaschine der US Air Force ist noch im Anflug, die Forschungsfieger müssen warten. „C130 just landed, now we can start“, ist über die Kopfhörer zu vernehmen, dann rollt der ATRA auf die Bahn, danach die DC-8: Take-off Richtung Norddeutschland! Rund 40 Minuten dauert der Transfer quer über Deutschland hinweg von Rheinland-Pfalz nach Mecklenburg-Vorpommern. Dort erreichen sie den zeitweise gesperrten Luftraum, fachmännisch TRA genannt (Temporary Reserved Airspace). Er reicht vom nördlichen Brandenburg bis hinauf zur Insel Rügen.

Dort angelangt beginnt die Verfolgungsjagd im Dienste der Forschung. Es ist ein spektakuläres Manöver. Beim Blick links aus dem Kabinenfenster der DC-8 erscheint auf einmal der A320 ATRA. DLR-Pilot Stefan Seydel hält Kurs und Geschwindigkeit, damit NASA-Pilot Wayne Ringelberg mit der DC-8 behutsam aufschließen kann. Auf gleicher Höhe verweilen beide Jets kurze Zeit als Duett am Himmel. „Dieses Manöver dient dazu, die Höhenmesser in beiden Cockpits abzugleichen“, erklärt DLR-Co-Missionsleiter Dr. Hans Schlager beim Blick aus dem Fenster. Langsam entfernen sich ATRA und DC-8 immer weiter, bis der ATRA dem Blick durch das Kabinenfenster wieder nach vorne entschwindet.

Die Flüge lassen sich am Boden gut auf dem Handy verfolgen. Auf der Internet-Plattform Flightradar24.com ist zu sehen, wie beide Flieger ihre erste 180-Grad-Wendung vollziehen und sich in rund sechs Kilometer Abstand hintereinander reihen. Wieder erscheint „Bitte anschnallen“, auf der Anzeige. Über die Kopfhörer hört man: „Let’s go into the contrail!“ Ein sanftes Ruckeln kündigt an, dass die DC-8 erstmals in die Wirbelschleppe mit Kondensstreifen des vorausfliegenden ATRA eintaucht. Immer wieder wird das Flugzeug von einem Schütteln erfasst, während über Kopfhörer und Mikrofon Wissenschaftler und Missionsleitung an Bord sprechen:

„WE’RE STILL A LITTLE BIT TOO HIGH.“

„DO YOU GET A CO₂ SIGNAL FROM THE EXHAUST?“

„WE’RE COMING INTO THE ATRA WAKE. WE DETECT ICE PARTICLES HERE.“

„OH, THIS IS A LOW-SOOT FUEL.“





Wichtiger Bestandteil der Forschungskampagne: Messungen der Abgase am Boden



Kontrollstand für die Messungen auf dem Vorfeld des Flughafens Ramstein

Bild: DLR/bjrg Adam



Über einen Lufterlass und ein Schlauchsystem werden die Abgase zu den Messinstrumenten geleitet



Im Standlauf: Während der Bodenmessungen sieht man in hellem Blau-Grau einen Abluftwirbel, der aus dem Triebwerk des A320 ATRA „herausfällt“.

Bild: DLR/bjrg Adam

Die Forscher sehen auf ihren Messgeräten recht schnell, dass die Emissionen bei einem Kraftstoff mit Biotreibstoffbeimischung deutlich weniger Ruß enthalten, was sich bereits im Jahr 2014 bei den ersten Flügen mit der NASA in Kalifornien zeigte. Dr. Hans Schlager schaut gespannt auf die Instrumente vor ihm: „Wir haben vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen Geräte zur simultanen Vermessung der Größenverteilung der Ruß- und Eispartikel sowie der gasförmigen Emissionen im Nachlauf des ATRA an Bord der DC-8 installiert“, erklärt er und nicht ganz ohne Stolz fügt er hinzu: „Wenn man hier durch die Kabine der DC-8 schaut, ist rund die Hälfte der Messgeräte vom DLR, neben denen der NASA und von anderen Partnern wie dem Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz.“

Weniger Ruß – weniger Eiskristalle – geringere Erwärmung?

Besonders interessieren sich die Forscherinnen und Forscher für die kleinen Eiskristalle, die durch Kondensation bei ausreichend feuchter Luft an den Rußpartikeln entstehen und die sichtbaren Kondensstreifen bilden. „Wir wollen verstehen, wie sich die geringere Anzahl von Rußpartikeln bei alternativen Treibstoffen auf die Größe, Anzahl und Rückstrahleigenschaften der Eispartikel in Kondensstreifen auswirkt“, erläutert NASA-Projektleiter Dr. Bruce Anderson, während er seinem deutschen Kollegen Dr. Hans Schlager einige Kurvenverläufe der letzten Messdaten zeigt. Die Wissenschaftler vermuten, dass weniger Rußpartikel auch zu weniger Eiskristallen in Kondensstreifen führen,

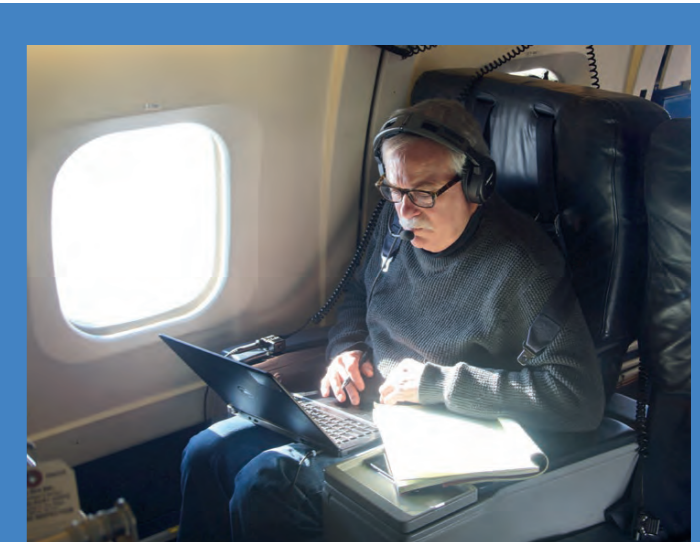
was ihre im Durchschnitt klimawärmende Wirkung reduzieren würde. Die Kondensstreifen können in Höhen von etwa acht bis zwölf Kilometern bei feuchtkalten Bedingungen mehrere Stunden bestehen und hohe Wolken, sogenannte Kondensstreifen-Zirren, bilden. „Diese Wolken können je nach Sonnenstand und Untergrund lokal eine wärmende oder kühlende Wirkung haben“, sagt Hans Schlager. „Die Kenntnis darüber ist für die Beurteilung der Klimawirkung der Luftfahrt essenziell. Die bisherigen Forschungsarbeiten legen nahe, dass global die wärmende Wirkung überwiegt.“

Wie Hans Schlager sitzen die anderen Forscher konzentriert vor ihren Messgeräten. Runde um Runde fliegen der ATRA und die DC-8 über Mecklenburg-Vorpommern und später auch in einem weiteren zeitweise gesperrten Luftraum über Niedersachsen und Schleswig-Holstein zwischen Oldenburg und Kiel. Dabei zeichnet eine Runde eher eine langgestreckte Null auf dem Bildschirm, bei der ein gerader Messabschnitt von einer 180-Grad-Kurve beendet wird, bevor die nächste gerade Strecke und dann die nächste 180-Grad-Kurve folgt. Mehr als zehn solcher gemeinsamen Runden von DC-8 und A320 ATRA lassen sich heute auf Flightradar24.com verfolgen, bevor NASA-Pilot Wayne Ringelberg und DLR-Pilot Stefan Seydel zum Rückflug übergehen. Endlich kann die ganze Crew an Bord wieder aufstehen. Schließlich landen beide Maschinen auf der Ramstein Air Base. Es folgen nach dem rund sechseinhalbstündigen Flug noch Bodenmessungen auf der Rollbahn, bei denen sich ATRA und DC-8 abermals hintereinander platzieren. Danach führt ein FollowMe die Maschinen auf ihre Parkpositionen.

Und immer wieder: Tank leeren, Tank neu befüllen

Nach der Landung des A320 ATRA des DLR rollt direkt der Tankwagen an. Am folgenden Morgen sollen vor den nächsten Flugversuchen noch Bodenmessungen an einer fest installierten Anlage stattfinden. Die Bodenmessungen sind ein wichtiger Bestandteil der Forschungskampagne, um unter ebenfalls standardisierten Bedingungen Daten zu ermitteln. Neben acht Forschungsflügen finden zehn Bodenmessungen statt. DLR-Flight-Operations-Manager André Krajewski muss nun sorgfältig mit den verschiedenen Treibstoffen umgehen. „Morgen soll die 30-Prozent-Biotreibstoff/70-Prozent-Kerosin-Mischung geflogen werden“, erklärt Krajewski, während er den Tankschlauch unterhalb der Tragfläche des A320 ATRA arretiert. „Das heißt jetzt zunächst einmal, sämtliche Reste der heute geflogenen 50/50-Mischung aus den Tanks zu saugen, um dann morgen früh die Tanks mit der nächsten Mischung zu befüllen.“ Der eigens für die Flugversuche angefertigte Treibstoff ist kostbar und so werden die Reste auch zurück in die entsprechenden Tanklager gefüllt.

Die Piloten, Crews und Wissenschaftler haben derweil ihr De-Briefing nach dem Flug abgeschlossen und begeben sich mit dem reichen Datenschatz des Tages ins nahegelegene Hotel Ramstein Inn direkt auf der Basis, wo der Tag auch ganz amerikanisch mit einem Diner im integrierten amerikanischen Einkaufszentrum ausklingt. In den nächsten Tagen folgen noch weitere Flugversuche über Norddeutschland. In der zweiten Jahreshälfte 2018 sollen erste Ergebnisse vorliegen. Dann weiß man mehr darüber, wie sich die geringeren Rußemissionen speziell designter alternativer Treibstoffe auf die Eigenschaften von Kondensstreifen auswirken.



NASA-Projektleiter Dr. Bruce Anderson überwacht den Fortschritt der Messungen an Bord der DC-8



Dr. Bruce Anderson während eines Messfluges im Gespräch mit dem leitenden DLR-Wissenschaftler Dr. Hans Schlager vom Institut für Physik der Atmosphäre



Projektleiter Dr. Patrick Le Clercq vom DLR-Institut für Verbrennungstechnik informiert die Presse über die Spezifik der Biotreibstoffe

Bild: DLR/NASA/Fritz



Bild: DLR/NASA/Fritz

REALE FLUGZEUGE UND VIRTUELLE ZWILLINGE

Noch bevor überhaupt eine Schraube gefertigt wurde, wissen Ingenieure und Wissenschaftler anhand von Computermodellen künftig, wie ein neues Flugzeug aussieht, welche Eigenschaften es hat und wie es am günstigsten produziert und gewartet wird. Das alles kann in naher Zukunft mittels digitaler Techniken auf Hochleistungsrechnern realisiert werden. Damit das Wirklichkeit wird, ist jedoch noch viel Forschung nötig. Deshalb hat das DLR 2017 mit der Unterstützung von Bund und Ländern vier neue Institute gegründet. In ihnen soll im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms des DLR und in Abstimmung mit der Industrie und dem Bundeswirtschaftsministerium die theoretische und praktische Basis für die durchgehende Digitalisierung in der Luftfahrt geschaffen werden. Hierbei profitiert das DLR vor allem auch von den Synergien, die aus der programmatischen Verknüpfung der neuen Fähigkeiten mit denen der bereits existierenden und weltweit etablierten DLR-Institute entstehen.

```
00100010000011000111000010000111101001100001011
11010001100110011100010001011000100100100111011
01100100100111110110000001000000101101010011110
```

Eine Betrachtung zur Digitalisierung in der Luftfahrt

Von Olaf Göring

Die Forscher und Ingenieure des DLR fangen in Sachen Luftfahrt digitalisierung nicht bei null an. Bereits vor 20 Jahren wurden Softwarepakete realisiert, die der Strömungssimulation an Flugzeugen dienen (MEGAFLOW VII). Sie waren damals ein gewaltiger Schritt in Richtung eines computergestützten Designs und einer rechnerbasierten Konstruktion von Flugzeugen. Im Laufe der Jahre kamen weitere, komplexere Softwarelösungen dazu. So setzt das DLR schon seit Langem Simulatoren (zum Beispiel AVES) sowie verschiedene Windkanäle und Forschungsflugzeuge (zum Beispiel ATRA) als Validierungsplattformen ein, die in einzigartiger Weise zusammenwirken, und es hat zudem schrittweise neue Großrechner für Strömungssimulationen installiert (C²A²S²E HPC Cluster). Das reicht aber heute nicht mehr aus. Hauptziel des übergeordneten Themas der „Digitalisierung der Luftfahrt“ ist es, das Gesamtsystem entlang eines „digitalen Fadens“ zu virtualisieren: von der Entwicklung und Zulassung im Rechner über die digitalisierte Produktion sowie die Auslieferung eines „digitalen Zwillings“ mit allen erfassten physikalischen Eigenschaften über den virtuellen Betrieb und die Wartung bis hin zur simulierten Außerdienststellung eines Flugzeugs.

Die Digitalisierung fasst Fuß

Die Digitalisierung eröffnet insbesondere der Luftfahrt mit ihren langen Entwicklungszeiten und aufwändigen Zulassungsverfahren eine neue Perspektive. Der Einsatz komplexer Softwaremodelle in der Flugzeugentwicklung bestätigt das. Doch bis der gesamte Lebenszyklus eines Flugzeugs erfasst ist, haben die Forscher und Entwickler im gesamten DLR noch viele Aufgaben zu lösen, für die ein hohes Verständnis für das System Luftfahrt nötig ist.



Der Erstflug im Rechner ist eines der großen Ziele der Digitalisierung in der Luftfahrt



Auf dem Weg zur digitalen Flugzeugproduktion

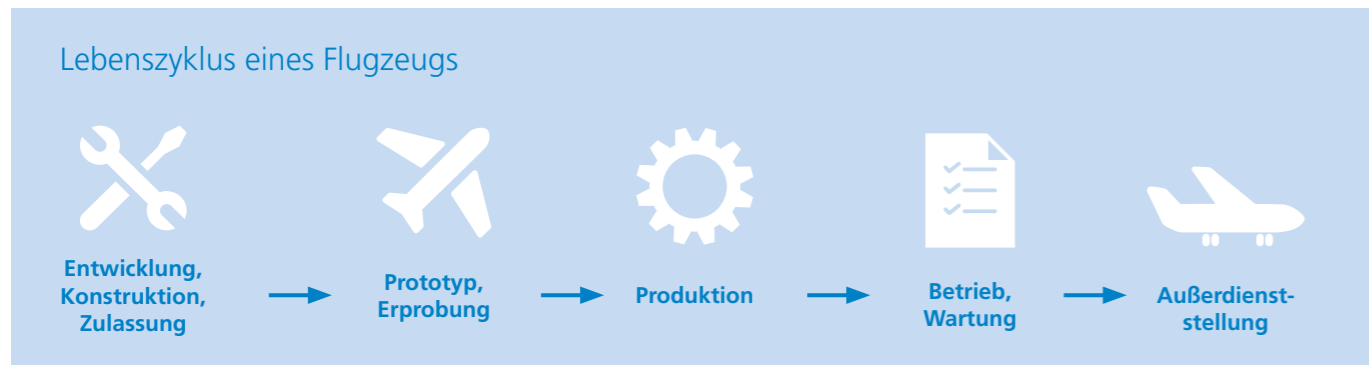
Inzwischen haben auch in der Industrie die ersten Arbeitsräume mit dreidimensionaler virtueller Darstellung Einzug gehalten. Besonders weit gediehen ist der Einsatz virtueller Modelle in der Triebwerkentwicklung. So hat Rolls-Royce in Dahlewitz bei Berlin für die Entwicklung seiner kompletten Triebwerke eine solche Umgebung geschaffen. Einen anderen Weg zwischen realem Testgerät und virtuellem Test hat Siemens eingeschlagen. An seinem Forschungsstandort München-Neuperlach werden zusammen mit Airbus Elektromotoren für künftige elektrisch angetriebene Flugzeuge untersucht. Hier lassen sich für die Erprobung von realen Versuchsmustern mit einer Flugsoftware per Maus, ähnlich wie aus Computerspielen bekannt, Flüge simulieren und die Belastungen während verschiedener Flugphasen auf den Versuchsmotor übertragen. Der Motor arbeitet also im Labor wie im realen Flugbetrieb. Das Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung (ZAL) in Hamburg verfügt wiederum über einen Virtual-Reality-Raum, in dem sich verschiedene Einsatzfelder von der Gestaltung der Flugzeugkabine bis zur Elektrifizierung der Luftfahrzeuge simulieren lassen. VR-Vorführungen können dort in einem Zuschauerraum mit bis zu 30 Personen stattfinden. Für die Arbeit der Entwickler ist ein Projektionsraum eingerichtet, in dem sie neue Technologien und Produkte

vor der Fertigung erproben und begutachten oder eventuelle Fehlerquellen in der Konstruktion herausfinden können.

Das sind bisher jedoch eher einsame Leuchttürme der Hochtechnologie in einem weiten Feld relativ klassischer Entwicklung und Produktion. Ein zusätzliches Problem besteht darin, dass es sich um Insellösungen handelt. Die Daten eines Systems können nicht ohne aufwändige Transformationsprozesse an ein Folgesystem oder an Kooperationspartner weitergereicht werden. Für viele Arbeitsbereiche gibt es zudem noch keine Software oder Datenmodelle, womit die nötigen Informationen in einem Computermodell abgebildet werden können.

Virtueller Begleiter

Das langfristige Ziel der Digitalisierung in der Luftfahrt ist es, diesen Zustand zu überwinden und von einem Flugzeugtyp mit der notwendigen Genauigkeit der Modelle und Prozesse einen „virtuellen Zwilling“ zu schaffen, der die realen Maschinen vom ersten Entwurf über den gesamten Lebenszyklus bis zu seiner Verschrottung begleitet. Mit Hilfe solcher Computermodelle sollen künftige Flugzeuggenerationen



sicherer, umweltfreundlicher und effizienter werden. Und die Herausforderungen sind gewaltig, denn Europa will laut seiner Agenda „FlightPath 2050“ die weltweite Vorrangstellung in der Luftfahrt bewahren. Deshalb sollen künftige Flugzeugtriebwerke 75 bis 90 Prozent weniger Kohlendioxid ausstoßen, bei gleichzeitiger Reduzierung des wahrgenommenen Fluglärms um rund 65 Prozent. Die beträchtlichen Kosten der Zertifizierung neuer Flugzeuge sollen ebenfalls mit Hilfe digitaler Modelle bedeutend gesenkt und der Zeitraum zwischen Entwurf und Zulassung verkürzt werden.

Auch das DLR wird sich in Zukunft stärker diesen Herausforderungen widmen, denn sie betreffen die Luftfahrt ebenso wie Raumfahrt, Energie und Verkehr. Um auch in Zukunft an vorderster Front der Luftfahrtforschung zu agieren, wurden 2017 vier neue Institute gegründet sowie das Virtual Product House (VPH) in Bremen. Ihre Aufgabe: Basislösungen zur Digitalisierung in der Luftfahrt schaffen. Am Ende sollen virtuelle Zwillinge für den kompletten Lebenszyklus eines Luftfahrzeugs Realität werden. Die DLR-Wissenschaftler denken aber noch weiter. Sie wollen mit ihren Softwarelösungen künftig nicht nur Dienstleister für die Luftfahrtindustrie sein, sondern auch weiterhin fortschrittliche Designs entwickeln.

Triebwerke im Computer

Die Antriebe sind das Herzstück eines Flugzeugs. Dabei sollen sie Eigenschaften wie die berühmt-berüchtigte „eierlegende Wollmilchsau“ haben: leise fliegen, wenig Treibstoff verbrauchen, umweltfreundlich sein. Deshalb ist deren Entwicklung eine besonders komplexe Aufgabe und dauert mehrere Jahre. Jeder einzelne Antrieb besteht aus über zehntausend Einzelteilen und kostet je nach Größe viele Millionen Euro. Circa 30 Prozent des Preises eines modernen Verkehrsflugzeugs entfallen auf sie. Um die anspruchsvolle Aufgabe zu bewältigen, hat etwa Rolls-Royce ein VR-Labor eingerichtet, in dem sich ein komplettes Triebwerk in 3D darstellen lässt. Mittels eines speziellen Bediengeräts ähnlich einem Joystick lassen sich beispielsweise einzelne Elemente herausnehmen und von allen Seiten betrachten.

„An unserem Institut werden wir die digitale und reale Welt der Messergebnisse bei Triebwerken noch viel stärker integrieren und miteinander verzahnen,“ sagt Professor Dr. Stefan Reh, Gründungsdirektor des DLR-Instituts für Test und Simulation für Gasturbinen in Augsburg. Denn bei dessen künftiger Forschungsarbeit sollen virtuelle Triebwerke und Komponenten wie Triebwerksaufeln oder Kompressoren eine



Streetview für drinnen: 3D-Scan der Produktionsstraße im DLR Stade

DIE VIER NEUEN DLR-LUFTFAHRT-INSTITUTE

- Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt, Hamburg
- Institut für Instandhaltung und Modifikation, Hamburg
- Institut für Softwaremethoden zur Produktvirtualisierung, Dresden
- Institut für Test und Simulation für Gasturbinen, Augsburg



bedeutende Rolle spielen. Die Augsburger werden aber nicht nur auf Bildschirme schauen und sich in virtuellen Räumen bewegen, sondern sie wollen auch ganz reale Prüfstände entwickeln, die mit der digitalen Welt interagieren. „Das Zusammenspiel von experimentellen Arbeiten und numerischen Methoden ist essenziell. In den Grenzbereichen des physikalisch Machbaren, in denen wir uns bewegen, können wir uns



Geburtsstunde eines digitalen Zwillings. Die Kamera scannt jeden Winkel und jede Ecke der Anlage ein.

nicht allein auf Simulationsverfahren verlassen“, ist sich Stefan Reh sicher. Denn die Software für das virtuelle Modell muss schließlich mit Daten aus dem realen Betrieb eines Triebwerks „gefüttert“ werden, um die Simulation möglichst identisch laufen zu lassen. Es geht ja um die Erhöhung der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer künftiger Turbinen und damit auch um die Sicherheit in der Luftfahrt.

Der „digitale Faden“

Am Ende muss auch das Flugzeug als Ganzes entworfen, gebaut und gewartet werden. Hier kommen ebenfalls digitale Modelle zum Einsatz, die kompatible Daten liefern, um sie sofort an anderen Stationen des Lebenszyklus übernehmen zu können. Die IT-Fachleute sprechen dann von einem „digitalen Faden“, an dem sich die Datenpakete des jeweiligen virtuellen Zwillings (Zelle, Triebwerk und weitere) von Computersystem zu Computersystem ohne Hindernisse entlangbewegen. Die beiden neuen am ZAL in Hamburg beheimateten DLR-Institute werden Lösungen dafür schaffen. Beide Institute, das für Systemarchitekturen in der Luftfahrt und das für Instandhaltung und Modifikation, haben beim ZAL einen idealen Standort gefunden, der erstens bereits über ein VR-Labor verfügt, und an dem sich zweitens eine Reihe junger Start-up-Unternehmen mit frischen Ideen ansiedelt. Das DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt etwa befasst sich mit dem digitalen Entwurf von Flugzeugen und dessen Übergang der Daten zur digitalen Produktion. Aber nicht nur das. Die Wissenschaftler wollen auch alle Komponenten von Luftfahrzeugen zusammen mit der sie umgebenden Infrastruktur im Flugbetrieb koppeln und als Modell abbilden, um so weitere Entwicklungspotenziale zu erschließen. Im Fokus stehen neue Lösungen, in denen Elemente des Gesamtsystems Luftfahrt neuartig miteinander verbunden werden. „Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung innovativer Kabinen- und Rumpfkonzeppte“, sagt Björn Nagel, Gründungsdirektor des DLR-Instituts für Systemarchitekturen in der Luftfahrt. Ein digitales Mock-up soll das zentrale Element werden, um verschiedene Kompetenzen, wie die auf dem Gebiet von Kabinenklima, Kabinenlärm oder Leichtbau, frühzeitig in den Entwurfsprozess einbringen zu können und sie mit der Produktionsforschung von Industriepartnern zu verbinden.

Virtuelles Produkt und Industrie 4.0

Vom Virtual Design führt der Weg weiter über das virtuelle Testen und die virtuelle Zertifizierung bis zum virtuellen Produkt. „Das DLR verfolgt mit dem zusätzlich zu den vier neuen Instituten eingerichteten Virtual Product House (VPH) in Bremen das Ziel, in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern und der Wissenschaft ein Integrations- und Testzentrum für die virtuelle Simulation und Zertifizierung von Komponenten und Technologien und deren Integration in das Gesamtflugzeug aufzubauen“, erklärt Dr. Kristof Risse, Leiter des Virtual Product House und Koordinator für die Digitalisierung der Luftfahrt. „Langfristig soll das VPH des DLR als Testzentrum und Netzwerkplattform die virtuelle Zertifizierung von Flugzeugkomponenten für und zusammen mit den Industriepartnern durchführen.“

Die Produktion der Flugzeuge und ihrer Komponenten ist der nächste Schritt im Lebenszyklus. Auch sie soll künftig am digitalen Faden hängen. Im Vergleich zu anderen Produkten ist die Stückzahl bei Flugzeugen gering. Zugleich sind sie extrem komplexe und komplizierte Produkte, deren Herstellung bisher viel Handarbeit von qualifizierten Mitarbeitern erfordert. Die Losgröße 1 eines Bauteils ist hier nicht die Ausnahme. Das betrifft besonders Teile aus Faserverbundwerkstoffen, deren Herstellung eher einer Manufaktur gleicht. Die Forscher im DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptivtechnik in Stade gehören zu denen, die das ändern wollen. Das Ziel ist die wandlungsfähige Fabrik. Eine vollautomatisierte Prozesskette für Faserverbundteile soll einmal mit dem digitalen Zwilling verbunden werden und über ihn die genauen Abmessungen und Fertigungsdaten für jedes Bauteil beziehen. Die Maschinen programmieren sich mit diesen Daten selbst und machen so auch die Losgröße 1

rentabel. Die Anlage in Stade ist der erste Anwendungsfall des Airbus-Projekts „Factory of the Future“.

Der Weg zum MRO 4.0

Nach der Produktion kommt der Betrieb von Flugzeugen. Ein wesentlicher Baustein ist die Instandhaltung, Reparatur und Überholung (englisch: Maintenance, Repair, Overhaul – MRO). Sie ist sehr kosten- und arbeitsintensiv und mit hohem manuellem Aufwand verbunden. So wurden 2015 weltweit allein für die MRO von Triebwerken 25 Milliarden Dollar ausgegeben. Hier besteht dringender Bedarf zu rationalisieren und die Kosten zu senken. Dieser Aufgabe will sich das DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation am ZAL in Hamburg-Finkenwerder widmen. Dazu wird im Institut ein Applikationszentrum MRO 4.0 aufgebaut (der Begriff entstand in Anlehnung an Industrie 4.0). In diesem Zentrum sollen die bei der Forschung gewonnenen Erkenntnisse praktisch umgesetzt und demonstriert werden. „Unsere Forschungsthemen umfassen unter anderem die Entwicklung neuer Wartungs- und Reparaturkonzepte sowie deren Digitalisierung und vorausschauende Wartung“, führt Professor Dr. Hans Peter Monner, Gründungsdirektor des Instituts für Instandhaltung und Modifikation, aus. „Ein weiteres Anliegen ist die Produktivität über alle Lebenszyklus-Phasen.“ Das bedeutet zum Beispiel, dass Prozesse der MRO bereits beim Design eines neuen Flugzeugs berücksichtigt oder die Verwertung von Komponenten und Materialien eines außer Dienst gestellten Flugzeugs einbezogen werden. Dieses Zusammenspiel sowie komplizierte Instandhaltungsprozesse oder Produktmodifikationen sind zu erproben, bevor ihr Einsatz im realen Leben erfolgt. Dazu wird der digitale Zwilling parallel zum realen Produkt simuliert. So werden Kosten und Betrieb optimiert.

Die Softwareschmiede

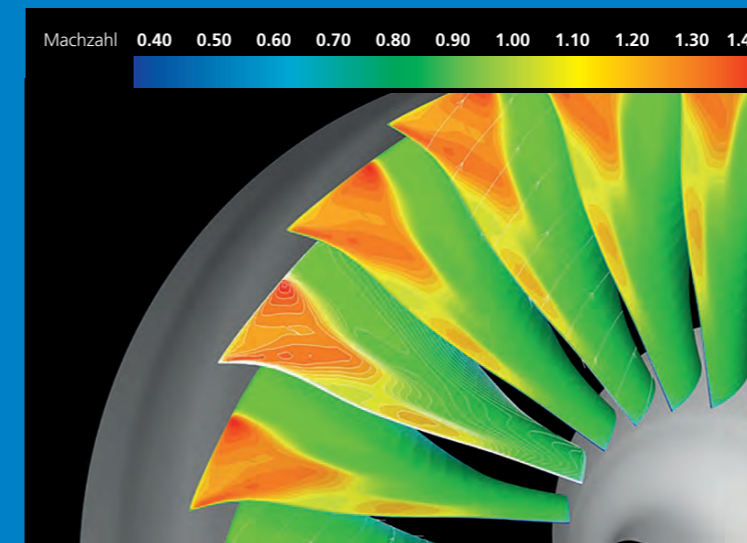
Die Programmierung virtueller Zwillinge entlang des digitalen Fadens kann aber nur realisiert werden, wenn die Modellierung möglichst realitätsgetreu auf den physikalischen Gesetzmäßigkeiten basiert sowie möglichst wenige vereinfachende Modellannahmen enthält. Im neuen DLR-Institut für Softwaremethoden zur Produktvirtualisierung in Dresden werden die softwaremethodischen Grundlagen für derartige Modelle und Prozesse geschaffen, was im DLR bisher nur in Einzelfällen möglich war. „Um alle Einflüsse und Parameter für ein digitales Modell zu berücksichtigen, müssen die Wissenschaftler und Ingenieure verschiedener Disziplinen wie Aerodynamik, Strukturmechanik und Bauweisen, Akustik sowie Flugmechanik eng zusammenarbeiten. Denn es sind Modelle mit unterschiedlicher Eindringtiefe zusammenzuführen, korrekt zu verzahnen und die Prozesse automatisiert auf Parallelrechnern ohne Einwirkung des Nutzers effizient auszuführen“, erläutert Professor Dr. Norbert Kroll, Gründungsdirektor des Instituts für Softwaremethoden zur Produktvirtualisierung im DLR Dresden. Neben den Algorithmen für die Modellierung müssen auch Programmier- und Datenmodelle für parallele Hochleistungsrechner erarbeitet werden. Nur so lassen sich Algorithmen effizient in Programme umsetzen. Das Dresdner Institut bearbeitet also Themen, die nicht nur der Digitalisierung in der Luftfahrt dienen, sondern allen Bereichen des DLR zugutekommen.

Digitale Modelle sind vielerorts im DLR bereits Realität. Mit der Vernetzung einzelner Phasen und der kompletten Virtualisierung eines Flugzeugtyps über seinen ganzen Lebenszyklus hinweg werden im DLR neue Potenziale für die Innovation hin zu kostengünstigeren und umweltfreundlicheren Luftfahrzeugen erschlossen, die gleichzeitig noch zuverlässiger sind und den Passagieren neue Features an Bord bieten können. Die vier neuen Institute ergänzen das Potenzial der DLR-Luftfahrtforschung kongenial und sorgen dafür, dass dieser Weg jetzt zügig beschritten wird.

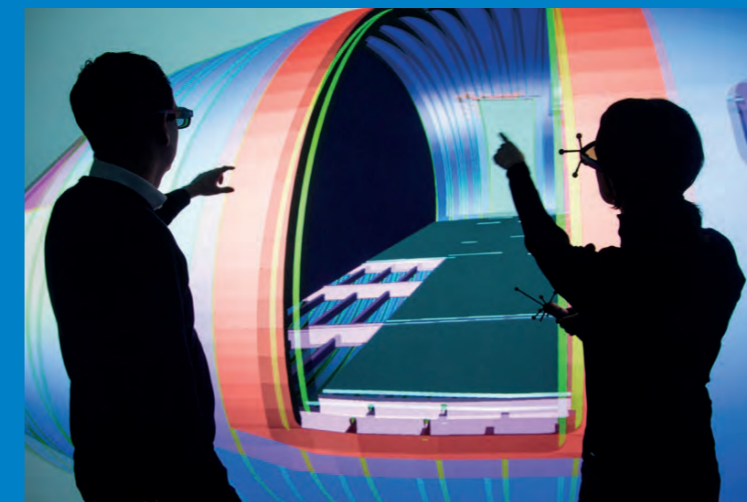
Olaf Göring betreibt in Potsdam ein Pressebüro mit den Schwerpunktthemen Luft- und Raumfahrt sowie IT-Technik. Er arbeitet unter anderem für die Flugrevue.



Virtuelle Testflüge als Alternative zu realen Flugversuchen



Mit der Simulationssoftware TRACE lassen sich die Strömungsverhältnisse in Triebwerksturbinen berechnen. TRACE wird mittlerweile auch in der Industrie für die Auslegung neuer Turbokomponenten eingesetzt. So entwickelte und optimierte MTU Aero Engines Komponenten eines von zwei möglichen Triebwerken des Airbus A380 mit diesem Programm.



Virtual Reality Lab: Das virtuelle Labor am ZAL Tech Center in Hamburg ermöglicht bis zu 30 Betrachtern gleichzeitig, virtuelle Modelle zu diskutieren.

GLOSSAR

DIGITALISIERUNG

steht für die umfassende Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft hin zu einer tief vernetzten und automatisierten Gesellschaft, die nahezu alle Lebensbereiche erfasst. Dieser Transformationsprozess vollzieht sich gegenwärtig in rasantem Tempo.

INDUSTRIE 4.0

ist die Beschreibung für die vierte Revolution in der Industrie, nach der Mechanisierung mit Wasser- und Dampfkraft (erste Revolution), der Elektrifizierung und Massenfertigung (zweite Revolution) sowie der Automatisierung (dritte Revolution). Digitale Computer, Steuergeräte und Regler werden in der Industrie schon seit über 30 Jahren in großem Umfang eingesetzt. Nun soll ihr Einsatz auf eine neue Stufe der Vernetzung (zum Beispiel Maschine-zu-Maschine-Kommunikation) sowie der intelligenten Informationsverarbeitung gehoben werden.

LOSGRÖSSE 1

Eine Anzahl gleichartiger Werkstücke wird in der Industrie als Los bezeichnet. So entspricht die Losgröße 1 einem einzelnen Werkstück.

VIRTUAL REALITY

ist die 3D-Darstellung eines Produkts in einem Raum. Mittels Virtual-Reality-Brillen (VR) kann ein Mitarbeiter sich in dem virtuellen Produkt bewegen und Veränderungen am Produkt über eine Fernsteuerung vornehmen.

AUGMENTED REALITY

Mittels spezieller Brillen können beispielsweise Monteure zusätzliche Informationen wie Arbeitsanweisungen oder Daten in die Brille eingespielt bekommen. Man spricht dann von „erweiterter Realität“.

DAS VIRTUELLE PRODUKT

Generell bezeichnet das virtuelle Produkt die hochgenaue mathematisch-numerische Darstellung eines neuen Fluggeräts mit all seinen Eigenschaften und Komponenten, wie etwa Aerodynamik, Systeme und Triebwerke. Alle Phasen der Produktrealisierung, vom Entwurf über die Vorhersage von Leistungen und Eigenschaften bis hin zu Konstruktion und Fertigung, müssen vor einer (Teil-)Realisierung simuliert werden können. Fernziel ist es, die komplette Produktlebenszyklusanalyse virtuell durchführen zu können. Ein wesentlicher Aspekt des virtuellen Produkts ist die Einbindung in den Zulassungsprozess neuer Fluggeräte auf der Basis numerisch erzeugter Daten.

ZU LANDE, ZU WASSER UND IN DER LUFT

Zu Wasser: Die Mobile Raketenbasis testet Nutzlast-Schwimmer in der Neutral Buoyancy Facility der ESA

Für einen großen Teil suborbitaler Raumflüge steht eine erfolgreiche Bergung der jeweiligen Experimental-Nutzlast als kritischer Missionspunkt ganz am Ende. Hierbei ist – neben einer Rückkehr über Land – die Wasserbergung eine besonders delicate Aufgabe. Dafür haben die Wissenschaftler der Mobilen Raketenbasis (MORABA) des DLR diverse Schwimmsysteme entwickelt. Um den wachsenden wissenschaftlichen Anforderungen sowie dem technischen Fortschritt gerecht zu werden, stand ein Teil der jüngsten Entwicklungsarbeit ganz im Zeichen einer modernisierten Variante. Unter Verwendung neuester Materialien und Fertigungstechnologien konnten zusammen mit der Firma TEXCON vor allem die Langzeitschwimmereigenschaften verbessert sowie ein erheblich geringeres Packmaß erzielt werden. Anfang Oktober 2017 wurde ein Prototyp des neu entwickelten Schwimmsystems im zehn Meter tiefen Tauchbecken (Neutral Buoyancy Facility – NBF) des Europäischen Astronauten Zentrums (EAC) der ESA auf „Herz und Nieren“ geprüft. Dabei bot sich insbesondere den für das „Schweb Becken“ verantwortlichen Kollegen des EAC ein eher untypisches TestszENARIO, ganz ohne die üblicherweise simulierten Außenbordeinsätze der dort trainierenden ESA-Astronauten.

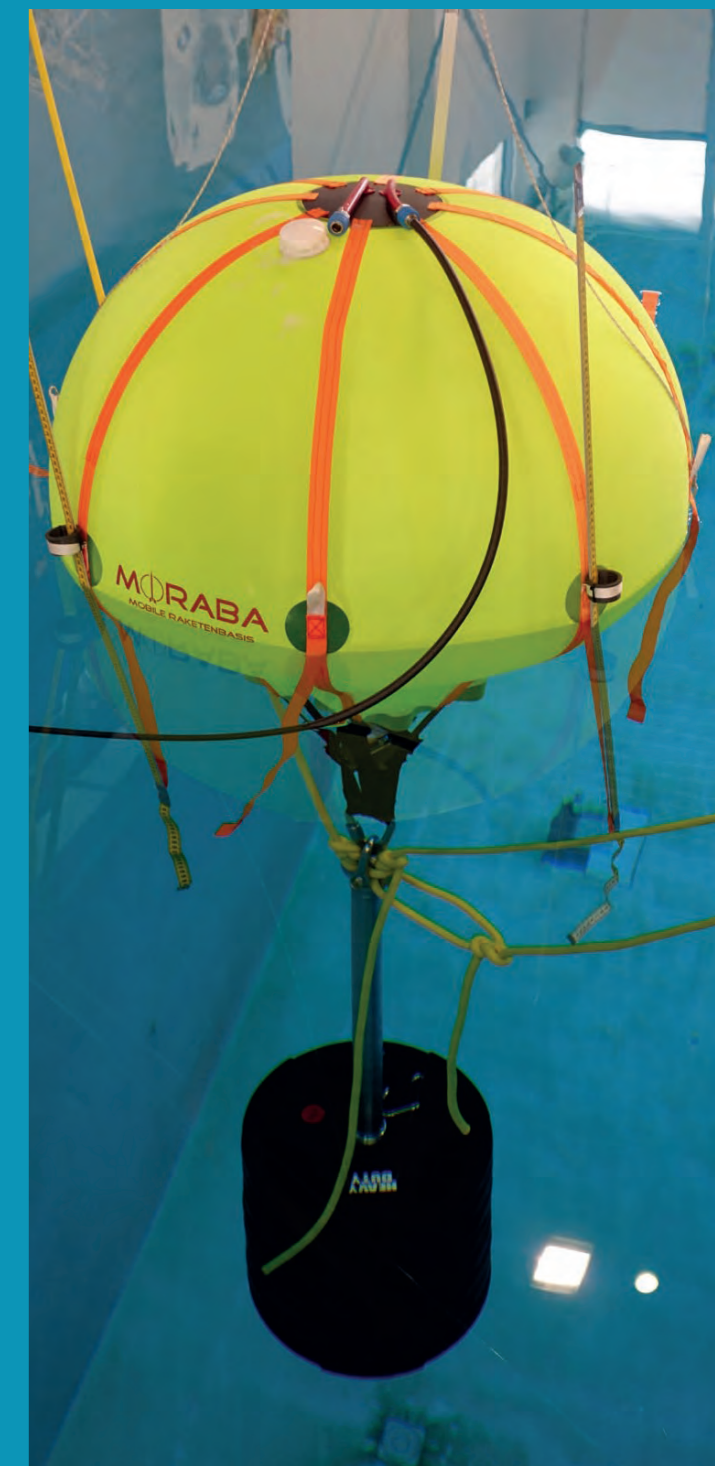
Oliver Drescher und Johannes Göser

DLR-gsoc.de/moraba2015/



Das zehn Meter tiefe Tauchbecken in Kombination mit einem Lastenkran war ausschlaggebend für die Auswahl des „Schwebbeckens“ der ESA als Testeinrichtung für das neue Schwimmsystem. – Die damit verbundene Raumfahrtatmosphäre machte es geradezu perfekt.

Der eingetauchte Nutzlast-Schwimmer mit 200 Kilogramm Testmasse, Tiefgangs-Marken und angeschlossenem Drucksensor



DINOFLAGELLATEN MIT SENSORPOTENZIAL

Es hätte alles anders kommen können. Dann wäre Dr. Jens Hauslage jetzt Taxifahrer oder Pharmareferent. Das, so sagt er, waren damals die typischen Berufsaussichten, wenn man Biologie studierte. Doch das hinderte ihn nicht daran, sich in diesem Studienfach an der Uni Bonn einzuschreiben. Biologie klappte nämlich in der Schule auch ohne aufwändiges Lernen, Mathe ging gar nicht. Es hätte aber auch ein technischer Beruf werden können – mit fünf Jahren lötete er zum ersten Mal, seitdem ist Elektronik sein Steckpferd. Heute ist der 40-Jährige am DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin irgendwie beides: Mechatroniker und Biologe zugleich. Als Biologe schickt er beispielsweise die Blütenpflanze *Arabidopsis thaliana* – die Acker-Schmalwand – mit Höhenforschungsraketen in die Schwerelosigkeit. Als Mechatroniker baut er seine Experimentalanlagen selbst, die während eines solchen Fluges Daten aufzeichnen oder sie direkt zur Erde schicken sollen.

Dr. Jens Hauslage verknüpft Biologie und Technik für das Leben im Weltraum

Ein Porträt von Manuela Braun

Erst vor Kurzem ist Jens Hauslage mit seinem Büro auf dem Gelände des DLR in Porz-Wahn von einem Gebäudetrakt in einen benachbarten umgezogen. Im alten, kleinen Büro war der Biologe hinter seinem Schreibtisch kaum noch zu sehen gewesen. Eine riesige Birkenfeige vor ihm, ein Modell des von ihm entwickelten DLR-Biofilters C.R.O.P. mit Wasser, Tomatenpflanzen und Lavasteinchen in der Ecke und eine Fensterbank voll mit Pflanzenzöglingen, winzig kleinen Muschelkrebse im Weckglas und einer mikrobiellen Brennstoffzelle. Im Bücherregal waren Erinnerungsstücke von Missionen oder auch Reagenzgläser, unter anderem mit einer Gottesanbeterin, vor die Buchrücken gequetscht. Ausgediente oder umgebaute Computerteile lagen und standen auf den wenigen freien Quadratmetern freien Bodens. Jetzt liegt sein deutlich größeres Reich am Ende eines langen Gangs, fast ein wenig abgelegen, direkt neben dem Rechnerraum. „Großartig, hier hab ich viel mehr Platz.“

Um die Ecke gedacht

Platz braucht er, denn normalerweise steckt er sowohl gedanklich als auch in der Umsetzung immer gleich in mehreren Projekten, wechselt zwischen Arbeiten für aktuelle Missionen und kommende Projekte oder auch Spielereien zwischen Hobby und Arbeit. „Ich bin Ideengeber, ich kann verrückt denken, ich kombiniere Dinge“, beschreibt er sich selbst. Auf dem Tisch an der Wand steht ein selbst gebauter 3D-Drucker. Gebaut aus gekauften Einzelteilen und gedruckten Elementen. Neben seinem Rechner auf dem Schreibtisch ist ein kleines Holzkästchen, das einen Mikrokontroller beinhaltet. Auf dem Display steht ein schwarzer Zeiger auf 50. „Das Kästchen ist mit Google Maps verbunden und zeigt mir in Minuten an, wie lange meine Autofahrt vom DLR nach Hause zurzeit dauern würde.“ Kästchen baut er gerne. Aus nostalgisch anmutenden Glühbirnen, ausgemusterten Bauteilen, die einst eine andere Funktion hatten – und mit viel Kreativität. Was dabei entsteht, kann leuchten, messen oder auf die Umwelt reagieren. Seine Werke lädt er mit Anleitung auch schon mal auf Webseiten hoch, auf der sich Bastler, Elektronikfreaks und Tüftler austauschen und mit Anerkennung die ungewöhnlichen Objekte diskutieren.

Zeitschaltuhren, Plattenspieler und 3D-Druck

Sein erstes Experiment baute er für einen Parabellflug des DLR. Damals war Hauslage noch Student am Gravitationsbiologischen Institut der Bonner Universität. Aus einem ausgedienten, aber noch funktionierenden Plattenspieler bastelte er damals eine Zentrifuge für den Flug. „Dumpster Diver“, einer, der tief im Entsorgten, Ausgemusterten nach Nutzbarem wühlt und sucht. So nennt er sich. Was bei der Industrie

Komponenten für experimentelle Anlagen, die später absolut zuverlässig funktionieren müssen, baut Techniker Jens Hauslage selbst zusammen

Unten: Als Biologe untersucht er die Auswirkungen der Gravitation auf Pflanzen. Auf Parabellflügen und in Höhenforschungsraketen werden sie der Schwerelosigkeit ausgesetzt.

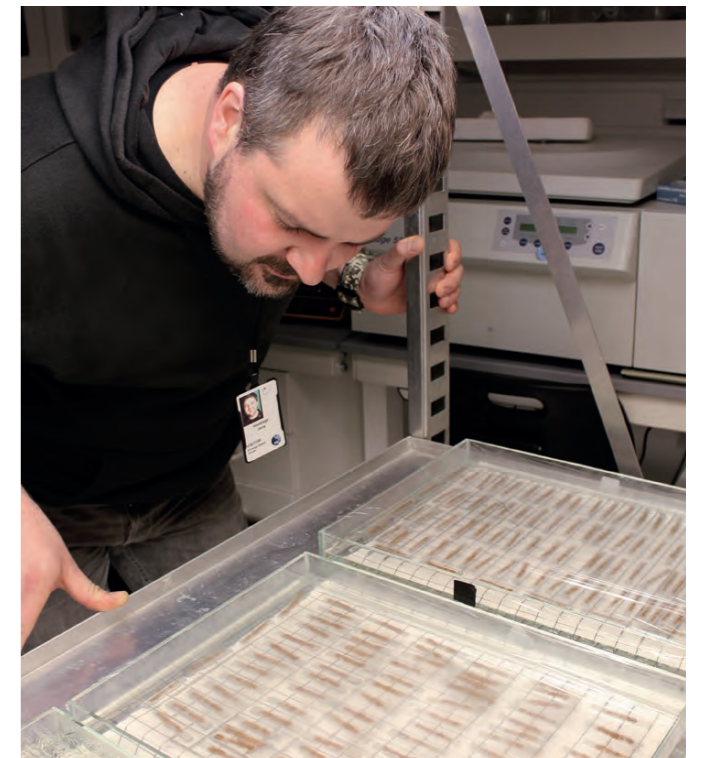


schon fertig im Regal liegt oder was nach einem Erstgebrauch in einer neuen Funktion eingesetzt werden kann, wird – kombiniert mit selbst Gebautem – zur wissenschaftlichen Experimentalanlage. „Kannst du das noch gebrauchen?“, hatte ihn der Betriebsarzt des DLR gefragt, in der Hand eine alte Zeitschaltuhr. Der Quarz dieser Uhr flog dann in der „Real time clock“ für die Zeiterfassung in der Höhenforschungsrakete Mapheus-6 mit. Bei Mapheus-7 sind Teile im Einsatz, die in Hauslages Büro im 1. Stock aus dem selbst gebauten 3D-Drucker kamen. „Aus biologisch abbaubarem Kunststoff natürlich“, sagt Biologe Hauslage.

Seine Faszination für die Raumfahrt kam mit dem Spaceshuttle. Dessen Flüge haben ihn in der Kindheit begleitet. Die richtige Zündung kam allerdings mit dem Biosphere-2-Projekt, das Milliardär Edward Bass 1991 in Arizona bauen ließ. In dem Habitat mit Savanne, Ozean, tropischem Regenwald, Mangrovensumpf, Wüste und Landwirtschaft sollten Menschen in einem geschlossenen Ökosystem leben. Über zwei Jahre wohnte eine achtköpfige Gruppe in der künstlichen Biosphäre, die wie eine zweite, autarke Erde funktionieren sollte. Einiges ging schief, so isoliert und eigenständig wie geplant blieb die Habitat-Gemeinde in der Anlage nicht. Seit 1996 wird Biosphere-2 von Universitäten für die Erforschung ökologischer Fragestellungen genutzt. „Ich habe damals im Fernsehen einen Bericht über Biosphere-2 gesehen – das war meine Mondlandung“, sagt Hauslage. „Mir geht es in dem Fall aber nicht um den Menschen, sondern um das Leben, um Zellen und Pflanzen.“

Empfindsam für Gravitation

Für Hauslage sind Pflanzen die wahren Helden. „Pflanzen haben die Fähigkeit, sich unendlich anzupassen. Es ist ganz einfach: ohne Pflanzen – keine Menschen.“ Seit 2001 arbeitet der Wissenschaftler im Bereich der Gravitationsbiologie, fing als studentische Hilfskraft an, charakterisierte in seiner Doktorarbeit die Schwerkraftwahrnehmung in höheren Pflanzen und forschte auf Parabellflügen und Höhenforschungsraketen. Die Gravitation sei der einzige Parameter, der



Der Biologe Dr. Jens Hauslage arbeitet seit 2005 im DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin



Pflanzen sind für Hauslage die wahren Helden. Sie können sich widrigen Bedingungen erstaunlich gut anpassen.

sich nie verändert habe. „Meine Frage ist daher: Wie hat die Gravitation das Leben geprägt?“ Im März 2003 flog zum ersten Mal eines seiner Experimente auf einer Höhenforschungsrakete: MAXUS-5 startete vom schwedischen Startplatz Esrange aus, und Hauslage war als Diplomand dabei. „Seitdem bin ich Raketenfan.“ Auf über zwei Dutzend Parabelflügen ist er nicht nur selbst geschwebt, sondern hat seine „Probanden“ immer wieder der Schwerelosigkeit ausgesetzt. Schon die 22 Sekunden, in denen während einer Parabel Schwerelosigkeit herrscht, reichen Pflanzenzellen aus, um auf die veränderte Gravitation zu reagieren.

Auch Tomaten im All

In diesem Jahr kommt zu den Parabelfliegern und den Raketen eine Weltraumtraggerrakete hinzu, die Hauslages biologische Experimente in die Schwerelosigkeit befördern wird: Auf dem Satelliten Eu:CROPIS, der am DLR-Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen gebaut und getestet wurde, starten 2018 zwei Gewächshäuser ins All. Dann sollen Tomatensamen keimen und zu Pflanzen heranwachsen, die wiederum Samen für die nächste Tomatengeneration liefern. Ihre Nährstoffe erhalten sie aus künstlichem Urin, der über einen Biofilter aus Lavagestein rieselt, von darin lebenden Mikroorganismen vom schädlichen Ammoniak über Nitrit zu Nitrat umgewandelt wird und so für die Pflanzen genießbar und nützlich wird. Augentierchen von der Universität Erlangen, in diesem Fall der Einzeller Euglena, unterstützen den Prozess und liefern Sauerstoff. Währenddessen rotiert der Satellit in unterschiedlichen Geschwindigkeiten um die eigene Achse und erzeugt so jeweils sechs Monate lang die Gravitation von Mars und Mond. Zahlreiche Kameras im Inneren beobachten dabei, wie es den Tomaten im All geht. Jens Hauslage ist mit Michael Lebert von der Universität Erlangen einer der wissenschaftlichen Leiter der Mission. „Ein solches geschlossenes Lebenserhaltungssystem könnte es in der Zukunft auf langen Flügen oder in Habitaten auf Mond oder Mars möglich machen, dass die Crew mit frischen Lebensmitteln versorgt wird.“

Armleuchter und Schmalwände

Biologie, da ist sich Hauslage sicher, hilft, viele Zusammenhänge zu verstehen. Und für Zusammenhänge ist wohl auch sein Hirn ausgelegt. Von einem Thema geht es vernetzt zum nächsten. Zu allem gibt es Fakten, die Hauslage mühelos abrufen kann. „Schon mal von den Dinoflagellaten gehört? Das sind Panzergeißler, die machen das Meeresleuchten.“ Die hat Hauslage schon im Bremer Fallturm durch die sekundenkurze Schwerelosigkeit im freien Fall geschickt. „Die leuchten, wenn sie mechanisch stimuliert werden, also Scherkräften ausgesetzt sind.“ Leuchtet ein Panzergeißler während der Schwerelosigkeit, kann dies ein Indikator dafür sein, dass die Schwerelosigkeit nicht hundertprozentig ist. Hier interessiert Hauslage sich für die



LötKolben gegen Pipette getauscht: Im Labor bereitet Jens Hauslage seine Probanden für die Experimente vor.

Veränderungen in Biomembranen unter Schwerelosigkeit. „Ein Super-Bioindikator dafür, wie gut oder schlecht die Bedingungen der Schwerelosigkeit sind.“ Kurzer Sprung ins nächste Thema: „Die setzen das aber auch geschickt als Alarmanlage, als Burglar Alarm ein.“ Droht der Panzergeißler zur Nahrung für Krebse zu werden, leuchtet er – und lockt damit Oktopusse an, die den Krebs fressen. Hauslage ist begeistert. Panzergeißler, Armleuchter-Algen oder auch Acker-Schmalwand – selbst die Namen erfreuen ihn.

Neben seiner Arbeit als Wissenschaftler und Forscher ist er Mitglied im Chaos Computer Club Cologne. Dort hält er Vorträge über Elektronik in der Raumfahrt, tauscht sich über Basteleien und Technik aus. Auch auf dem „Still Hacking Anyway“-Treffen der Elektronik-Nerds und Geeks war er 2017 dabei, als in Holland Datenleitungen, Computer und Zelte aufgebaut wurden, um Tausenden Teilnehmern mehrere Tage lang Gelegenheit zu geben, Kreativität und Technik miteinander zu verbinden. Wikipedia liefert übrigens die entsprechende Definition dafür: „Ein Hacker ist jemand, der versucht, einen Weg zu finden, wie man mit einer Kaffeemaschine Toast zubereiten kann“. Bei Hauslage sind es halt seine „Kästchen“, die er baut – meist ohne weitreichenden Nutzen, aber mit ganz besonderen Fähigkeiten ausgestattet und mit Details liebevoll zusammengelötet und -geschraubt.

Schaltpläne entwerfen als Vergnügen

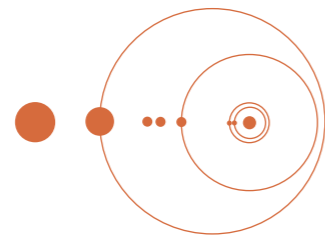
„Holz, Messing, Röhren, alte Computer. Das ist mein Ausgleichssport zur manchmal trockenen Wissenschaft.“ Romane, die ohne fachliches Wissen auskommen, sind nicht seine Welt. „Ich kann mich in Elektroschaltplänen verlieren.“ Oder in den Informationen zur Pflanzen- und Tierwelt. Zum Treffen in Holland bringt er selbst eingelegte Chilis mit. „Roccoto Chilis“, präzisiert er. „Oder auch Gringo-Killer genannt.“ Die Sorte ist in Südamerika heimisch, genetisch verarmt, erläutert er. Und enorm scharf. Selbst Filme, die mit Science-Fiction schon tief in die Raumfahrt eintauchen, sind kaum interessant für den Wissenschaftler. Allerdings: Vom „Marsianer“ hat er schon einiges gehört. Der soll sich ja sein Überleben auf dem Mars sichern, indem er Kartoffeln anbaut und so seine eigene Nahrungsquelle schafft. „Ein Mensch benötigt so etwa 2.000 Kilokalorien am Tag. Gekochte Kartoffeln haben gerade mal 70 Kilokalorien pro 100 Gramm. Dann müsste der Astronaut jeden Tag 2,8 Kilo Kartoffeln ernten und essen. Das klappt doch nie.“ – Für Dr. Jens Hauslage ist und bleibt das wahre Leben mit seiner Biologie die spannendere Sache. Und erst recht die Kombination aus Technologie und Biologie.

Rechts: Auch den Biofilter C.R.O.P. hat Jens Hauslage entwickelt. Das geschlossene Lebenserhaltungssystem wird mit dem Satelliten Eu:CROPIS im Sommer 2018 ins All starten.



BLICK INS ALL

Vor etwa einem Vierteljahrhundert wurde der erste extrasolare Planet, der um einen sonnenähnlichen Stern kreist, aufgespürt – heute sind fast 4.000 neu entdeckte Planeten verzeichnet. Nicht nur die schiere Zahl ist beeindruckend: Ihre unglaubliche Vielfalt wirft neue Fragen zur Entstehung und Entwicklung von Planetensystemen auf. Ihre Erforschung hilft dabei, auch unser Sonnensystem besser zu verstehen. Die Missionen PLATO und CHEOPS, an deren Umsetzung die Wissenschaftler gerade arbeiten, sollen eben diese Fragen klären, deren Antworten noch im Dunklen liegen. Zeit, einen Blick zurückzuwerfen, und zu schauen, was sich in den letzten Jahren bei der Erkundung der fernen Welten getan hat.



Entdeckungen in fernen Welten fordern gängige Theorien heraus

Von Dr. Ruth Titz-Weider

CoRoT und die Super-Erde

Das DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof ist schon seit vielen Jahren an der Suche und Charakterisierung von extrasolaren Planeten beteiligt. Das französische Weltraumteleskop CoRoT (**C**onvection **R**otation and planetary **T**ransits) startete im Jahr 2007 und war die erste Mission, die Exoplaneten vom Weltall aus aufspürte. Das DLR war im wissenschaftlichen Team des Projekts vertreten und hat die Auswertesoftware des Instruments, das an Bord des Satelliten arbeitet, entwickelt.

Der wohl herausragendste Fund von CoRoT war CoRoT-7b – eine sogenannte Super-Erde. Planeten dieser Gruppe sind etwas schwerer und etwas größer als unsere Erde, ihre Masse ist nicht größer als zehn Erdmassen und ihr Radius liegt zwischen einem und zwei Erdradien. CoRoT-7b gehört heutzutage wohl zu den am genauesten untersuchten Exoplaneten. Er war der erste Gesteinsplanet, bei dem Radius und Masse genau bestimmt werden konnten. CoRoT-7b hat fünfmal so viel Masse wie die Erde und besitzt eine ähnliche Dichte wie unser Heimatplanet. Bei einer Umlaufzeit von 20,4 Stunden besitzt er eine Tagseite, die immer dem Stern zugewandt ist, und eine kalte Nachtseite.

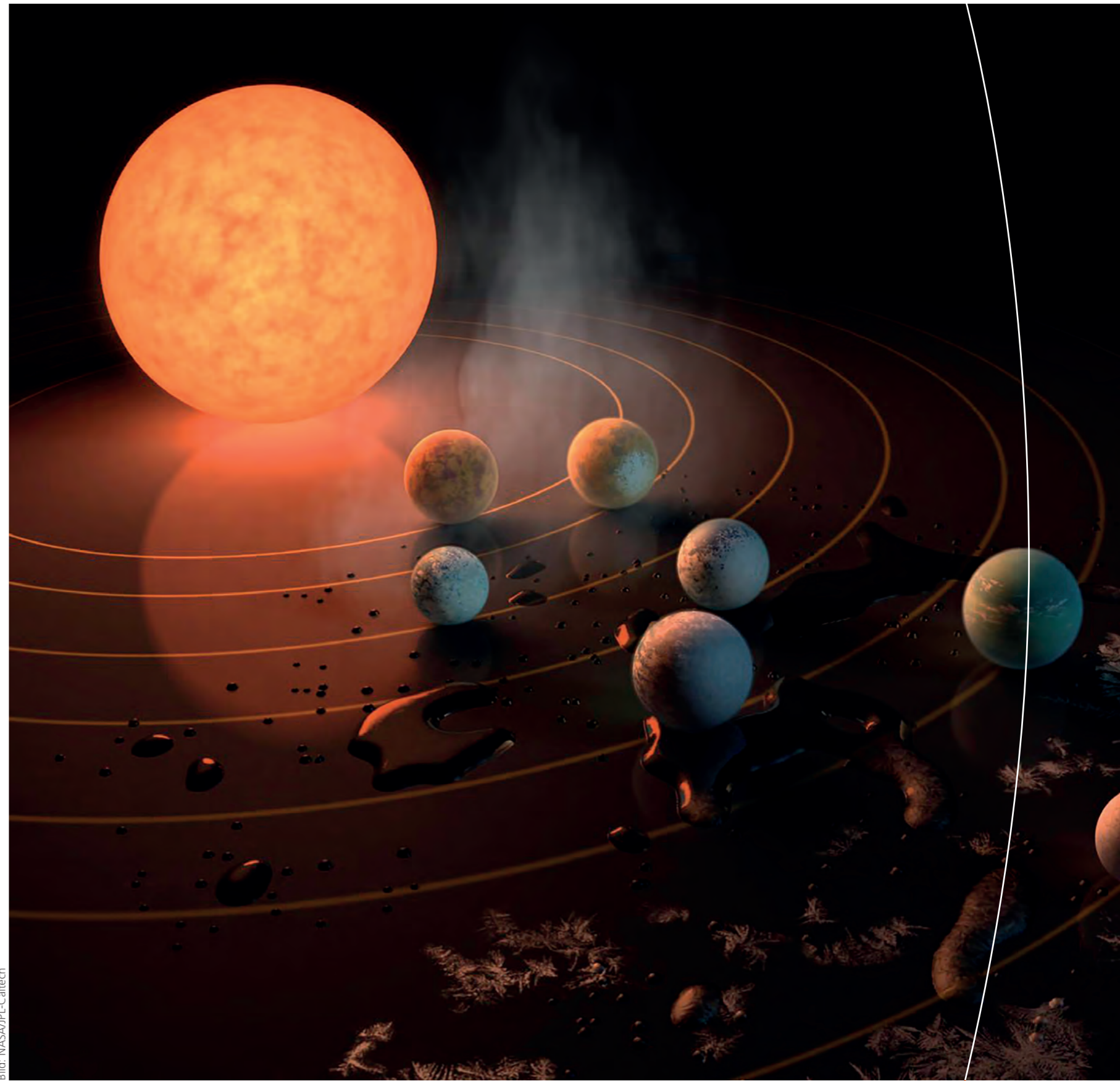
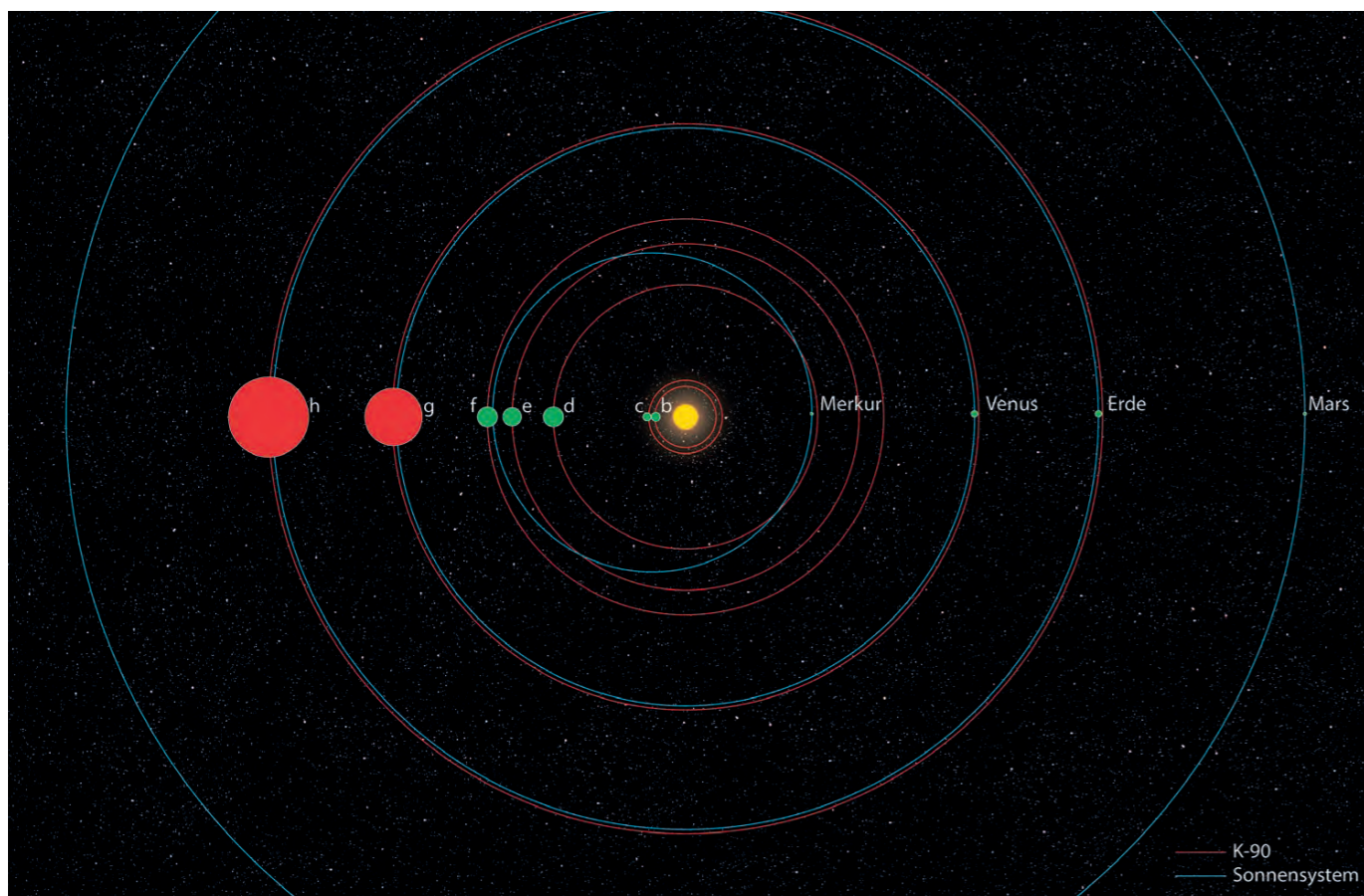


Bild: NASA/JPL-Caltech

Künstlerische Darstellung des Planetensystems um den Zwergstern Trappist-1, der von sieben, möglicherweise sogar acht Gesteinsplaneten umkreist wird. Der Radius dieser Planeten entspricht etwa dem Erdradius. Drei dieser Planeten bewegen sich in der habitablen Zone des Sterns.



Darstellung des Planetensystems Kepler-90 mit sieben Planeten im Vergleich zum Sonnensystem: In beiden Systemen liegen die Bahnen der kleinen Planeten innen, die der Gasriesen außen.

Die Zahl der Funde wächst stetig

Mit der Kepler-Mission der NASA stieg die Zahl der gefundenen Planeten deutlich an. In den Daten der nominellen Kepler-Mission, 2009 bis 2013, und der Weiterführung als K2-Mission hat man viele neue extrasolare Planeten mit interessanten Eigenschaften gefunden. Es waren Dr. Juan Cabrera vom Institut für Planetenforschung und seine Kollegen, die 2013 das erste Planetensystem mit sieben Planeten um den Stern Kepler-90 aufspürten. Es ist ähnlich unserem Sonnensystem aufgebaut: die kleinen Planeten innen, die großen Planeten außen. Allerdings befinden sich alle Planeten nicht weiter als eine Astronomische Einheit – das entspricht der Distanz Erde–Sonne: 150 Millionen Kilometer – von ihrem Stern entfernt, also eine Art geschrumpftes Sonnensystem. Eventuell gibt es noch einen achten Planeten in diesem Gebiet und damit wäre Kepler-90 nach wie vor das mit den meisten Planeten.

Eine andere am DLR gemachte rekordverdächtige Entdeckung ist der Planet K2-137b mit einer der kürzesten Umlaufzeiten: nur 4 Stunden und 18 Minuten. Damit gehört er zu den Vertretern der USP (Ultra-Short Period)-Planeten. Sein Radius beträgt nur das 0,9-Fache des Erdradius. Die Masse konnte man zwar nicht aus Messungen bestimmen, aber die kleine Umlaufperiode gibt Hinweise auf seine mittlere Dichte und Zusammensetzung: Der Planet muss mindestens eine mittlere Dichte von 6,4 Gramm pro Kubikzentimeter haben, sonst wäre er durch die Gezeitenkräfte schon längst auseinandergerissen worden. Aus dieser Einschränkung ergibt sich, dass er wenigstens zu 50 Prozent aus Eisen bestehen muss. Ein höherer Anteil als bei der Erde, dem Mars und der Venus, aber eventuell geringer als bei Merkur, dem sonnennächsten Planeten.

Auch heute werden regelmäßig neue Planeten identifiziert. Allerdings kann nicht bei allen Funden ein kompletter Planeten-Steckbrief erstellt werden. Bei vielen fehlt die Massenangabe, weil keine nachfolgenden

Messungen für leuchtschwache Sterne möglich sind. Ohne Masse kann man die mittlere Dichte des Planeten nicht direkt bestimmen und ihn nicht weiter charakterisieren. So kann es passieren, dass bei neuen Messungen vermeintliche Trabanten ihren Planetenstatus wieder verlieren. Um neue Planeten zu ermitteln, nutzen die Wissenschaftler zwei Methoden: Bei der sogenannten Transitmethode werden Helligkeitsunterschiede des Sterns gemessen, die durch den vorbeiziehenden Planeten hervorgerufen werden. Die sogenannte Radialgeschwindigkeitsmethode untersucht Veränderungen im Lichtspektrum des Sterns, die entstehen, wenn sich ein Stern und ein Planet um den gemeinsamen Schwerpunkt bewegen. Während Satellitenmissionen zumeist mit der Transitmethode arbeiten, wird die Radialgeschwindigkeitsmethode nur von erdgebundenen Teleskopen verwendet.

Exoplaneten verschiedenen Alters bieten die einzigartige Möglichkeit, sowohl in die Zukunft als auch in die Vergangenheit zu blicken. Durch ihre große Vielfalt geben sie den Wissenschaftlern die Möglichkeit, Planeten unterschiedlichster Typen in verschiedenen Entwicklungsstadien zu untersuchen. Und hin und wieder stellen neue Entdeckungen weit verbreitete Theorien infrage. So sollte sich beispielsweise um einen Zwergstern kein Riesenplanet bilden können, da beide, Stern und Planet, aus einer einzigen Gas- und Staub-

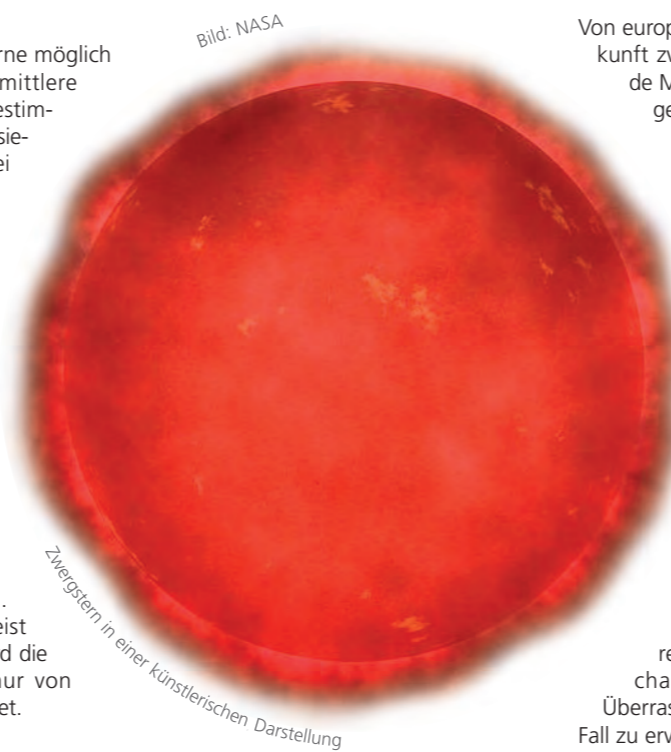


Bild: NASA

wolke entstehen und die meiste Masse hauptsächlich durch den Stern eingesammelt wird. Genau das aber haben Dr. Alexis Smith (DLR Berlin) und seine Kollegen gefunden: Der Zwergstern NGTS-1, für den die Teleskopanlage Next-Generation Transit Survey der Namensgeber war, wird von einem jupitergroßen Riesenplaneten umkreist. Dieses ungleiche Paar war die erste Entdeckung der NGTS-Teleskopanlage in Chile, an der das DLR beteiligt ist.

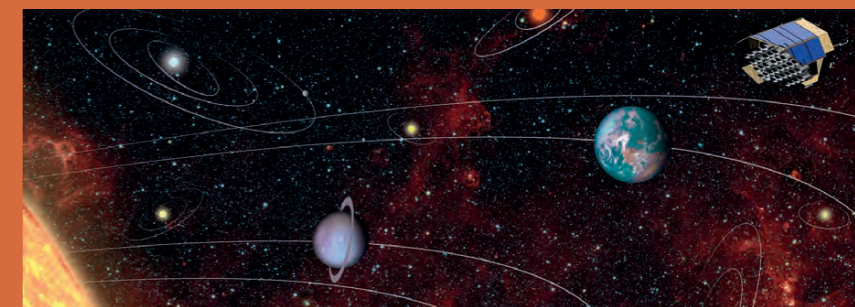
Auch der Frage, ob Leben auf anderen Planeten möglich ist, können sich die Wissenschaftler mit Hilfe von Exoplaneten nähern. Im vergangenen Februar überraschte die Forscher eine Meldung über den Fund eines Planetensystems mit sieben Gesteinsplaneten um den kühlen M-Zwergstern Trappist-1. Drei von ihnen waren bereits ein Jahr zuvor mit dem belgischen Teleskop – benannt nach dem berühmten, von belgischen Mönchen gebrauten Bier – in Chile entdeckt worden. Alle sieben Planeten sind in etwa so groß wie die Erde, drei von ihnen liegen möglicherweise in der habitablen, also lebensfreundlichen Zone ihres Sterns. Der Stern ist ein M-Zwergstern, der viel weniger Energie abstrahlt und eine deutlich längere Lebenserwartung als unsere Sonne hat. So könnte sich die Entwicklung von Lebensformen auf einer anderen Zeitskala abspielen.

Von europäischer Seite wird es in der Zukunft zwei wissenschaftlich bedeutende Missionen geben. In diesem Jahr geht CHEOPS an den Start. Etwas länger dauert es bis zum Start der Mission PLATO, einer ESA-Mission der M-Klasse, die für das Jahr 2026 geplant ist. Beide richten ihren Blick in die Tiefen des Alls und suchen nach Exoplaneten. Von der Erde aus werden sie unterstützt von der Teleskopanlage NGTS.

Die Suche nach fernen Planeten geht weiter. Dank immer empfindlicherer Techniken und neuer subtiler Nachweismethoden werden weitere Planeten aufgespürt und bereits entdeckte immer genauer charakterisiert werden können. Überraschungen sind dabei auf jeden Fall zu erwarten!

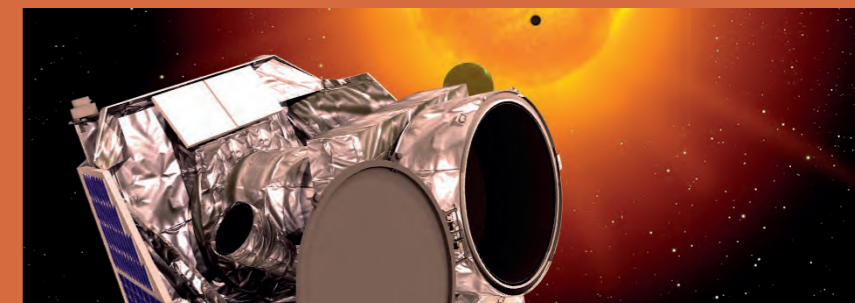
Dr. Ruth Titz-Weider arbeitet am DLR-Institut für Planetenforschung in der Abteilung Extrasolare Planeten und Atmosphären. Sie beschäftigt sich dort unter anderem mit der Auswertung von Transitmessungen.

Die neuen Planetensucher



PLATO

Der Start dieser vielversprechenden ESA-Mission ist für das Jahr 2026 geplant. Wie alle anderen bisherigen Exoplaneten-Weltraummissionen wird PLATO (Planetary Transits and Oscillations of stars) mit der Transitmethode nach Planeten suchen. Die Mission konzentriert sich aber auf helle, leuchtstarke Sterne und bestimmt Masse, Radius sowie Alter der Planeten und ihrer Sterne mit einer Genauigkeit, wie sie bisher nicht möglich ist. Damit soll ein umfangreicher Katalog der Planeten mit ihren primären Parametern erstellt werden. Im Fokus stehen dabei Planeten in der habitablen Zone von sonnenähnlichen Sternen, die später durch atmosphärische Nachfolgemessungen weiter untersucht werden können.



CHEOPS

In diesem Jahr geht die europäische CHEOPS-Mission an den Start. Die Abkürzung steht für „CHARacterising ExOPlanet Satellite“. CHEOPS ist eine ESA-Kleinsatelliten-Mission, bei der die Universität Bern die Entwicklung des wissenschaftlichen Instruments leitet, unterstützt unter anderem vom DLR Berlin. CHEOPS wird höchstgenaue Transitmessungen von solchen Sternen durchführen, in deren Umfeld bereits Planeten gefunden worden sind. Ziele sind die genauere Charakterisierung der bekannten sowie die Entdeckung und Charakterisierung neuer Planeten, insbesondere die Bestimmung ihrer mittleren Dichte.



NGTS

Die Teleskopanlage Next-Generation Transit Survey (NGTS) sucht seit 2015 nach fernen Welten im All. Sie wird von Wissenschaftlern des DLR-Instituts für Planetenforschung zusammen mit einem internationalen Team am Paranal-Observatorium der Europäischen Südsternwarte (European Southern Observatory, ESO) im Norden Chiles betrieben. Die Anlage ist für großflächige Beobachtungen ausgelegt und besteht aus zwölf vergleichsweise kleinen robotischen Einzelteleskopen mit 20 Zentimetern Durchmesser. Acht der zwölf Kameras wurden vom DLR finanziert.

Bild: ESA – C. Carreau

Bild: ESO/G. Lambert

EINE TONNE VOLLER ENERGIE

Rauchfahnen, die weithin sichtbar auf Kohlekraftwerke hinweisen, gibt es nicht mehr. Den gigantischen Tagebau-Bagger nur als technisches Denkmal. Im Jahr 2030 sind Sonne und Wind im Potpourri des Energiemix etabliert. So die Vision. Nur noch wenig Kohle oder Erdöl werden für unseren Strom verbrannt, Sonne und Wind liefern zunehmend große Anteile der Energie. Doch soll diese Vision wahr werden, sind Speicher gefragt, die Energie zuverlässig bereitstellen, auch dann, wenn der Wind nicht weht und die Sonne nicht scheint. Dafür startet im Frühjahr 2018 ein europäisches Projekt zur Strom-Wärme-Strom-Speicherung. Die Magazin-Redaktion stellte Dr.-Ing. Dan Bauer vom DLR-Institut für Technische Thermodynamik in Stuttgart zu den neuen Speicherkonzepten ein paar Fragen.

Strom-Wärme-Strom-Speicher zur stabilen Energieversorgung

Der Weg von der Nutzung fossiler Energieträger zu Energiequellen, die sich regenerieren, ist ein steiniger. Die schwankende Verfügbarkeit von Sonne und Wind steht im Weg. Speichersysteme sollen diese Hürde überwinden. Wie schätzen Sie deren Verfügbarkeit ein?

Die heute existierenden Speichertechnologien werden die wachsenden Anforderungen nicht erfüllen können: Das Potenzial für Pumpspeicherwerke ist in Deutschland aufgrund deren spezieller Anforderungen an die geografische Lage und die verfügbaren Flächen weitgehend erschöpft. Batteriespeicher sind nicht ausreichend zyklensfest und für diese Anwendung auch zu teuer.

Was schlagen Sie vor?

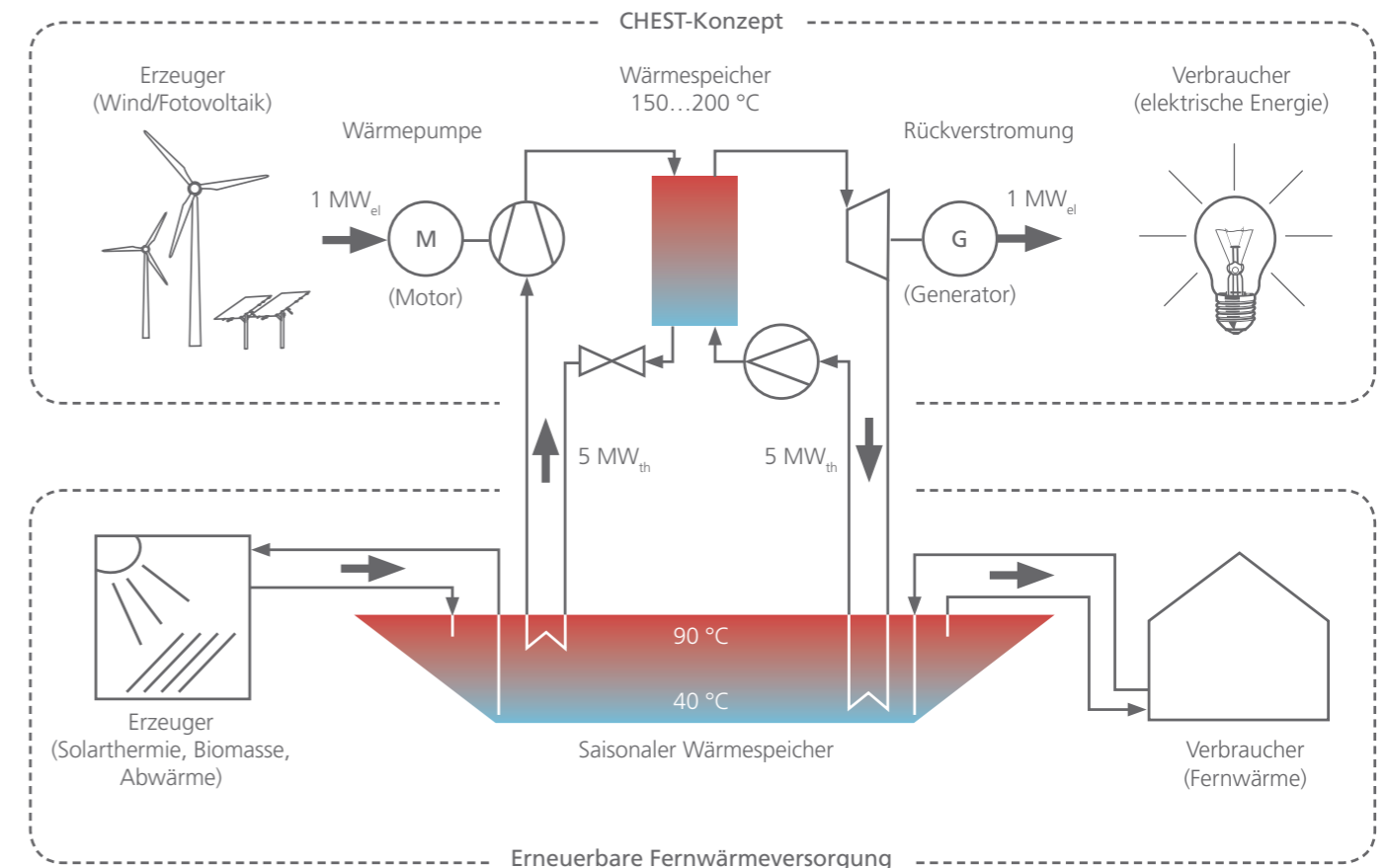
Ein Lösungsvorschlag sind großmaßstäbliche Energiespeicher, die aufgenommene elektrische Energie in eine andere Energieform überführen und zeitversetzt rückverstromen. Wir konzentrieren uns bei unseren Forschungsarbeiten im DLR auf drei grundlegende Prinzipien: Strom-Wärme-Strom-Speicher, Druckluftspeicher und Strom-Gas-Strom-Speicher. Von besonderer Wichtigkeit für das Energiesystem sind meiner Meinung nach Konzepte zur Sektorkopplung, also flexible Speicher, die je nach Bedarf sowohl Strom als auch Wärme liefern können. Clever ausgeführt lassen sich die Verluste, die bei der Umwandlung von elektrischer Energie in eine andere Energieform und wieder zurück zu elektrischer Energie auftreten, minimieren. Hierzu ist es jedoch erforderlich, Strom-Wärme-Strom-Speicher durch eine Wärmepumpe und Druckluftspeicher sowie Strom-Gas-Strom-Speicher durch einen Wärmespeicher zu ergänzen.

Wie weit sind Sie damit?

Wir haben zur Strom-Wärme-Strom-Speicherung mit hoher Energiedichte ein Verfahren entwickelt, das wir CHEST nennen: Compressed Heat Energy Storage. Damit wandeln wir elektrische Energie und Niedertemperaturwärme mittels Wärmepumpe in Hochtemperaturwärme um. Ein Phasenwechselspeicher nimmt diese auf und kann sie bei Bedarf zur Stromerzeugung zurückgeben. Bis 2020 wollen wir eine Technikumsanlage planen und aufbauen.



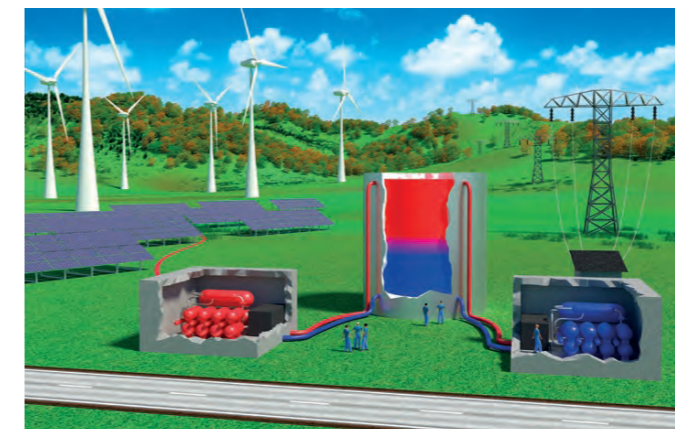
Dr.-Ing. Dan Bauer leitet im DLR Stuttgart die institutsübergreifenden Arbeiten zu Power-to-X-to-Power-Speichern sowie das Fachgebiet Thermische Systeme mit Phasenwechsel



Wie die Fernwärmeversorgung aus erneuerbarer Energie mit einer Strom-Wärme-Strom-Speicherung nach dem CHEST-Konzept zu einem flexiblen Energiemanagement- und -speichersystem verknüpft werden kann, wird derzeit am DLR erforscht und soll weltweit erstmalig mit einer Pilotanlage demonstriert werden. Vorgesehen ist ein mehrstündiger Ausgleich für elektrische Energie und ein saisonaler Ausgleich der Wärmeversorgung.

Was wäre der Vorteil des Konzepts?

Die Kombination macht es aus: Es funktioniert im Gegensatz zu Pumpspeicherwerken standortunabhängig mit nur sehr geringem Platzbedarf. Gleichzeitig ist es im Gegensatz zu Batteriespeichern zyklensfest, kann also über sehr viele Jahre betrieben werden. In Summe dürfte das Konzept hohe gesellschaftliche und wirtschaftliche Akzeptanz finden. CHEST ist deshalb als Schlüsseltechnologie in das große europäische Projekt CHESTER zur Entwicklung von Strom-Wärme-Strom-Speichern aufgenommen worden. Ziel ist es, mögliche Flexibilitätsoptionen für den Strom- und Wärmemarkt herauszuarbeiten und den technischen Nachweis durch eine Pilotanlage am DLR zu erbringen.



So könnte ein Strom-Wärme-Strom-Speicher aussehen

Wo sehen Sie die Knackpunkte für den Erfolg der Entwicklung?

Auch andere Forschungsinstitutionen arbeiten an solchen Speichersystemen. Bisher bestehen jedoch im Wesentlichen thermodynamische Konzeptüberlegungen. Wir sind mit konkreten Systemauslegungen schon einen Schritt weiter. Gebaut wurde aber noch nichts. Die Überführung der Theorie in die Praxis, die Bewältigung der zahlreichen technischen Herausforderungen, das ist der entscheidende nächste Schritt. Den Hochtemperatur-Wärmepumpen und thermischen Energiespeichern als Schlüsselkomponenten kommt dabei besondere Bedeutung zu.

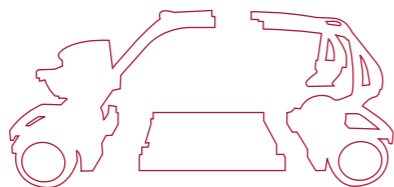
Energiespeicher

DLR-Fachleute der Disziplinen Systemverfahrenstechnik, Elektrochemische Energietechnik und thermische Prozesstechnik aus den Instituten für Technische Thermodynamik, Antriebstechnik, Solarforschung und Flugsystemtechnik bündeln seit Januar 2017 ihre Expertise, um Stromspeicher für morgen zu entwickeln, sogenannte PXP-Speicher: Power-to-X-to-Power.

- Drei Konzepte werden verfolgt:
- Strom-Wärme-Strom-Speicher
 - Adiabate Druckluftspeicher
 - Strom-Gas-Strom-Speicher

NEUES DENKEN FÜR EIN STADTAUTO

Fahrzeuge werden in Zukunft automatisiert und elektrisch fahren. Zusammen mit neuen Materialien und Fertigungsweisen lässt sich damit vieles bei der Fahrzeugkonstruktion neu denken. An solchen Konzepten für das Auto von übermorgen arbeiten DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler im Projekt Next Generation Car (NGC). Mit dem Urban Modular Vehicle (UMV) haben sie ein Konzept für ein modulares Stadt-Elektrofahrzeug entwickelt. Dank verschiedener Module, vor allem für die Karosserie, kann das Fahrzeug für unterschiedliche Anforderungen als kleiner Stadtfliker oder auch als großer, automatisch fahrender „Cargomover“, der seine Güter ganz ohne Fahrer von A nach B transportiert, gebaut werden.

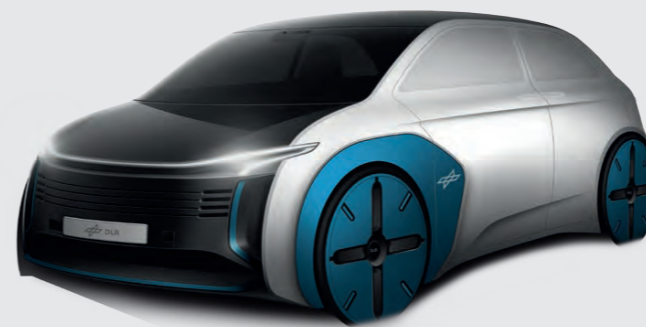


Ein modulares Konzept erhöht die Flexibilität und Effizienz im Autobau

Von Dorothee Bürkle

Das allererste Automobil sah aus wie eine Kutsche, nur ohne Pferde. Mittlerweile ist eine Fahrzeugkarosserie so ausgelegt, dass sie ein Höchstmaß an Sicherheit und Komfort bietet und der Motor (meist ein Verbrennungsmotor) darin optimal Platz findet. Schnittstellen für Hybrid- oder auch batterie-elektrische Antriebe sind zwar mittlerweile in den meisten Fällen vorhanden, sie haben bislang aber wenig Einfluss auf die Fahrzeuggestaltung. Doch wie wird das Auto der Zukunft aussehen? Forscher des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte haben im Verlauf des NGC-Projekts das Auto von Grund auf neu gedacht und ein Fahrzeug- und Karosseriekonzept für elektrifizierte und assistiert bis autonom fahrende Fahrzeuge für Städte und große Ballungsgebiete entwickelt.

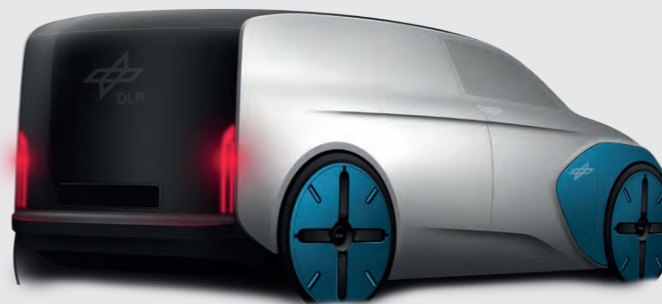
Zu Beginn stellte sich die Frage, welchen Anforderungen ein Stadtauto von morgen gerecht werden muss. Wie viele Personen sollen darin Platz finden? Wer braucht wie viel Stauraum für Gepäck oder Güter? Welche Reichweite soll es haben? „Daraus sind dann unterschiedliche Varianten mit unterschiedlichen Abmaßen, sogenannte Packages, entstanden“, beschreibt Marco Münster, Projektkoordinator UMV, die Vorgehensweise. Das Schlüsselwort ist Modularisierung, die über die heutigen Plattformgrenzen hinausgeht und auch eine intelligente Sicherheitsstruktur aufweisen muss. Eines der Konzepte ist die Basisvariante des UMV. Es ist 3,7 Meter lang und bietet bequem Platz für zwei Personen auf den Vordersitzen und für zwei weitere Personen auf den Rücksitzen. Angetrieben werden die zwei Elektromotoren durch eine Batterie im Bodenmodul, die für eine Reichweite von 400 Kilometern sorgen soll.



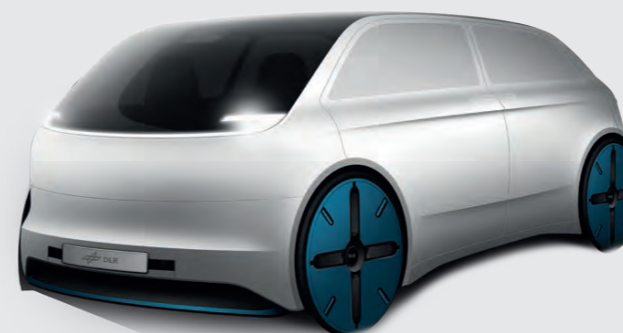
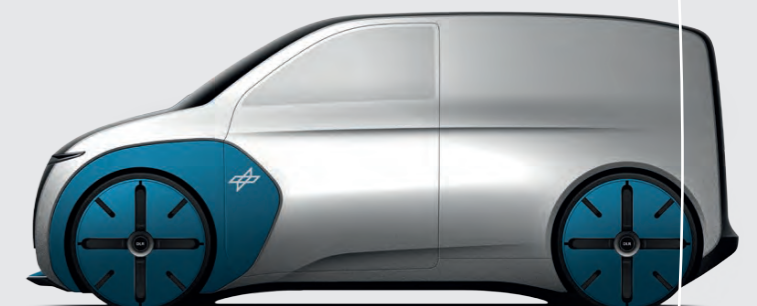
UMV Basic mit 2+2 Sitzen und einer Länge von 3,7 Metern sowie einer Batterie, deren Energie für 400 Kilometer reicht



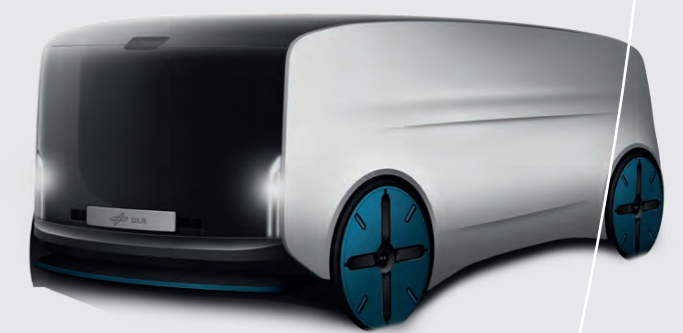
UMV Long: mehr Kofferraumvolumen und größere Reichweite



UMV Cargo mit einer Länge von 3,7 bis 4,1 Metern und einer Zuladungsmöglichkeit von bis zu 2.800 Litern



UMV „Peplemover“ und „Cargomover“ für vollständig autonomes Fahren



Das Urban Modular Vehicle (UMV)

UMV Basic

Länge: 3,7 Meter, Personen 2+2
Zweck: Stadtfahrzeug für private Nutzung oder Carsharing
Varianten: long, short

UMV Cargo

Länge: 3,7 Meter, Personen: 2
Zweck: Handwerkerfahrzeug mit bis zu 2.800 Liter Laderaum
Variante: long

UMV „Peplemover“

Länge: 3,7 bis 4,1 Meter
Personen: 2+2XXX
Zweck: vollständig autonom fahrendes Fahrzeug

UMV „Cargomover“

Länge: 3,7 bis 4,1 Meter
Personen: 0
Zweck: vollständig autonom fahrendes Fahrzeug für den Gütertransport



Je nach Einsatzzweck: variable Fahrzeuglänge und Aufbauten

Um die vielfältigen Anforderungen an ein künftiges Stadtauto abzudecken, haben die Forscher Konzepte für eine ganze Fahrzeugfamilie entwickelt. Insgesamt acht Varianten halten sie für sinnvoll, ausgehend vom beschriebenen UMV Basic über das Handwerker- oder Lieferauto – das UMV Cargo – bis hin zu den autonom fahrenden „People-“ und „Cargomovers“, die Personen oder Güter ohne Fahrer von A nach B transportieren können. Das eigentlich Neue am UMV ist die konsequent durchdachte Antriebs- und Karosseriearchitektur vom klassischen Kleinwagen bis zum autonomen „Peplemover“, dem PKW. Ausgehend von einem Bodenmodul, das unterschiedlich lang sein kann, wird das Fahrzeug wie aus einem Baukasten an Karosserieteilen, einem Modular Kit, zusammengestellt. Um von der Basic- zur Long-Variante zu kommen, werden beispielsweise lediglich ein längeres Bodenmodul und drei unterschiedliche Bauteile im Aufbau benötigt. Für den UMV Cargo wird der Aufbau ab Mitte des Fahrzeugs speziell gefertigt, der Rest kann übernommen werden. Die vollständig autonom fahrenden Cargo- und Personenfahrzeuge können aus

dem Modular Kit zusammengesetzt werden. Der Baukasten für das UMV ist so konzipiert, dass nur wenige unterschiedliche Module für diverse Anwendungen genügen. Er bietet damit schon heute die Möglichkeit, Karosserieplattformen bei der Markteinführung autonomer Fahrzeugderivate zu nutzen. Hier liegt großes Einsparpotenzial bei der Fahrzeugproduktion.

Denken ohne Serienzwang

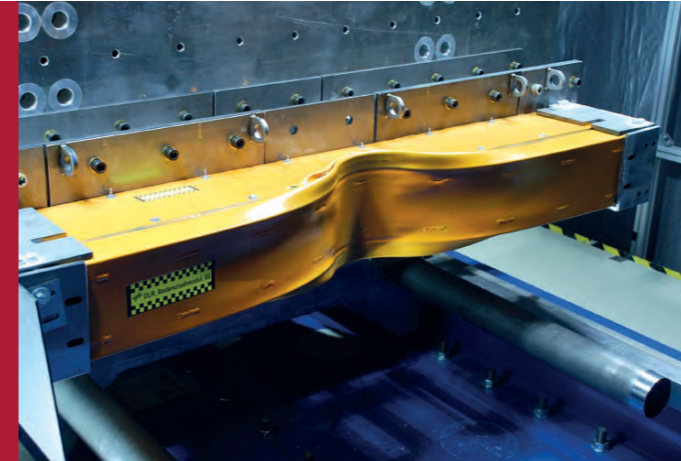
„Autobauer denken an die nächste Generation und müssen sich bei der Fahrzeugkonstruktion oft an ihre Fahrzeugserien anpassen. Mit unseren Fahrzeugkonzepten sehen wir nutzerorientiert und systemisch weiter in die Zukunft“, sagt Gundolf Kopp, Forschungsfeldleiter im Institut für Fahrzeugkonzepte. Zudem können die Ingenieure auch schon Entwicklungen in ihr Konzept-Fahrzeug implementieren, die Autohersteller oder Zulieferer noch nicht in Serie bringen können oder wollen. „Unser Ziel ist es, der Industrie, aber auch Zulieferern oder Start-ups, unterstützende Impulse zu geben, sowohl für spezifische Technologien als auch zur Methode der Fahrzeugkonstruktion“, so Marco Münster.

Vor allem die systematische und ganzheitliche Methodik, mit der Fahrzeugvarianten je nach Anforderungen erstellt werden, beschleunigt und vereinfacht die Fahrzeugkonstruktion. So können die Ingenieure wunschgemäß die optimale Fahrzeugstruktur sofort bis ins Detail ausarbeiten. „Bei einem Handwerkerfahrzeug, das Stauraum für eine ganze Palette bieten soll, sollten Batterie und Fahrzeugantrieb nicht unterhalb des Kofferraums verstaut sein. Oder: Variabel einsetzbare Personenfahrzeuge sollten für mehr Freiheit im Innenraum keine Mittelkonsole haben“, beschreibt Kopp einige Beispiele dafür, wie sich eine unterschiedliche Nutzung auf die Fahrzeugkonstruktion auswirkt. Die DLR-Wissenschaftler können mit ihrer Methode zudem nicht nur die optimale Form eines Wagens ableiten, sie müssen auch berechnen, welche Lasten die einzelnen Fahrzeugbauteile aushalten müssen. Diese werden abschließend sowohl in der Simulation ermittelt als auch in realen Crash-Versuchen verifiziert. Dafür entwickelten sie zum Beispiel ein hochintegriertes Boden-Crash-Modul.

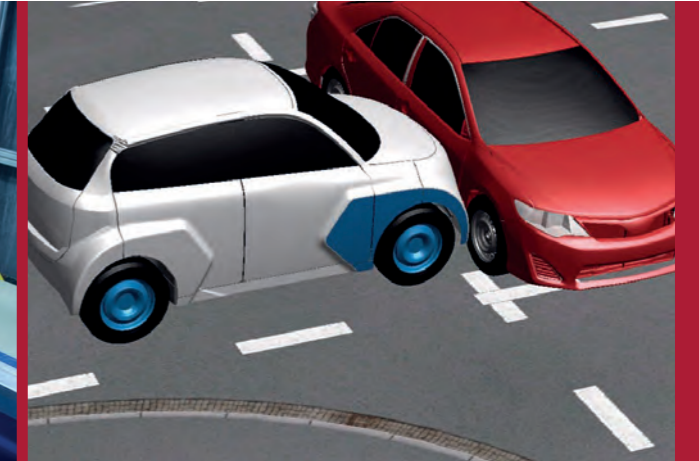
NGC

Im Projekt Next Generation Car entwickeln Verkehrsforscher im DLR eine Fahrzeugfamilie, die ein möglichst breites Einsatzspektrum abdeckt. Die Arbeiten gliedern sich in die Forschungsthemen:

- Fahrzeugintelligenz
- Fahrzeugkonzept
- Fahrzeugstruktur
- Fahrgestell Mechatronik
- Antrieb
- Energiemanagement



Mit Crash-Versuchen überprüfen die DLR-Ingenieure, wie die Energie eines Aufpralls von den Fahrzeugkomponenten absorbiert wird



Zu den DLR-Arbeiten gehört auch die Analyse innovativer adaptierbarer Sicherheitssysteme für „unausweichliche Unfallsituationen“

Crash-Experiment zum Schutz der Batterie

Bei allen neuen Konzepten wird die Fahrzeugsicherheit von Anfang an mitgedacht und in Crash-Tests, sowohl in Simulationsberechnungen als auch in realen Crash-Versuchen, überprüft. Neben den Fahrzeuginsassen gilt es beim UMV, die Batterie im Bodenmodul zu schützen, eine der wichtigsten und auch teuersten Komponenten des Fahrzeugs. Die Stabilität des Bodenmoduls und die vorgelagerte Crash-Struktur testeten die Forscher mit einem sogenannten Pfahlcrash. Der Test sieht vor, dass ein Fahrzeug bei einer Geschwindigkeit von 29 Kilometern pro Stunde seitlich mit einer Säule oder einem Pfahl kollidiert. Die dabei entstehende hohe Energie wird im neu entwickelten Boden-Crash-Modul geschickt auf kleinem Weg (circa 160 Millimeter) absorbiert und durch Verformung des entsprechenden Bauteils aufgenommen.

HÄRTEFALL IM LABOR

Großgeräte im DLR: die dynamische Komponentenprüfanlage in Stuttgart

Wann immer es um neuartige Bauteile für Fahrzeuge geht, spielt nicht nur die leichtere Bauweise, sondern auch die Sicherheit großer Zusammenbauten und Komponenten eine Rolle. Crash-Versuche mit Gesamtfahrzeugen sind aufwändig und teuer. Die DLR-Wissenschaftler können mit ihrer einzigartigen Prüfanlage ganze Teilsysteme so belasten, dass ihr Deformationsverhalten dem im realen Einsatz sehr nahe kommt. DLR-Verkehrs- und Energieredakteurin Dorothee Bürkle befragte Gundolf Kopp vom Institut für Fahrzeugkonzepte dazu.

Herr Kopp, wie muss man sich die Stuttgarter Crash-Anlage in Aktion vorstellen?

■ Um möglichst viele Testkonfigurationen abbilden zu können, besteht die Anlage aus zwei Schlitzen. Für einen Crash-Test wird einer der beiden Schlitzen entlang einer Schienenbahn beschleunigt und trifft auf den zweiten Schlitz. Dieser kann entweder fest stehen, beispielsweise um einen Frontalcrash gegen ein stehendes Hindernis abzubilden, oder auf der Schienenbahn in Längsrichtung frei beweglich aufgestellt sein. Der zweite Fall wird beispielsweise für die Nachbildung eines Seitenaufpralls verwendet. Beschleunigt wird der Schlitz durch einen mit Pressluft betriebenen Zylinder, dessen Beschleunigungskraft durch eine hydraulische Bremse geregelt wird. Dadurch lässt sich die Aufprallgeschwindigkeit genau festlegen.

Was ist das Besondere an der Forschungsanlage?

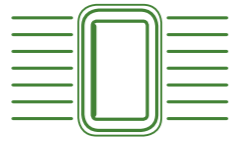
■ Der Schlitten kann mit einer Gesamtmasse von 1.300 Kilogramm auf maximal 64 Stundenkilometer beschleunigen. Damit können große Fahrzeugstrukturen für leichte bis mittelschwere Konzeptautos unter realitätsnahen Bedingungen getestet werden. Die Schlitzen sind vertikal sowie in Querrichtung geführt, um eine hohe Reproduzierbarkeit der Versuche zu erreichen.

Welchen Stellenwert hat sie in Ihrer Forschung?

■ Die Crash-Anlage ermöglicht es, große Komponenten und Teilstrukturen zu testen, sodass der Aufbau einer kompletten Karosserie nicht notwendig ist. Solche automobilspezifischen Baugruppentests können Berechnungsergebnisse von Strukturen schon in frühen Entwicklungsphasen bestätigen. Dank des flexiblen Aufbaus der dynamischen Komponentenprüfanlage können wir eine große Anzahl verschiedener Crash-Versuche durchführen. Das geht bis zur Verifizierung neuartiger adaptiver Fahrzeugstrukturen in der digitalisierten Entwicklungskette. Besonders relevant sind hier Strukturen, die trotz der neuartigen Modularisierung alle Anforderungen der integralen Sicherheit aktiv und passiv abdecken können.

QUALIFIZIERT AUF MISSION

Raumfahrt ist Schwerarbeit. Nicht nur für die Astronauten und Wissenschaftler, die ihre Instrumente entwickeln, bauen und auf die Reise schicken. Oder für die Ingenieure, die die Raumsonden konstruieren, und die Teams, die von ihrem irdischen Kontrollraum aus die Missionen steuern. Schwerarbeit ist der Flug durchs All vor allem auch für jedes Kabel und jede Diode, die mitfliegen. Beim Start auf einer Rakete werden sie durchgeschüttelt und überstehen enorme Beschleunigungen. Während des Fluges durch den Weltraum prasseln Teilchen der kosmischen Strahlung auf sie ein. Und die Temperatur kann beim ständigen Wechsel von der Sonnen- zur Schattenphase extrem schwanken. Hängt von diesen Bauteilen aber das Gelingen der gesamten Mission ab, muss vorher sichergestellt werden, dass sie raumfahrtgeeignet sind. Der Eignungsnachweis eines Bauteils wird im Rahmen der Raumfahrtqualifikation erbracht. Die dafür einzige Zertifizierungsstelle in Deutschland ist das DLR in seiner Funktion als Raumfahrtagentur.

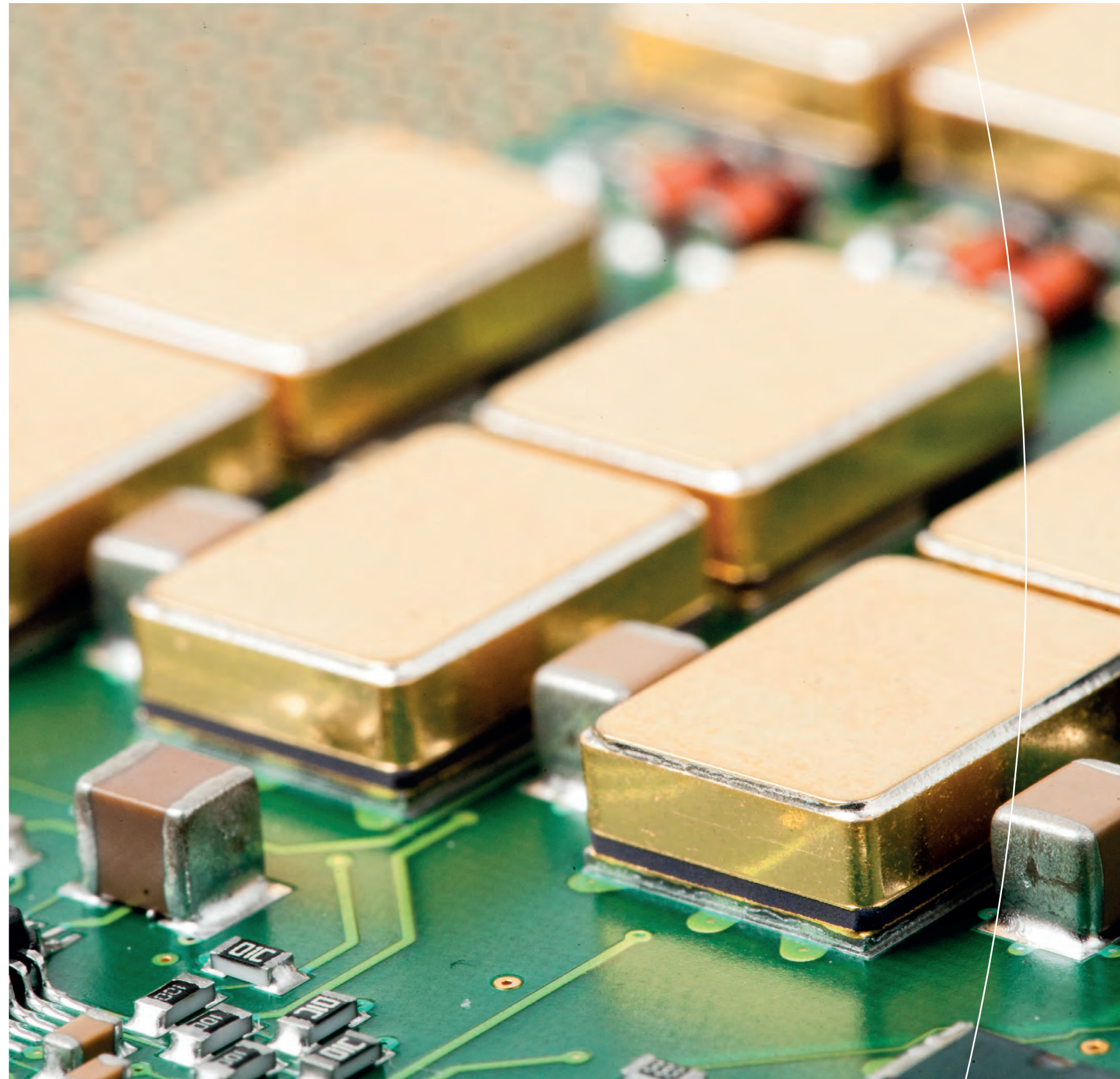


DLR-Ingenieure sorgen dafür, dass Bauteile unter den Extrembedingungen des Alls funktionieren

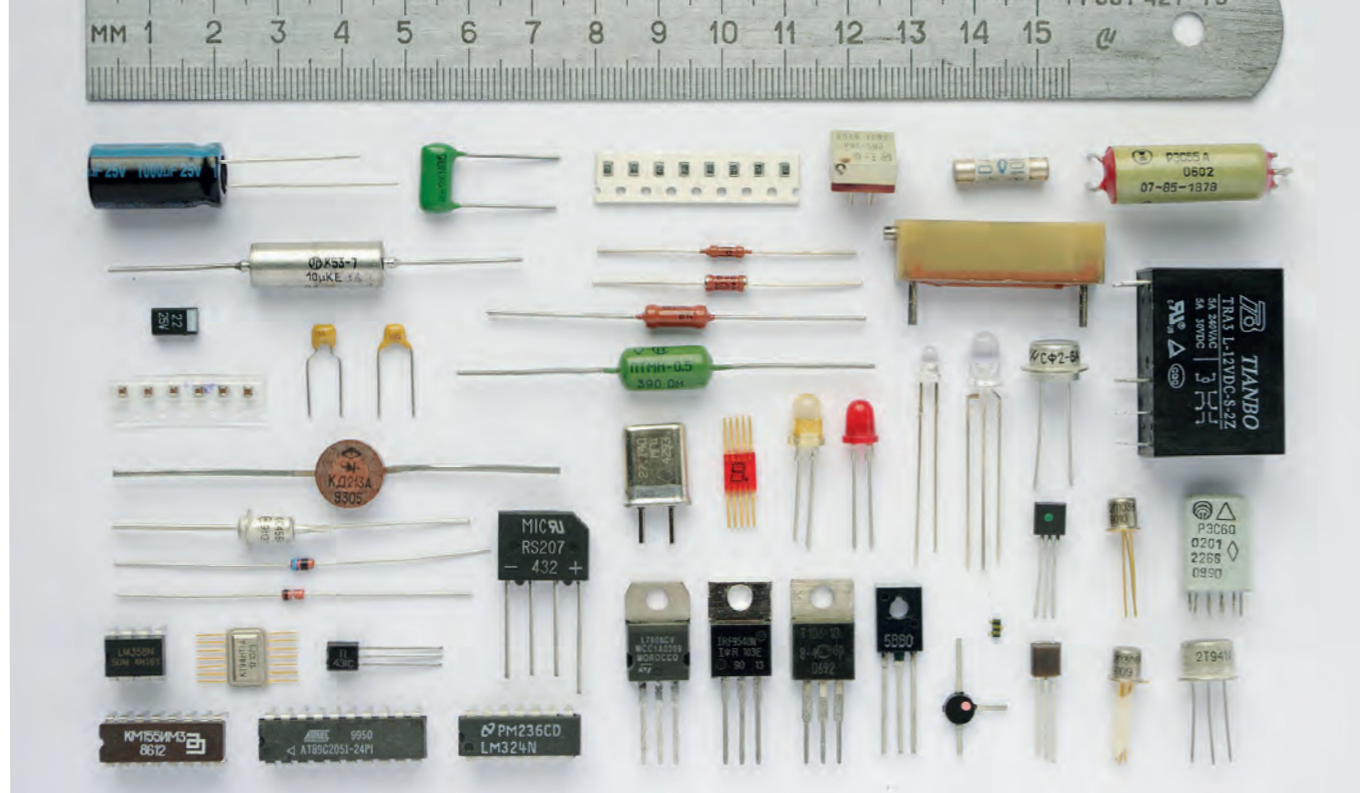
Von Manuela Braun

Filigran wirken sie, kaum größer als ein Streichholz lang, sind sie in vergoldeten Schalen auf einer Platine angeordnet. So unauffällig sie auch aussehen – im Oktober 2018 wird Strom durch die „PowerMOSFETs“ (MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) fließen, verstärkt werden und den Motor antreiben, der einen kleinen Schwungarm in Bewegung setzt. Der lässt dann in 325 Millionen Kilometer Entfernung von der Erde den DLR-Lander MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout) auf dem Asteroiden Ryugu mehrere Meter weit zur nächsten Messposition hüpfen. Die „PowerMOSFETs“ haben dann schon einen Raketenstart, eine 47-monatige Reise durchs All und die Landung auf einem fremden Himmelskörper hinter sich. Haben die Leistungstransistoren bis dahin die Mission unbeschadet überstanden, so ist das auch das Verdienst von DLR-Ingenieur Guido Joormann. Der Elektroingenieur hat nämlich entscheidend daran mitgearbeitet, dass Transistoren so lange geprüft und optimiert wurden, bis sie einer ganz bestimmten, seltenen Art angehörten: den raumfahrtqualifizierten Bauteilen.

Dass Joormann weiß, wohin sein qualifiziertes „PowerMOSFET“ reist, ist dabei allerdings eine Ausnahme: „Meistens wissen wir gar nicht, auf welchen Missionen die von uns zertifizierten Bauteile eingesetzt werden“, sagt der Ingenieur. Die Bauteile werden nicht einzeln für jede Mission ausgewählt und geprüft. Stattdessen soll nach und nach ein umfangreiches standardisiertes Angebot entstehen, auf das viele Satelliten-, Sonden- und Instrumentenkonstruktoren in Deutschland



Klein, aber entscheidend, die Leistungstransistoren „PowerMOSFETs“: Was sich unter dieser goldfarbenen Schale verbirgt, sorgt im Weltraum dafür, dass Asteroidenlander MASCOT genau den Strom erhält, den er zum Hüpfen braucht.



Bauteile, die auf einer Mission auf keinen Fall ausfallen dürfen, müssen für die Bedingungen im Weltraum speziell qualifiziert werden

zurückgreifen können, wenn sie ihre Missionen planen und umsetzen. „Das Bauteil wird dann gleich für eine Vielzahl von möglichen Projekten spezifiziert – das ist zwar zu Beginn mehr Aufwand, macht sich aber mit guter Verfügbarkeit, größeren Stückzahlen und höherer Zuverlässigkeit bezahlt. Für die einzelnen Projekte sinken dadurch die Beschaffungskosten.“ Für spezielle Missionen mit noch höheren Anforderungen – beispielsweise bei der Strahlenfestigkeit der Bauteile für die Jupitermission JUICE – sind an den raumfahrtqualifizierten Bauteilen nur noch wenige zusätzliche Tests durchzuführen.

Unabhängig von Monopolen und Zollbestimmungen

Transistoren, die elektrische Spannungen und Ströme steuern, finden sich heute zwar in jedem Fernseher, Handy oder Radio. Nur: Keines dieser Geräte würde zuverlässig die Bedingungen aushalten, unter denen die Bauteile bei Missionen ins All funktionieren müssen. „Die Erdatmosphäre schützt vor Weltraumstrahlung, im All hingegen können Strahlungsteilchen mit hoher Geschwindigkeit und Energie ungehindert in die Bauteile schießen und sie zerstören.“ Für die Mission könnte solch ein Ausfall eines strategisch wichtigen Bauteils das Scheitern bedeuten. Schon beim Start mit einer Rakete wirken Kräfte auf die feinen Drähte eines Transistors, die beim irdischen Gebrauch kaum auftreten.

Die umfangreichen Voruntersuchungen, Entwicklungen und Tests für MASCOT-Transistoren fingen bereits 2004 an – und endeten im Herbst 2012 mit der erfolgreichen Qualifikation durch das DLR. „Vorher gab es weltweit nur einen Hersteller, der diese qualifizierten, strahlungsfesten Bauteile anbot“, erläutert Joormann. Eine ungünstige Situation, denn zu der Monopolstellung kamen auch noch sehr strenge und damit aufwändige Exportbestimmungen hinzu. Mit der erfolgreichen Qualifikation der Leistungs-MOSFETs von Hersteller Infineon stehen der nationalen, europäischen sowie internationalen Raumfahrtindustrie und -forschung nun auch Bauteile eines deutschen Herstellers zur Verfügung.

Winzig, aber entscheidend

Qualifiziert werden müssen beispielsweise Kabel, Widerstände, Kondensatoren, integrierte Schaltkreise, Dioden und Transistoren, aber auch ganze Prozesse, die beim Aufbau von Bauteilen ablaufen – so zum Beispiel ein Lötprozess für vielpolige Bauteile mit mehr als 1.000 Anschluss-Pins. Um dabei immer einen einheitlichen Standard

zu gewährleisten, haben sich die europäischen Raumfahrtagenturen, die Anwender von Bauteilen aus der europäischen Raumfahrtindustrie sowie die Hersteller von elektrischen, elektronischen und elektromechanischen Bauteilen zusammengeschlossen und die European Space Components Coordination (ESCC) gegründet. Das DLR vertritt als Mitglied im ESCC die deutsche Raumfahrtagentur sowie die nationalen Interessen der Raumfahrtindustrie und verantwortet die notwendigen Qualifikationen für die Raumfahrt. Dabei definieren und kontrollieren die DLR-Ingenieure die erforderlichen Grenzwerte und legen die Mindestanforderungen fest.

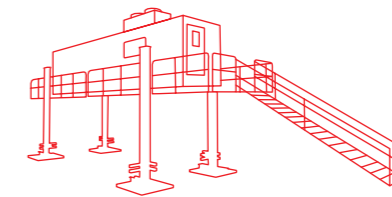
Die PowerMOSFETs, die im Inneren von Lander MASCOT derzeit noch zum Asteroiden Ryugu reisen, sind kleine Überlebenskünstler: Sie halten Temperaturen von minus 55 Grad Celsius bis plus 150 Grad Celsius aus und sind bis zu 3.000 Gray strahlungsfest. Außerdem können sie Stöße von 1.500 GigaNewton, Vibrationen im Frequenzbereich von zehn bis 2.000 Hertz und Beschleunigungen von 20.000 GigaNewton, also das 20.000-Fache des eigenen Gewichts, überstehen. Wer solch ein Bauteil für seine zukünftigen Missionen verwenden möchte, hat nun die Gewissheit, dass es die Anforderungen der Raumfahrt erfüllt. „Bis es so weit war, hatten wir allerdings auch sehr viel Papierkrieg und mussten umfangreiche Testreports prüfen“, sagt Abteilungsleiter Joormann.

Die Qualifikation von Bauteilen ist kleinteilig und aufwändig. Hersteller und Testunternehmen müssen dafür begutachtet, manche Stichprobe unter dem Mikroskop betrachtet und Messergebnisse analysiert und bewertet werden. Jedes Zertifikat für die ESCC ist alle zwei Jahre zu erneuern. Etwa zwei bis drei Jahre kostet es, bis aus einem „normalen“ marktreifen kommerziellen Bauteil ein „spezielles“ raumfahrtqualifiziertes Bauteil wird. Jeder Schritt dieses Verfahrens muss gewissenhaft und detailliert dokumentiert werden: „Wenn eine Fehlfunktion auftritt, müssen wir exakt nachvollziehen können, wann und unter welchen Bedingungen sie aufgetaucht ist.“

In der Raumfahrt können Fehler nur selten korrigiert werden – was einmal fliegt, ist für Reparaturen nicht mehr erreichbar und kann auch so schnell nicht in einer weiteren Mission ersetzt werden. Für die Industrie bringt der Auftrag zur Qualifizierung von Bauteilen nicht nur einen finanziellen Vorteil – „es ist für die Industriepartner auch eine Art Qualitätssiegel“, betont Joormann. „Wer für anspruchsvolle Raumfahrtanwendungen Bauteile produzieren kann, zeigt, dass er über Wissen, Engagement und geeignete Arbeitskräfte verfügt.“

FRISCHES GRÜN AUS DEM EIS

EDEN-ISS-Gewächshaus in der Antarktis soll zeigen: Obst und Gemüse können auch in extremen Umgebungen gedeihen



Die Überwinterung für die Crew auf der AWI-Antarktisstation Neumayer III hat begonnen: Bis zum kommenden November sind keine Lieferungen von frischem Proviant möglich. Nur wenn DLR-Wissenschaftler Paul Zabel in dem 400 Meter von der Station entfernt gelegenen EDEN-ISS-Gewächshaus Obst und Gemüse ernten kann, wird der Speiseplan mit frischem Grün angereichert. Dafür hat das DLR ein für extreme Umwelten konzipiertes Gewächshaus errichtet. Die Antarktis ist das ideale Testgelände für die Gemüsezüchtung ohne Erde, mit künstlichem Licht in einem abgeschlossenen System.

Der Testlauf soll aber nicht nur die Kultivierung von Nutzpflanzen in Gebieten mit tiefen Temperaturen oder in Wüsten auf der Erde demonstrieren, sondern auch zeigen, dass zukünftige bemannte Missionen zu Mond und Mars so versorgt werden können. Doch vor der Ernte war das in Containern integrierte Gewächshaus funktionsfähig zu machen. Nachdem die zwei Container Teile von der Schiffeisante zur Station geschleppt und auf dem vorinstallierten Gerüst zusammengesetzt worden waren, mussten Regale eingerichtet, Pumpen für die Nährlösung installiert und Spezial-LEDs für die optimale Beleuchtung kalibriert werden. Nach diesen Vorbereitungsarbeiten reiste ein Großteil des Teams im Februar ab. Seitdem ist Paul Zabel vom DLR-Institut für Raumfahrtssysteme der einsame Gärtner. Er kümmert sich nun um die Pflanzenaufzucht im polaren Winter.

Aeroponik wird die Gärtnerei unter künstlich geschaffenen Bedingungen genannt. Dabei werden Pflanzen ohne Erde steril kultiviert und

deren Wurzeln computergesteuert mit einem Wasser-Nährstoffgemisch besprüht sowie die Blätter mit Spezial-LEDs optimal beleuchtet. „Die Luft im Gewächshaus passen wir ebenfalls den Bedürfnissen der Pflanzen bestmöglich an. So wird der Kohlendioxid-Gehalt gesteigert und wir reinigen mit speziellen Filtern die Luft von Pilzsporen und Keimen bis hin zur Luftsterilisation mittels UV-Strahlung, womit eine rein biologische Züchtung ohne Insektizide und Pestizide möglich ist“, erklärt DLR-Projektleiter Daniel Schubert. „Wie auf einer Raumstation hat das Gewächshaus einen vollständig geschlossenen Luftkreislauf, inklusive einer Schleuse, durch die Paul Zabel Tag für Tag das Gewächshaus betritt. Der geschlossene Kreislauf ermöglicht zudem, sämtliches Wasser aufzufangen und wiederzuverwenden.“

Vom 21. Mai bis zum 22. Juli schafft es die Sonne in der Gegend der Neumayer-Station III nicht mehr über den Horizont und die Temperaturen können bis unter minus 40 Grad Celsius fallen. „Es wird sicher eine Bereicherung des Speiseplans, wenn Paul unsere Vorratskost mit frischem Gemüse direkt aus dem Gewächshaus ergänzt“, sagt Bernhard Gropp vom AWI. Er leitet die Station während der Überwinterung 2018. In der Zeit lebt ein zehnköpfiges Team, bestehend aus Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen, Ingenieuren, einer Köchin und einem Arzt auf der Neumayer-Station III. Uns interessiert, ob sich mit der frischen Kost ein positiver psychologischer Effekt erzielen lässt, sagt der Stationsleiter. Dafür wird Paul Zabel in den nächsten Monaten immer wieder aussäen und ernten. Den Anfang machten Gurken, Tomaten und Paprika.

Tegen/Braun



Die Neumayer-Station III des AWI ist für ein Jahr die Heimat von DLR-Wissenschaftler Paul Zabel

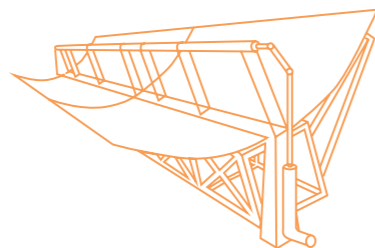
INTERNATIONALE PARTNER

Das Projekt EDEN-ISS wird in Zusammenarbeit mit dem Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) realisiert. Im Forschungskonsortium zudem vertreten sind Partner aus acht weiteren Ländern: den Niederlanden (Wageningen University and Research), Österreich, (LIQUIFER Systems Group), Italien (National Research Council, Thales Alenia Space Italia, Enginsoft, AeroCosmo und Telespazio), Kanada (University of Guelph), Schweden (Heliospectra), Irland (Limerick Institute of Technology) und den USA (University of Florida) sowie aus Deutschland noch Airbus Defence and Space. Finanziert wird das Projekt aus dem Europäischen Forschungsrahmenprogramm Horizon 2020.

Über den Hashtag #MadeInAntarctica kann die Mission auf Twitter, Facebook und Instagram verfolgt werden.

DIE SONNE BESSER EINFANGEN

Langsam fliegt eine Drohne über die Parabolrinnen des spanischen Andasol-Solkraftwerks. Mit einer Messkamera wird jeder Quadratcentimeter der Spiegel aus verschiedenen Perspektiven aufgenommen. Insgesamt 90 Kilometer lang sind die verspiegelten Parabolrinnen des Solarkraftwerks, die Drohne braucht zwei Stunden für den Überflug des 450 Fußballfelder großen Solarfelds. Später werden die Bilder mit einem Computerprogramm minutiös ausgewertet. Mit solchen Messungen können die Mitarbeiter der DLR-Ausgründung CSP Services GmbH für ihre Kunden herausfinden, wie effizient die Kollektoren in einem Solarfeld das Licht tatsächlich bündeln und wie sich der Betrieb optimieren lässt.



DLR-Ausgründung CSP Services optimiert seit über zehn Jahren Solarkraftwerke

Von Dorothee Bürkle

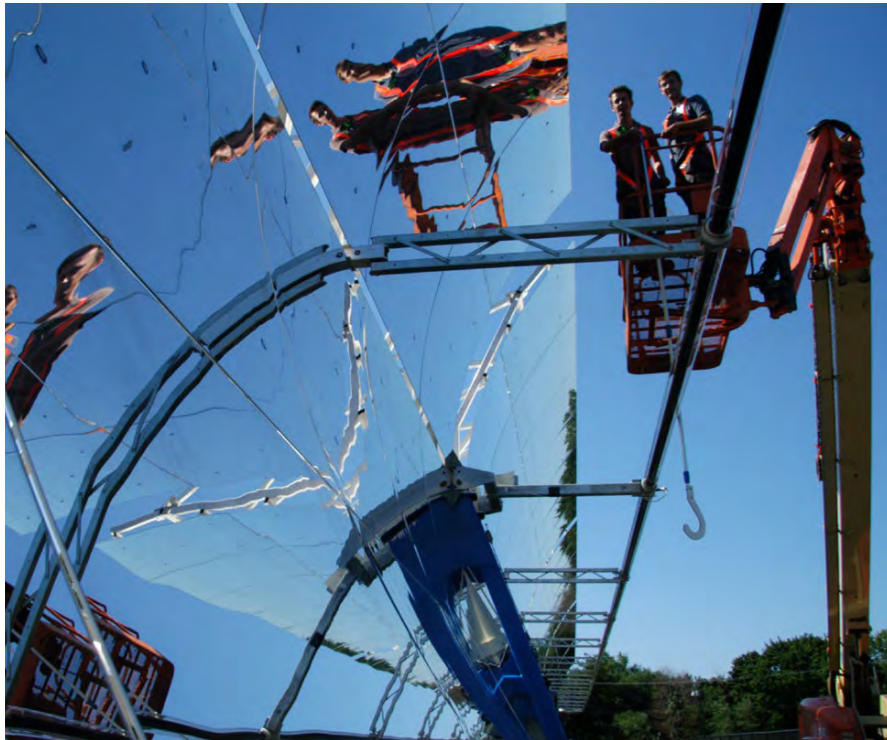
Die Sonne liefert den Rohstoff eines Solarkraftwerks, je genauer die Spiegel deren Strahlung konzentrieren, desto mehr Strom kann das Kraftwerk ins Netz einspeisen. Mit den Kontrollen und der anschließenden Optimierung, beispielsweise durch präzise Ausrichtung der Kollektoren, kann CSP Services den Ertrag eines Kraftwerks um einige Prozent steigern. Für die Anlagenbetreiber wichtige Mehreinnahmen auf einem hart umkämpften Markt. Das Messverfahren und die dazugehörige Software QFly aus einem DLR-Entwicklungsprojekt hat CSP Services kürzlich unter Lizenz genommen. „Was früher Monate dauerte, geht nun in wenigen Tagen. Ein Vorzug, den wir nun für unsere Kunden weltweit nutzen wollen“, sagt Klaus Pottler, einer der beiden Geschäftsführer.

Know-how aus der Entwicklung von Solarkraftwerken

Solkraftwerke optimieren und den Ertrag steigern, mit diesem Angebot hat sich der globale Dienstleister CSP Services 2007 aus dem DLR ausgegründet. Seither berät das Unternehmen Hersteller, Betreiber und Investoren von konzentrierenden Solarkraftwerken und bietet Messtechniken zur Überprüfung der Anlagen an. Die Ausgründung basiert auf Lizenzen, Expertenwissen und Forschungsergebnissen aus der DLR-Energieforschung. Bereits in den Achtzigerjahren begann das DLR an konzentrierenden Solarsystemen zu forschen, die in der Fachwelt als Concentrating Solar Power (CSP)-Systeme bekannt sind.



Schnelle Erfassung aus der Luft: Mit Hilfe des fliegenden Kamerasystems QFly werden die Parabolspiegel eines Solarkraftwerks vermessen. Mit den Daten kann der Betrieb optimiert und der Ertrag gesteigert werden.



Die Verfahren zur Optimierung von Solarkraftwerken wurden im DLR-Forschungsbereich Energie entwickelt. CSP Services bietet Anlagenbetreibern die lizenzierten Verfahren nun bereits seit zehn Jahren an und macht es ihnen so möglich, die Qualität im Kraftwerkbetrieb fundiert zu sichern.

Bei Parabolrinnenanlagen werden Sonnenstrahlen durch gekrümmte Spiegel auf eine Linie im Fokus der Parabolrinne reflektiert. Dort befindet sich der Strahlungsempfänger, auch Receiver genannt, wo das Sonnenlicht in Wärme umgewandelt wird. Bei den alternativ eingesetzten Solarturmanlagen werden die Sonnenstrahlen durch ein Feld von zweiachsig nachgeführten Spiegeln (Heliostaten) auf die Spitze eines Turms konzentriert. Von da an funktioniert ein Solarkraftwerk ähnlich wie ein konventionelles Gas- oder Kohlekraftwerk, das die Wärmeenergie zur Verstromung nutzt. DLR-Wissenschaftler haben in diesem Technologiebereich bis heute so einigen Industriepartnern dabei geholfen, wichtige Komponenten wie Spiegel oder Receiver zu entwickeln.

Bei Anlagenbetreibern gefragtes Fachwissen

Mit ihrem langjährigen Fachwissen wurden DLR-Wissenschaftler zu immer wichtigeren Ansprechpartnern für Anlagenbauer, Betreiber und Investoren. „Ab dem Jahr 2005, als Spanien begann, Solarkraftwerke mit einer hohen Einspeisevergütung zu fördern, war das Know-how des DLR enorm gefragt, die Anfragen häuften sich“, erinnert sich Steffen Ulmer, ebenfalls Gründer und Geschäftsführer von CSP Services und damals Wissenschaftler im DLR. Seiner damaligen Arbeitsgruppe war schnell klar, dass diese Anfragen aus der Industrie durch eine Unternehmensausgründung besser bedient werden konnten. Es war ein großer Erfolg, dass eine im DLR mitentwickelte Technologie zur regenerativen Stromerzeugung auf dem Markt Fuß fasste. Die Nachfrage nach ihrer Messtechnik wuchs.

Allerdings gehören Beratung und Optimierung von kommerziellen Kraftwerken nicht dauerhaft zu den Aufgaben einer Forschungseinrichtung. An dieser Stelle wagten die drei DLR-Energieforscher Eckhard Lüpfer, Steffen Ulmer und Klaus Pottler den Sprung und gründeten mit zwei weiteren Partnern ein Unternehmen. Unterstützt wurden sie dabei aus dem „Helmholtz Enterprise Fonds“ (HEF) und vom Technologiemarketing des DLR, unter anderem bei der Ausarbeitung eines Business-Plans, der 2007 von der Existenzgründerinitiative „Neues Unternehmertum Rheinland e.V.“ (NUK) mit zwei Hauptpreisen ausgezeichnet wurde.

Doch trotz des Rückenwinds hatten die Gründer auch Zweifel: „Wir waren als Forscher angetreten und wollten uns intensiv mit der Materie auseinandersetzen. Unternehmer zu werden stand eigentlich nicht auf unserem Plan“, erinnert sich Steffen Ulmer. Doch es sprach viel dafür, den Schritt zu wagen: „Wir hatten bereits erste Kunden, in der Branche herrschte Aufbruchsstimmung, wir hatten gute Unterstützung durch das DLR-Technologiemarketing und nicht zuletzt eine wichtige Sicherheit: Wir konnten unsere Arbeitszeit im DLR reduzieren, die Stellen aber zunächst beibehalten.“

Es folgte eine sehr intensive Zeit: Die Gründer eröffneten 2008 gleich zwei Büros, am DLR-Standort Köln und in der Nähe der Plataforma Solar de Almería (PSA), dem „Silicon Valley“ der Solarenergieforschung im Süden Spaniens. Die von den Gründern im DLR selbst entwickelte fotogrammetrische 3D-Messtechnik „QFoto“ wurde vom DLR an CSP Services lizenziert und erstmals bei einem Auftrag des spanischen Kraftwerkbauers Abengoa eingesetzt. „Viele Dinge waren neu für uns“, blickt Ulmer zurück. „Wir mussten uns um ganz Banales, wie Büros und eine betriebliche Infrastruktur, kümmern, aber auch internationale Verträge aushandeln und uns ins Steuer- und Versicherungsrecht einarbeiten. Unsere Systeme standen nur als Prototypen zur Verfügung, wir mussten sie industrietauglich und ausfallsicher machen. Und nebenher suchten wir noch neue Mitarbeiter.“

Pottler erinnert sich noch an einen der ersten Aufträge, bei dem die junge Firma ein Messsystem zur Qualitätssicherung der Kollektorserienfertigung im Solarkraftwerk Kuraymat in der Nähe von Kairo installierte. Das System war fertig eingerichtet, für den nächsten Tag war der Rückflug geplant. Bei der Anfertigung der Sicherheitskopie fiel der Messrechner aus und musste über Nacht neu aufgesetzt werden. „Wir haben die ganze Nacht über bei Notbeleuchtung den Fehler behoben und das System bis zum Morgengrauen wieder aufgebaut. Irgendwann in der Nacht luden uns die Nachtwächter, angeheuerte ägyptische Bauern aus der Umgebung, an ihr Lagerfeuer ein. Unter dem gigantischen Sternenhimmel Ägyptens tranken wir gemeinsam Tee.“ Ein Erlebnis, das Pottler nicht missen möchte: „Der Kontakt mit anderen Kulturen, Religionen und Sprachen in weit entfernten ländlichen Gebieten der Erde ist mindestens ebenso interessant wie die Beschäftigung mit der Solartechnik.“

Parallel zu den ersten Aufträgen entwickelten die Unternehmer in dieser Phase auch neue Messtechniken: 2009 erweiterte CSP Services sein Angebot und ging mit ersten automatischen Wetterstationen und dem – ebenfalls vom DLR lizenzierten – QDec-System auf den Markt. Neben vollen Auftragsbüchern gewannen die CSP Services-Gründer mit anderen DLR-Mitarbeitern 2009 den SolarPACES Technology Innovation Award und den DLR-Innovationspreis der Gesellschaft von Freunden des DLR. 2012 war das Unternehmen für den Deutschen Gründerpreis nominiert.

Jähe Wendung: Der Markt in Spanien brach zusammen ...

Zunächst gab es nur Wachstum: Nach nur zweieinhalb Jahren hatte die Firma 20 Mitarbeiter und wuchs weiter. Doch 2012 kam der Einschnitt: Im Zuge der Wirtschaftskrise kürzte die spanische Regierung die Förderungen für Solarkraftwerke, sogar rückwirkend. Solarkraftwerke waren nicht mehr lukrativ, der Markt in Spanien brach weitgehend weg. Zur Wirtschaftskrise in Spanien kam, dass sich auch der Markt in den nordafrikanischen Staaten in der Zeit des Arabischen Frühlings nicht wie erhofft entwickelte. Zudem zogen Investoren die rasant günstiger werdenden Fotovoltaik-Anlagen vor. „Das war eine recht harte Konsolidierungsphase“, sagt Ulmer: „Zum Glück konnten unsere Kunden ihr Geschäft in Ländern wie den USA, Südafrika und Chile ausweiten, sodass die Auftragsgänge zwar einbrachen, unser Unternehmen jedoch weiterarbeiten konnte.“ CSP Services schrumpfte von rund 30 Mitarbeitern zurück auf 20. Gleichzeitig erschloss sich das Unternehmen auch neue Kunden, speziell in China, wo ein Programm für CSP-Kraftwerke startete. „Unsere gute Stellung am Markt hat uns am Ende durch diese Krise gebracht: Wenn ein Kraftwerkbauer oder Investor eine fundierte Qualitätssicherung wünscht, dann gibt es zu unserem Angebot eigentlich keine nennenswerte Alternative“, sagt Ulmer selbstbewusst.

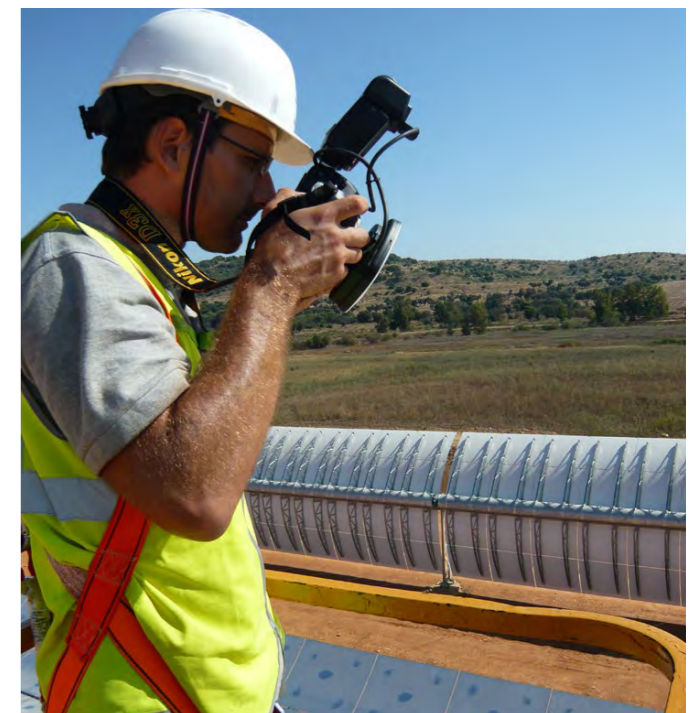
Derzeit blicken die Geschäftsführer von CSP Services, wie die gesamte Branche, wieder optimistischer in die Zukunft: In Dubai können große CSP-Kraftwerke grundlastfähigen Strom inzwischen zu günstigeren Preisen generieren als Gaskraftwerke. Investoren schätzen zunehmend die Vorteile von thermischen Solarkraftwerken, die dank eines günstigen Wärmespeichers rund um die Uhr Strom produzieren können, auch wenn die Technologie noch immer auf höhere Stromgestehungskosten kommt als Fotovoltaik-Anlagen. „Die Erkenntnis, dass wir bei einem höheren Anteil an erneuerbarem Strom regelbare Solarkraftwerke brauchen, setzt sich immer mehr durch“, so Pottler. „Hinzu kommt, dass mittlerweile eine Reihe von gut funktionierenden Kraftwerken gebaut wurde. Damit schätzen Investoren das Risiko weit geringer ein und die Konditionen für die Finanzierung sind besser geworden.“

Global Player mit schlaflosen Nächten

Die Unternehmensgründer bereuen nicht, dass sie vor zehn Jahren den Schritt in die Selbstständigkeit wagten. „Wir haben uns am Markt durchgesetzt, haben uns in der Branche einen Namen gemacht und sind dadurch selbstbewusster geworden“, so Pottler. Die Firmengründer arbeiten heute in einem internationalen Umfeld. Sie haben unterschiedliche Kulturen und Geschäftsgepflogenheiten kennen und verstehen gelernt. „In China erscheint zunächst alles anders und die Sprachbarriere ist sehr hoch, aber bei genauerem Hinsehen gibt es doch viele Parallelen. Auch dort können Firmenangestellte nicht ohne einen Beleg für die Buchhaltung tanken“, wirft Pottler mit einem Lächeln ein. Der große Erfahrungsschatz entschädigt für die Arbeit, die sie teilweise rund um die Uhr und auch an Wochenenden leisten müssen: „Unsere Kunden kommen oft aus anderen Zeitzonen und in ihrer Kultur existieren keine deutschen oder spanischen Feiertage.“ Doch die guten Seiten überwiegen. Geschäftsführer Klaus Pottler: „Wir können frei bestimmen, wie es für CSP Services weitergeht und welche Schwerpunkte wir setzen. Als Unternehmer haben wir gelernt, Entscheidungen zu treffen und möchten diese Freiheit nun nicht mehr missen.“



Arbeiten, wo die Sonne scheint: CSP Services eröffnete auch im südspanischen Almería ein Büro.



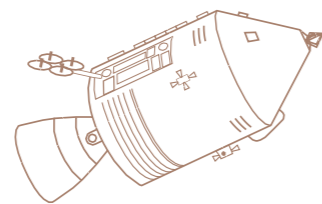
Qualitätssicherung aus zehn Meter Höhe: Die Kamera ist immer dabei, wenn submillimetergenau gemessen werden soll.



CSP-Geschäftsführer Dr. Steffen Ulmer (links) und Dr. Klaus Pottler: „Wir haben gelernt, als Unternehmer klare Entscheidungen zu treffen.“

„IRGENDWIE GEHÖRTEN WIR AUF DEN MOND“

Er war der zehnte Mensch auf dem Mond. Apollo 16, 20. April 1972. Ihm folgten mit Apollo 17 noch zwei weitere Astronauten. Dann Pause. Von 1972 bis heute. Wie erinnert sich Charles Duke an seine Mission? Und was denkt er heute über eine Rückkehr zum Mond? – DLR-Weltraumredakteurin Manuela Braun sprach mit dem „Moonwalker“.



Charles Duke über seine Apollo-Mission und was er sich für die Zukunft der Raumfahrt erhofft



46 Jahre nach seinem Moonwalk spricht Charles Duke über die bemannte Raumfahrt in Vergangenheit und Zukunft

Sie haben Ihre Astronauten-Karriere direkt mit einem Meilenstein angefangen, mit dem Flug zum Mond. Wie nehmen Sie die Raumfahrt von heute im Vergleich zu Ihrer Mission wahr?

• Man kann das nur schlecht vergleichen. Wissen Sie, ich habe die absolute Schwerelosigkeit nur auf dem Flug zum Mond und um den Mond herum erfahren. Das ist keine wochenlange Schwerelosigkeit, wie man sie in der Internationalen Raumstation mit all den Experimenten hat. Die meiste Zeit in der Schwerelosigkeit waren wir mit unserem „Haushalt“ beschäftigt. Drei Mann auf engem Raum, kleiner als der Tisch hier. Man verliert Dinge. Wohin ist das Handtuch verschwunden? Wo ist mein Löffel? Und es gab überhaupt keine Privatsphäre. Man war die ganze Zeit über fokussiert: „Wir sind drei Tage auf dem Mond“. „Noch zwei Tage sind wir auf dem Mond.“ „Jetzt sind wir nur noch einen Tag auf dem Mond.“ Ich bin mir nicht sicher, ob ich ein Jahr lang auf der Internationalen Raumstation so gut wäre. Doch jeder, der dort war und mit dem ich gesprochen habe, war fasziniert davon, so lange im All zu sein.

Fühlten Sie sich während Ihres Aufenthalts auf dem Mond weiterhin mit der Erde verbunden?

• Ich habe mich nie isoliert gefühlt. Gerade auf der Mondoberfläche hatten wir miteinander eine direkte Kommunikation, und auch nahezu unmittelbare Kommunikation mit der Erde. Aber meistens waren John und ich im Gespräch. Wir hatten Live-Mikrofone, und so sprachen wir miteinander, sobald wir den anderen hörten. Ich fühlte mich nie isoliert, nicht einmal von

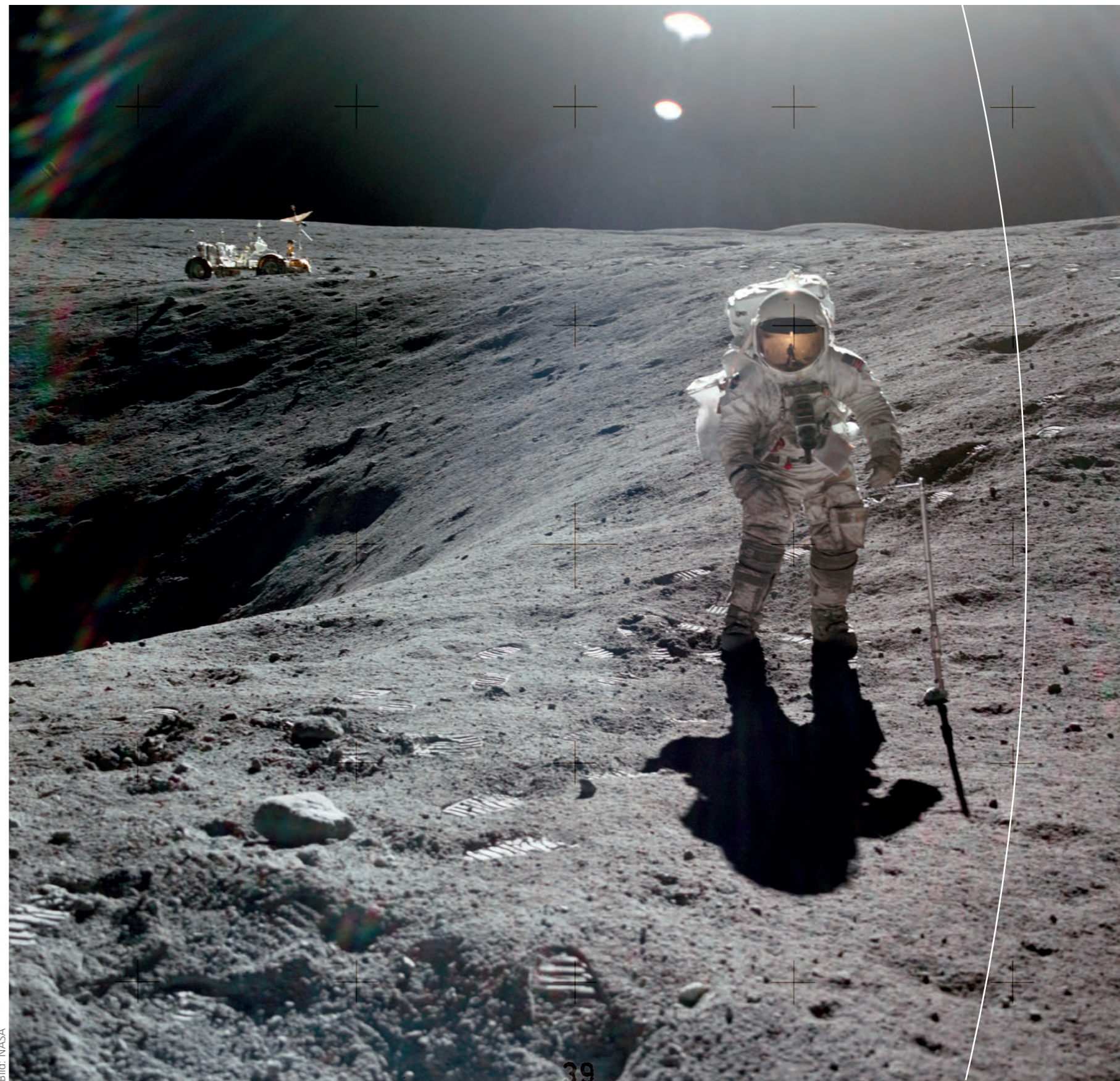


Bild: NASA

Charles Moss „Charlie“ Duke flog am 16. April 1972 mit Apollo 16 zum Mond. Er betrat als zehnter Mensch den Erdtrabanten.



Während der Apollo11-Mission saß Charles Duke im Kontrollraum und hielt den Kontakt zu Neil Armstrong, der als erster Mensch den Mond betreten sollte

der Erde. Und dann war da auch ein Gefühl der Zugehörigkeit: Ich fühlte mich nie als Fremder in einem fremden Land. Irgendwie gehörten wir dort auf den Mond – zumindest für diese drei Tage.

Welche Gedanken gingen Ihnen vor dem Einschlafen durch den Kopf, wenn alles ruhig wurde? Denkt man daran, was tagsüber geschehen ist, oder denkt man an die Erde, an Frau und Familie?

■ Für die erste Ruhephase holten wir unsere Hängematten hervor und gingen darin „zu Bett“. Ich erinnerte mich an die ganzen Dinge, die ich von unserem Fenster aus gesehen hatte, und konnte es nicht erwarten, dorthin zu gehen. Ich dachte nicht an Houston, ich dachte nicht an zu Hause. Ich dachte vor allem an operationelle Dinge. Ich war so aufgeregt, dass ich nicht einschlafen konnte. Deshalb habe ich in der ersten Nacht auch eine Schlaftablette genommen. Aber später – acht Stunden Arbeit in einem Raumanzug sind hart – war ich K. O., legte mich hin und schlief direkt ein.

Gab es die Überlegung zu einer weiteren Mission mit Ihnen?

■ Nicht wirklich. Als ich zurückkehrte, waren wir die Back-up-Crew für die nächste – die letzte – Apollo-Mission. Aber deren Crew blieb gesund, und so hatten wir keine Chance. John Young und T.K. Mattingly, mit denen ich geflogen war, blieben im Korps und flogen mit dem Spaceshuttle in dessen Anfängen. Aber ich war frustriert. Das dynamische Tempo von Apollo war irgendwie ausgebremst. 1973 war das erste Spaceshuttle noch acht Jahre entfernt. Und es gab Meetings und Meetings und Meetings. Und kaum dynamische Trainingsaktivitäten. Daher entschied ich mich, die NASA zu verlassen. Manchmal denke ich daran zurück und wünsche mir, ich wäre geblieben und mit einem der ersten Spaceshuttles geflogen.

Was halten Sie von den Plänen, zum Mond oder zum Mars zu fliegen? Und was werden wir dafür tun müssen?

■ Was auch immer wir tun werden – wir brauchen eine Verpflichtung! Die Regierungen müssen eine Entscheidung treffen: „Das ist, was wir machen werden!“ Solange niemand diese Entscheidung trifft, wird auch niemand dafür bezahlen. Ich denke, der menschliche Geist wird uns zum Mars bringen. Wir tragen diesen Entdeckergeist in uns. Für mich ist der nächste logische Schritt, zum Mond zurückzukehren und eine Mondbasis zu errichten, um Erfahrung darin zu gewinnen, Systeme aufzubauen – und dann – wenn man sie zum Mars bringt – weiß man entweder, wie man sie repariert, oder sie funktionieren einfach sehr gut. Und diese Erfahrung gewinnt man im nahen Erdorbit oder auf dem Mond. Denn wenn man zum Mars

fliegt, ist man auf sich gestellt. „Houston, wir haben ein Problem!“ – „Sorry, Kumpel, du bist über Funk zwölf Minuten entfernt, du bist besser in der Lage, es zu lösen.“ Der Mond ist nahe an der Erde, mit fast unmittelbarer Kommunikation, man kann Mannschaften hin- und herfliegen, man kann Prozeduren für die Reparatur dieser Systeme entwickeln, und all so etwas. Also ich plädiere für eine Mondbasis. Allerdings: Wenn man mit anderen Astronauten meiner Generation spricht, dann sagen die: „Wir waren schon auf dem Mond, lass uns zum Mars fliegen!“

Wenn Sie auf die letzten Jahrzehnte der Raumfahrt zurückblicken, was waren für Sie die wichtigsten Entwicklungen?

■ Die Raumfahrttechnologie hat große Fortschritte für die globale Wirtschaft gebracht. Sehen Sie sich die Informationstechnologie an, Computer, die medizinische Elektronik, Herstellungsprozesse, neue Materialien und so weiter. Ich denke, wenn wir diese Langzeitmissionen zum Mond oder zum Mars machen, werden wir die Technologien und Materialien, die wir entwickeln, später in der Weltwirtschaft wiedersehen. Die Harvard Business School hat eine Studie zum Nutzen der Apollo-Missionen erstellt – der Ertrag war zehnmal so hoch wie das Investment. Apollo bedeutete 400.000 Jobs, diese ernährten ganze Familien, und wiederum die Leute, die das Essen verkauften, das diese kauften. Es geht dabei nicht um Geld, das wir auf dem Mond ausgeben, sondern es ist Geld, das wir auf der Erde ausgeben, um Technologien zu entwickeln. Ich sehe eine notwendige Verpflichtung auf Seiten der Regierungen, zu sagen: „Das ist etwas, das wir tun müssen.“ Ich sehe, dass sich das auch zu entwickeln beginnt, aber wir sind noch nicht ganz da. Doch ich bin optimistisch; ich denke, wir werden die Rückkehr zum Mond erleben und dann die Reise zum Mars.

Als „Moonwalker“ befinden Sie sich in einer sehr exklusiven Gruppe. Ist es ein Segen oder ein Fluch, ein Apollo-Astronaut zu sein und auch zuweilen darauf reduziert zu werden?

■ Es ist mehr ein Segen, denke ich. Weil ich die Möglichkeit habe, viele Zuhörer zu inspirieren. Ich halte Motivationsvorträge, rede auf Konferenzen oder bei Unternehmen. Ich spreche über Teamwork, über gründliche Planung, und ich verwende dabei die Apollo-Beispiele. Die Hälfte der Weltbevölkerung war noch nicht einmal geboren, als wir zum Mond flogen. Man hat also immer wieder ein neues Publikum. Ich weiß gar nicht, wie viele Vorträge ich im Jahr halte. Aber es sind viele. Und jedes Mal, wenn ich das mache, werde ich selbst wieder enthusiastisch, weil ich sehe, welche Wirkung das Geschilderte auf das Publikum hat.



„Wir werden die Rückkehr zum Mond erleben und dann die Reise zum Mars“, ist sich Duke sicher. Das bringe der menschliche Entdeckergeist mit sich.

Wenn man auf dem Mond war und wieder zur Erde zurückgekehrt ist, ist das irdische Leben doch eigentlich nur noch alltäglich, Routine ... War das Dasein nach Ihrer Mission nicht ein wenig langweilig?

■ Ich würde nicht direkt sagen „langweilig“, aber ich machte mir Gedanken. Ich war 36 Jahre alt, als ich zum Mond flog, und war 37, als ich für Apollo 17 trainierte. Nachdem die Apollo-Ära vorbei war, kam mir schon der Gedanke: Was machst du denn jetzt? Und das sagen sich viele der Apollo-Astronauten. Weil der Drang, der uns zum Mond gebracht hat, ja immer noch da ist. Nachdem man die Erfolgsleiter so hoch geklettert ist, denken die meisten Menschen: Wenn ich in meiner Karriere nur so weit gekommen wäre, würde ich ab dann nur noch Frieden, Freude und Zufriedenheit empfinden. Aber das funktioniert so nicht. Zumindest nicht für mich. Ich hatte dann auch Probleme in meiner Ehe. Was mein Leben wirklich veränderte, geschah dann sechs Jahre später. Ich wurde ein Anhänger Jesus. Und jetzt blicke ich zurück auf Apollo und erkenne die Schönheit von Gottes Schöpfung – in jedem Teil unseres Fluges. „Die Himmel erzählen die Herrlichkeit Gottes, und das Himmelsgewölbe verkündet seiner Hände Werk.“ – Das ist einer meiner liebsten Psalme.

Blieben Sie in Kontakt mit einigen der anderen Apollo-Astronauten? Jeder reagierte ja wahrscheinlich nach einer solchen Mission anders in seinem Leben ...

■ Das stimmt. Gelegentlich kreuzen sich unsere Wege – das ist eine gute Gelegenheit, sich zu erinnern und über das zu reden, was in der Welt geschieht und was in unseren Leben passiert. Wir bleiben in Verbindung. Und das ist wirklich gut.



Apollo 16 blieb die einzige Mission von Astronaut Charles Duke. 1973 verließ er die NASA. Mit seinen Apollo-Kollegen ist er bis heute immer wieder in Kontakt.



Frank Sohl, einer der Autoren des Buchs „Expedition zu fremden Welten“, ist seit 2004 am Institut für Planetenforschung im DLR Berlin

EINE VON DIESEN ANDEREN WELTEN

20 Milliarden Kilometer durch das Sonnensystem führt das jüngst von DLR-Planetenforschern in Zusammenarbeit mit Springer herausgegebene Buch „Expedition zu fremden Welten“. Ralf Jaumann, Ulrich Köhler, Frank Sohl, Daniela Tirsch und Susanne Pieth vom DLR-Institut für Planetenforschung präsentieren darin detailliert Ergebnisse der Erforschung unseres Sonnensystems in zahlreichen Fotos, informativen Abbildungen und gut verständlichen Texten. DLR-Weltraumredakteurin Manuela Braun sprach mit einem der Autoren.

Gespräch mit DLR-Planetenforscher und Buchautor Frank Sohl

Das Buch heißt „Expedition zu fremden Welten“, aber im Anhang haben Sie auf 19 eng bedruckten Seiten die Missionen ins Sonnensystem zusammengestellt. Wie fremd sind uns diese Welten denn überhaupt noch, nachdem sie schon seit Tausenden von Jahren erforscht und seit Jahrzehnten mit Raumsonden besucht werden?

▪ Jede Raumfahrtmission bringt neue Erkenntnisse, viele Fragen werden beantwortet – es werden aber auch neue Fragen aufgeworfen. Dementsprechend tragen diese Missionen ganz stark dazu bei, dass sich unser Verständnis von den Prozessen, die in unserem Sonnensystem eine Rolle spielen, immer weiter vertiefen kann. Und was sich in den letzten 50 Jahren eben auch massiv verändert hat: Das Sonnensystem ist nicht mehr länger Gegenstand astronomischer Untersuchungen, sondern aus der unmittelbaren Nähe betrachtet wurden die Planeten und Monde zu geologischen Körpern, die wir nun mit denselben „Werkzeugen“ erforschen können, wie wir das auf der Erde tun.

Sie verwenden im Buch auch durchaus anspruchsvolle Fachbegriffe. Die Dichte an Fakten, Info-Kästen, Tabellen und Missionsbeschreibungen auf den 378 Seiten ist hoch. Was muss ein Leser mitbringen, an wen richtet sich das Sachbuch?

▪ Wir richten uns an eine breite Leserschaft, die großes Interesse daran hat, die Entwicklungen in der Planetenforschung nachzuvollziehen. Wir haben auch aus diesem Grund den historischen Teil eher klein gehalten, um uns mehr auf die aktuellen Themen stürzen zu können. Wir versuchen dabei, komplizierte Zusammenhänge so darzustellen, dass sie gut verständlich sind für einen interessierten Leser, der ein wenig tiefer in die Materie eintauchen möchte. Unser Sachbuch richtet sich auch an eine relativ breite Altersgruppe, das geht los mit Schülern, geht über naturwissenschaftlich interessierte Studenten und reicht hin bis zu Amateur-Astronomen.

Wie schwer fällt es einem Planetenforscher, der sich normalerweise auf einzelne Aspekte konzentriert, die Auswahl zu treffen, was in ein solches Buch üblicherweise hineingehört und was nicht?

▪ Es ist eine echte Herausforderung, eine Auswahl zu treffen, das stimmt. Aber im Endeffekt ist es auch eine sehr gute Übung – nämlich darin, Dinge verständlich zu machen und sich nicht in der Fachsprache zu verlieren. Das empfand ich bei der Zusammenstellung des Buches als besonders lehrreich für mich selbst: die Dinge kurz und prägnant darstellen zu müssen, damit sie verstanden werden. Zu Beginn war das ein bisschen schwierig, aber nachher lief das sehr gut.

Jetzt gibt das Buch natürlich den aktuellen Stand darüber wieder, was wir über die verschiedenen Himmelskörper in unserem Sonnensystem wissen. Geforscht wird aber jederzeit und kontinuierlich. Wie oft gibt es denn Entdeckungen, die zum Beispiel eine Neuauflage erfordern würden?

▪ Die Planetenforschung lebt ganz stark von Raumfahrtmissionen, und jede Mission – egal ob sie ins innere oder äußere Sonnensystem geht oder ob sie mit Weltraumteleskopen arbeitet, um Exoplaneten aufzuspüren – bringt ganz erstaunliche, neue Erkenntnisse und interessante Beobachtungen. Der Zeitraum, der von einer zur nächsten überarbeiteten Auflage vergeht,



DIE AUTOREN

vom DLR-Institut für Planetenforschung

Ralf Jaumann, Geologe und Leiter der Abteilung Planetengeologie sowie Professor für Planetologie an der Freien Universität Berlin. Seine Arbeitsgebiete sind die Erforschung der Planeten, des Erdmondes, der Monde von Jupiter und Saturn sowie die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Asteroiden und Kometen. Zudem geht er der Frage nach, was die Erde in unserem Sonnensystem so einzigartig macht.

Ulrich Köhler, Geologe. Nach seinem Studium beschäftigte er sich mit der Geologie des Mondes und der Planetenforschung. Gemeinsam mit Ralf Jaumann verfasste er populärwissenschaftliche Bücher zum Mond und über den Mars.

Susanne Pieth, Bibliothekarin. Sie betreut die Regional Planetary Image Facility im DLR, eine Bibliothek für Planetenbilddaten. Für mehrere Bücher steuerte sie bereits Bilder bei und entwickelte selbst auch diverse Infomaterialien.

Frank Sohl, Planetenphysiker. Nach dem Studium der Physik und Geophysik erforscht er nun die Frühphase und den inneren Aufbau der Planeten und Monde des Sonnensystems und erdähnlicher Exoplaneten.

Daniela Tirsch ist promovierte Planetengeologin und dabei vor allem in der Mars- und Kometenforschung tätig. Darüber hinaus macht sie diese Themen durch Vorträge, in Presseberichten oder bei öffentlichen Auftritten einem breiten Publikum zugänglich.



Der Geophysiker Sohl auf Expedition an irdischen Vulkanen: Im Sommer 2017 forschte er im Projekt ROBEX am Ätna.

ist in der Planetenforschung also relativ kurz. Ich denke aber, dass das Buch eine sehr gute Basis darstellt, um dann auch neue Ergebnisse einzuarbeiten. Gerade was die Exoplaneten-Forschung, also die Suche nach Planeten außerhalb unseres Sonnensystems, betrifft – darüber könnte man wahrscheinlich schon jetzt wieder ein eigenes Buch schreiben.

Welche neuen Erkenntnisse der Planetenforschung haben Sie denn in den vergangenen Jahren besonders beeindruckt?

▪ Das hängt sicherlich mit dem Arbeitsgebiet zusammen, auf dem man selbst tätig ist. Aber natürlich gibt es auch darüber hinaus ganz beeindruckende Fortschritte. Bei der Galileo-Mission ins Jupitersystem fand man zum Beispiel heraus, dass Io über eine Art Magma-Ozean in seinem Inneren verfügt. Und dass die großen Eismonde Ozeane unter ihrer Eiskruste haben. Oder die Cassini-Huygens-Mission: Da ist in meinen Augen der aktive Vulkanismus auf Enceladus eine der großen Überraschungen. Oder im Pluto-Charon-System die Hinweise auf eben solche aktiven Welten. Das sind meines Erachtens außergewöhnliche Ergebnisse. Was die Exoplaneten betrifft: Sie überraschen uns fast wöchentlich. Da zeigt sich dann die Diversität dieser Welten: Es gibt offensichtlich erdähnliche, massive Objekte, aber auch Klassen von Objekten, für die es im Sonnensystem kein Analogon gibt. Das sind für mich großartige Erkenntnisse, die erst in den letzten Jahren oder Jahrzehnten zutage gefördert wurden.

Wie lebensfreundlich oder lebensfeindlich ist denn unser Sonnensystem?

▪ Die Antwort hängt letztendlich auch davon ab, wo wir unsere Missionen hinsenden. Es gibt schon in der Nähe der Erde, also in relativ geringer Entfernung von der Sonne, Zonen, wo flüssiges Wasser an

der Oberfläche zumindest in der Vergangenheit existieren konnte, wie zum Beispiel auf dem Mars. Es gibt ja auch diese Untergrund-Ozeane im äußeren Sonnensystem. Das sind alles habitable, also bewohnbare Bereiche im Sonnensystem, die eine weitere, intensive Erforschung verdienen. Das heißt, dass man nach den ersten Vorerkundungen immer mehr ins Detail geht, dass man Missionen auf der Oberfläche absetzt und durchaus noch weitergehen möchte, indem man in den Untergrund vordringt, um solche habitablen Zonen genauer zu analysieren. Dazu kommt dann auch, dass man auf der Erde entsprechende Untersuchungen in sogenannten Analog-Terrains für diese Oberflächen im Sonnensystem durchführt.

Planetenforscher untersuchen ihre Studienobjekte ja aus Millionen oder sogar Milliarden von Kilometern Entfernung – auf welchem Himmelskörper würden Sie sich gerne einmal persönlich umschauen, weil Sie ihn so spannend oder schön finden?

▪ Also ich vertraue da vollkommen der robotischen Exploration des Sonnensystems. Mir gefällt es hier ganz gut auf der Erde.

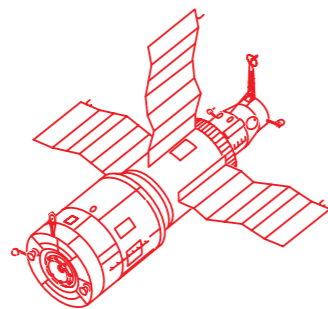
Gibt es denn für Sie einen „Lieblingshimmelskörper“?

▪ Früher hat mich Io aufgrund der vulkanischen Aktivität sehr stark interessiert. Aber mittlerweile wissen wir, dass dieser Prozess auch in anderen Welten stattfindet. Also eine von diesen, die würde mich am meisten reizen.

Vielen Dank für das nette Gespräch und Ihre Zeit, Herr Sohl.

UNSER GAGARIN HEISST JÄHN

Als Sigmund Jähn am 26. August 1978 mit seinem sowjetischen Kommandanten Waleri Bykowski als erster Deutscher ins All startete, wurde das von der DDR-Propaganda als Zeichen der Überlegenheit des sozialistischen deutschen Staates gegenüber der „imperialistischen BRD“ gefeiert. Doch diese „Überlegenheit“ währte nicht mehr lange. Zwölf Jahre später war die DDR Geschichte. Jähns Leistung allerdings hat Bestand.



Zum 40. Jahrestag des ersten deutschen Raumfluges

Von Gerhard Kowalski

Mehr als doppelt so lange wie Jähns Ruhm in der DDR währte, begehen wir dieses denkwürdige Datum nun schon im geeinten Deutschland. Für den gebürtigen Vogtländer, der im Februar dieses Jahres 81 Jahre alt geworden ist, wurde mit dem Ende der DDR ein Lebenstraum zerstört, wie er einmal bekannte. Doch der Ex-NVA-General fasste auch bald im Westen Fuß. Dass ihm der ehemalige „Republikflüchtling“ Ulf Merbold dabei maßgeblich half, ist eine höchst noble Geste und ein Treppenwitz deutsch-deutscher Geschichte gleichermaßen. Denn Merbold wurde nur 35 Kilometer von Jähns Heimatdorf im thüringischen Vogtland geboren und flog fünf Jahre nach ihm als zweiter Deutscher mit den Amerikanern in den Weltraum.

Mit Sigmund Jähn wurde die kleine DDR nach der UdSSR und den USA sowie der CSSR und der VR Polen zum fünften Land der Welt mit einem eigenen Kosmonauten, und er war als 90. Mensch im All.

Der deutsche Kosmos-Pionier kam damals nicht mit leeren Händen in das geeinte Deutschland, in dem fortan in Sachen Raumfahrt zwei Innovationssysteme mit sehr ähnlichem wissenschaftlich-technischem Profil miteinander verschmolzen wurden. Als Berater des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt sowie später auch der Europäischen Weltraumorganisation ESA brachte Jähn selbst nicht nur seine Fähigkeiten und Erfahrungen mit. Schließlich hatte er zusammen mit Waleri Bykowski bei der einwöchigen Mission in der Raumstation Salut 6 immerhin 22 wissenschaftliche Experimente in den Bereichen Erdkunde (2), Atmosphärenphysik (2), Materialwissenschaften (6), Biologie (4), Medizin und Physiologie (7) und Raumfahrttechnologie (1) durchgeführt. Genauso wichtig waren auch seine organisatorischen Erfahrungen und seine engen persönlichen Kontakte zu den russischen Partnern im Sternenstädtchen, wo schon bald auch gesamtdeutsche Astronautenkandidaten ihr Training aufnahmen.

Jähn selbst fasste 1983 seine speziellen Erkenntnisse bei der Auswertung und Nutzung von Fernerkundungsdaten, die er mit der Multispektralkamera MKF 6 und handelsüblichen Handkameras gewonnen hatte, in einer Doktorarbeit zusammen. Sie wurde zwar mit summa cum laude bewertet, verschwand allerdings aus unerfindlichen Gründen bis zur Wende im „Giftschrank“.

Eine kleine Umfrage anlässlich des 40. Jahrestages von Jähns Flug ins All zu den Forschungsergebnissen und was daraus geworden ist, ergab Überraschendes: Der Leiter des Europäischen Astronautenzentrums in Köln, Frank de Winne, verwies auf Jähns damaliges Experiment „Zeit“, bei dem es um die Untersuchung der Dynamik des subjektiven Zeitgefühls bei den Mitgliedern internationaler Besatzungen ging. Es sei



Kosmos-Veteranen unter sich: Sojus-Kommandant Waleri Bykowski (rechts) und Sigmund Jähn 2008, 30 Jahre nach ihrem gemeinsamen Flug

„eines der besten Beispiele“ für die Verbindung der Forschung von damals und heute und finde unter der Bezeichnung Time Perception seine Fortsetzung als ESA-Experiment in der Internationalen Raumstation ISS. Zudem hätten die medizinischen Beobachtungen Jähns ungeachtet der nur einwöchigen Missionsdauer sicher auch geholfen, mehr Informationen über die Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf die Herz-Kreislauf-Funktion, auf die Sauerstoffversorgung des menschlichen Körpers und die Zellphysiologie zu gewinnen, so der belgische ESA-Astronaut.

Inzwischen hat Jähn mit Klaus-Dietrich Flade, Ulf Merbold, Thomas Reiter, Reinhold Ewald und Alexander Gerst nicht nur fünf Landsleuten geholfen, sich auf ihre Missionen in der russischen Raumstation MIR und der Internationalen Raumstation ISS vorzubereiten. Er brachte auch mehrere ESA-Astronauten aus anderen Ländern mit auf ihren Weg ins All. Nun ist der hochgeschätzte Doyen der elf deutschen Raumfahrer schon mehrere Jahre im Ruhestand, wird aber weiterhin mit Einladungen zu Vorträgen und anderen Veranstaltungen geradezu überhäuft. Daneben kümmert er sich speziell um die Deutsche Raumfahrt-Ausstellung in seinem Geburtsort Morgenröthe-Rautenkranz, die sich zu einem echten Besuchermagneten entwickelt hat.

Jähns 40. Jahrestag wird deutschlandweit auf vielfältigste Art gewürdigt, und jeder Veranstalter erwartet natürlich die Teilnahme des Jubilars, was dem bescheidenen und zurückhaltenden Mann gar nicht behagt. Der Reigen begann zu Ostern in Morgenröthe-Rautenkranz mit der Sonderausstellung „Deutsche im Weltall – es begann 1978“. Und noch immer bemüht sich die Ausstellungsleitung, die Sojus-Landekapsel von Jähn aus dem Militärhistorischen Museum der Bundeswehr in Dresden zumindest zeitweilig dorthin zu holen. Ende April

folgt dann die ILA in Berlin. Die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V., deren Ehrenmitglied Jähn ist, führt dann Mitte Mai ein wissenschaftliches Kolloquium zum Thema „Menschen im Weltraum“ durch. Dabei geht es um die Frage, wie ein so beschränktes Raumfahrtprogramm wie das der DDR in das Gesamtprogramm der Weltraum-Großmacht UdSSR integriert wurde. Am letzten Augustwochenende erreichen die Feierlichkeiten in Morgenröthe-Rautenkranz ihren Höhepunkt und wenn es klappt, grüßt dann Alexander Gerst aus der Erdumlaufbahn ...

Gerhard Kowalski ist freier Raumfahrtjournalist und Gagarin-Biograf.



Jähn und Bykowski im ersten Interview nach der Landung der Sojus-Kapsel in der kasachischen Steppe am 3. September 1978

RENDEZVOUS MIT TUMMELISA

Wer vom Sommer in Schweden träumt, ist mit einem Plan B für kühle Tag gut beraten. Luftfahrt-interessierten empfiehlt sich dafür das etwa 180 Kilometer südwestlich von Stockholm gelegene Flygvapenmuseum zu Linköping („Linschöping“ ausgesprochen). Mit seinen vielen Fahrrädern in einem lebendigen Zentrum ähnelt die Universitätsstadt dem westfälischen Münster, ist allerdings mit circa 150.000 Einwohnern deutlich kleiner. Wenn der nahe gelegene riesige Vättern-See nicht zum Baden lädt, bietet ein Ausflug in die – vor allem skandinavische – Luftfahrtgeschichte eine lohnenswerte Alternative.

Im Flygvapenmuseum Linköping

Von Hans-Leo Richter

Das Museum liegt etwa sieben Kilometer außerhalb der Stadt Linköping, unmittelbar am Militärfliegerhorst Malmen, und ist – wie diese Nähe vermuten lässt – überwiegend militärhistorisch ausgerichtet. Die Einrichtung existiert seit 1984, Hauptsponsor ist der Rüstungskonzern – und Flugzeughersteller – Saab. Im Gegensatz zur privaten Flugzeugsammlung von Stockholm-Arlanda, die wir im Magazin 154 (Juni 2017) vorstellten, wird der Besucher hier von einem hochmodernen Museumsgebäude empfangen. Mit seinen großen lichten Hallen macht das Ganze auf den ersten Blick schon einen sehr professionellen Eindruck – kein Wunder, da mit Hilfe von Saab namhafte Firmen Gelder in dieses Vorhaben steckten. Folgerichtig präsentiert das Museum auch eine nahezu komplette Typenreihe von Saab-Flugzeugen, von der ersten B 17 aus dem Jahr 1938 bis hin zu den hochmodernen Typen S 35 Draken, S 37 Viggen und JAS 39 Gripen.

Ju 86: Abschied vom Wellblech-Design

Für den deutschen Besucher sind vor allem zahlreiche Exponate aus frühen deutschen Luftfahrt-Entwicklungsjahren interessant, insbesondere eine ganz hervorragend restaurierte zweimotorige Junkers Ju 86 K, schwedischer Lizenzbau eines Mittelstreckenbombers, der zuvor auch als ziviles Passagierflugzeug eingesetzt worden war. Dieser Typ verfügt bereits über eine aerodynamisch günstige „Glatthaut“-Beplankung. Das so markante Junkers-Wellblech-Design zierte ausschließlich die früheren Junkers-Modelle – als Firmen-Patriarch Hugo Junkers auch noch das Sagen hatte. Andere frühe Muster von Albatros, Heinkel, Fieseler, Bücker, Focke-Wulf und selbst Raab-Katzenstein erinnern ebenfalls an den deutschen Flugzeugbau, wobei die militärische Nutzung allerdings doch deutlich im Vordergrund stand.



Selbstverständlich sind auch die anderen Ausstellungsstücke sehenswert. Darunter bekannte Luftfahrzeuge wie der Seeaufklärer Consolidated Catalina, diverse de Havilland-Typen – und dann – neben der Saab-Typenpalette auch weitere hierzulande kaum bekannte schwedische Muster wie ein Thulin-Doppeldecker oder auch ein filigraner Trainer mit dem hübschen Namen Tummelisa (Bild oben), was wohl der geringen Größe geschuldet ist, denn das bedeutet Däumling. Die Tummelisa CFM 01 gilt als der einzige flugfähige Doppeldecker mit Umlaufmotor in Europa. Auch gängige US-amerikanische Luftfahrzeuge fehlen nicht, etwa Flächenflugzeuge wie die berühmte Mustang oder diverse Hubschrauber.



In der großen Halle kann der Besucher in eine 100-jährige Luftfahrt-Historie eintauchen. Rechts neben dem Ballonkorb ein Rettungshubschrauber HKP 1 – Vertol 44a aus den späten Fünfzigerjahren.

Experimentieren im Fluglabor

Ein spektakuläres Exponat erwartet den Besucher im nur spärlich und geheimnisvoll in dunklen Blautönen erleuchteten Untergeschoss: ein auf den ersten Blick undefinierbarer Trümmerhaufen verbogener Blechs. Mit einiger Fantasie vermag man Konturen und Details einer ehemaligen zweimotorigen Douglas DC 3 zu erkennen. Dieses Verkehrsflugzeug wurde 1952 von einem sowjetischen Jagdflugzeug über der Ostsee abgeschossen, lag dort um die 50 Jahre lang und wurde schließlich 2003 geborgen, um sechs Jahre später als Dauermahnmal im Luftfahrtmuseum ausgestellt zu werden.

Last but not least spricht das sehenswerte Museum mit Hilfe seiner sehr guten Präsentationsdidaktik auch Jugendliche an, beispielsweise in einem Fluglabor mit diversen Experimentiermöglichkeiten und einem Simulator. Das Cockpit des großen Simulators einer authentischen JAS 39 Gripen ist eine der Attraktionen im kostenlos zu besichtigenden Luftwaffenmuseum bei Linköping.

www.flygvapenmuseum.se



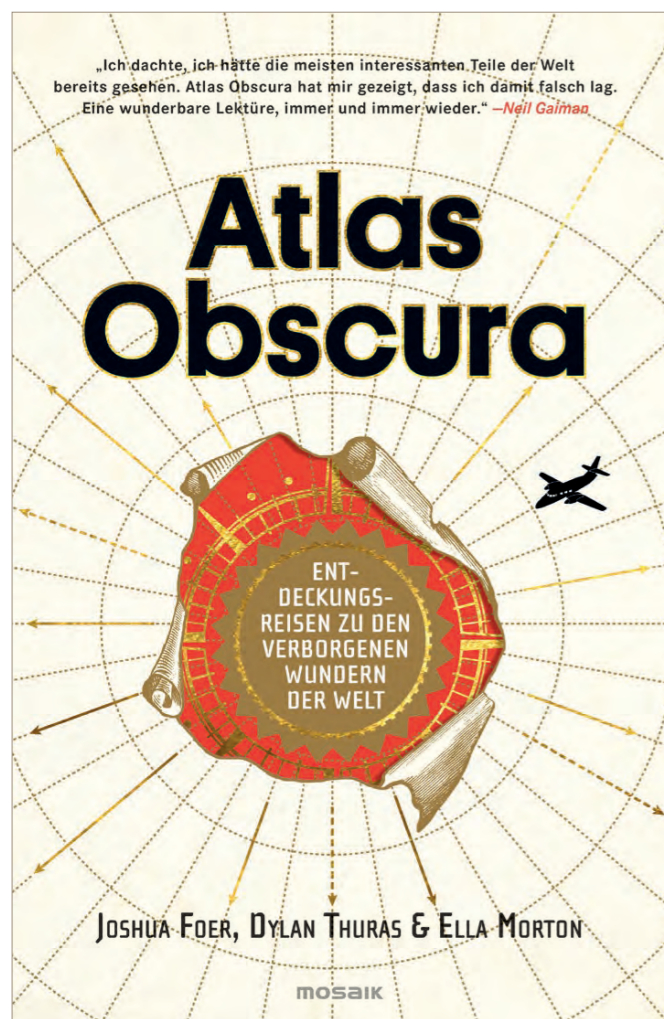
Das Luftfahrtmuseum präsentiert sich in einer modernen Halle am Rande des Flugplatzes Malmen. Im Hintergrund links eine Sud Aviation Caravelle, ausgerüstet für elektronische Sonderaufgaben.



Mit diesem Mittelstreckenbomber verließ Junkers die traditionelle Wellblech-Bauweise zugunsten einer aerodynamisch besseren Glatthaut-Beplankung. Der ausgestellte Typ ist die weltweit einzig noch erhaltene Junkers Ju 86.



Der leichte „de Havilland 60 Moth“-Trainer gehörte zu den beliebtesten Schulflugzeugen der schwedischen Luftwaffe. Mit diesem Typ gelangen bereits in den Dreißigerjahren bedeutsame Langstrecken-Rekordflüge.



SELTSAM, ABGELEGEN UND SEHR SPEZIELL

Schon der „wichtige Hinweis“ auf der Impressumsseite vorn gibt die Richtung an: „Leser reisen auf eigene Gefahr und werden dazu angehalten, die örtlichen Gesetze zu befolgen.“ Und für Personen-, Sach- und Vermögensschäden oder auch Verluste und Verletzungen seien weder Autoren noch Herausgeber, Verlag oder dessen Beauftragte haftbar. Das klingt schlimmer, als es ist: Nicht alle der mehr als 700 Tipps im **Atlas Obscura. Entdeckungsreisen zu den verborgenen Wundern der Welt (mosaik)** sind so abenteuerlich. Und selbst wenn es so wäre – der dicke Wälzer ist sowieso kein herkömmlicher Reiseführer, sondern macht auch ganz ohne Reise auf der gemütlichen Couch Spaß. Die Entscheidung für ein Reiseziel fiele ohnehin schwer: Lieber zur entlegensten von Menschen besiedelten Insel der Welt – nach Tristan da Cunha –, die man erst nach einer siebentägigen Seereise von Kapstadt aus erreicht? Oder eher zur alljährlichen Einfangübung im Ueno-Zoo in Tokio, wenn als Affe, Zebra oder Nashorn verkleidete Zoowärter die Flucht planen, während Kollegen trainieren, eben diese Flucht zu verhindern? Man könnte aber auch im amerikanischen Livermore einen Blick auf die Glühbirne werfen, die bereits seit 1901 in einer Feuerwache brennt und nach über einer Million Betriebsstunden immerhin noch vier Watt Leistung bringt. Zu finden in der Fire Station 6, 4550 East Avenue, Livermore. „Am besten läutet man an der Rückseite der Feuerwache“, rät der ungewöhnliche Reiseführer.

Die Urheber des „Atlas Obscura“ – Joshua Foer und Dylan Thuras – fingen 2009 an, kuriose Reisetipps auf einer Webseite zu sammeln. Andere Nutzer konnten die Vorschläge ergänzen. Mit dem 480-seitigen Atlas auf Papier gibt es jetzt eine Auswahl, in der man genüsslich blättern kann. Mit kurzen Texten und Bildern entdeckt man die Welt – und lernt nicht nur Fakten, sondern auch jede Menge Geschichten und Anekdoten kennen. Über den dänischen Leuchtturm Rubjerg Knude Fyr, der zunehmend von Dünen verschlungen wird. Über die hawaiianische Insel Molokai, die über 100 Jahre – bis 1969 – als natürliches Gefängnis für Leprakranke genutzt wurde und die man mit einem halbstündigen Flug von Honolulu aus erreichen kann. Oder auch über die Bibliotheken von Chinguetti, einem Wüstendorf in Mauretanien, in denen mittelalterliche Manuskripte über Wissenschaft, Mathematik, Gesetzgebung und den Islam aufbewahrt werden. Zusammenstellungen zur arktischen Raumschiffarchitektur, zu stillgelegten Kernkraftwerken oder auch zu tödlichen Geschöpfen in Australien hat man so noch in keinem Atlas gefunden.

Einige Ziele des Schmökers sind dabei allerdings weder unbekannt noch besonders gefährlich – sie stehen auch in den „normalen“ Reiseführern, die die Touristen beispielsweise in der marokkanischen Stadt Fés in die Medina zu den Gerbereien schicken. Auch die Nazca-Linien in Peru, die einst in den Boden geritzt wurden, gehören zur Route von Touristenbussen. Das tut dem Vergnügen am Buch jedoch keinen Abbruch, denn so kann man zumindest hinter einige Ziele ein Häkchen setzen: selbst besucht, schon gesehen. Kaum jemand aber dürfte die Altäre in den Eistunneln der Amundsen-Scott-Südpolstation besichtigt haben, das Eichhörnchen-Museum in Torrington in Westkanada oder das zwar gebaute, doch nie in Betrieb genommene 3.000-Zimmer-Hotel Ryugyong im nordkoreanischen Pjöngjang ...

Manuela Braun



WETTERFROSCH IM SELBSTVERSUCH

Übers Wetter reden können alle. Zu kalt, zu nass, zu warm, zu viel oder zu wenig Schnee. Mit Urs Neus **Do-it-yourself Wettervorhersage (Haupt Verlag)** kann man nicht nur darüber reden, sondern selbst Wetterlagen einschätzen und Prognosen erstellen. Dazu erläutert der Geograf mit Texten, Tabellen und Fotos, wie das Wetter entsteht, wie man Druck-, Niederschlags- und Bewölkungskarten liest und auf dieser Basis Einschätzungen trifft. Im letzten Kapitel wird der Leser mit den entsprechenden Links zu den verschiedenen Wetterkarten versorgt und erhält Übungsaufgaben samt Lösung und Diskussion. Das alles geschieht in gut verständlicher Sprache für alle, die sich gerne mit Gewitterzellen, Strömungsverläufen und Fallwinden beschäftigen.

Manuela Braun



ANEKDOTEN AUS DER RAUMFAHRT

Satelliten, die noch auf der Erde im Labor zerschellen, die Ängste eines Space-shuttle-Astronauten oder auch die holprige Landung einer Sojus-Kapsel weit abseits vom geplanten Landepunkt – für **Biep Biep. Wir haben ein Problem (Eulenspiegel Verlag)** hat Eugen Reichl Geschichten und Anekdoten aus der Raumfahrt zusammengetragen. Einige kennt man bereits, manche sind ziemlich harmlos, aber Themeneinsteiger lesen die 160 Seiten leicht weg. Denn Reichl spart die hochtechnische Seite der Raumfahrt (über diese hat der Autor diverse Sachbücher veröffentlicht) aus und bringt diesmal die menschliche Seite ins Spiel.

Manuela Braun



KLIMAPOLITIK KONDENSIERT

Um den Klimawandel in den Griff zu bekommen, bedarf es einer wissenden Klimapolitik. In dem Taschenbuch **Klimapolitik. Ziele, Konflikte, Lösungen (C.H.Beck Wissen)** gibt es zu diesem Thema eine geballte Menge Information von zwei Experten: Dr. Ottmar Edenhofer arbeitet unter anderem am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und war Vorsitzender des Weltklimarats IPCC. Dr. Michael Jakob forscht am Mercator Research Institute for Global Commons and Climate Change (MCC). Auf nur 128 Seiten geht es eng bedruckt und mit Tabellen und Grafiken in Schwarz-Weiß um eine Bestandsaufnahme, Ziele, Instrumente, Institutionen und die Rolle der Wissenschaft in der Klimapolitik. Nichts zum Querlesen oder Schmökern, sondern gut verständliche und inhaltvolle Lektüre.

Manuela Braun



DIE ZUKUNFT IM BLICK

Zukunft is the future (der Hörverlag) – und deshalb widmet Kabarettist Vince Ebert eben diesen Zukunftsaussichten ein Liveprogramm. In 70 Minuten galoppiert er vor Publikum durch Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Dabei geht es nicht darum, Wissenschaft zu erklären; Vince Ebert weiß vielmehr, Themen geschickt miteinander zu verbinden, die in der Kombination durchaus unterhaltsam sind. Eine weibliche künstliche Intelligenz darf mit dem Diplom-Physiker plaudern, die Lebensweise im heimischen Odenwald wird mit Liebe durch den Kakao gezogen und zwischendurch gibt es auch etwas Wissenschaft. Kurzweilig, manchmal albern, oft bissig.

Manuela Braun



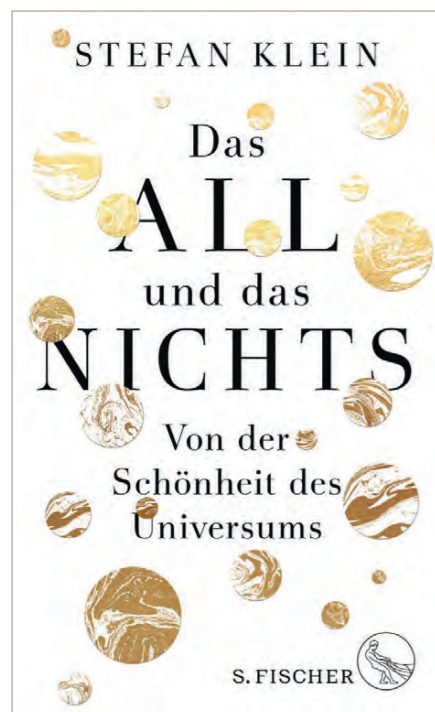


DIE RAUMFAHRT AUS ASTRONAUTENSICHT

Zehn Tage war Ulrich Walter im All. 1993 arbeitete er an Bord des Spacelab in der Schwerelosigkeit. Die deutsche D2-Mission liegt mittlerweile 25 Jahre zurück – in dieser Zeit hat der Astronaut reichlich Erfahrung darin gewonnen, immer wieder dieselben Fragen zu beantworten. In seinem Buch **Höllennritt durch Raum und Zeit (Komplett-Media)** hat er einige Antworten nun ein für alle Mal niedergeschrieben: Warum ist man im All schwerelos? Kann man die Chinesische Mauer aus dem Weltraum sehen? Sind Reisen zu fernen Welten möglich? Auch beliebte und nachgefragte Themen wie „Alltag im All“ oder „Sex in Space“ handelt er ab. Im Kapitel „Höllennritt ins All – Abgeschnitten von der Welt“ beschreibt er ausführlich den Start, den Aufenthalt im All und die Rückkehr zur Erde. Das alles macht er genauso, wie man es sich wünscht: mit netten Details, sehr lesbar und verständlich, ganz aus seiner persönlichen Perspektive und wissend um das, was der Laie erfahren möchte. Der Physiker und Universitätsdozent für Raumfahrttechnik knüpft sich auf 225 Seiten aber noch weitere Themen vor, die von der Möglichkeit zu Zeitreisen über die Funktionsweise des Warp-Antriebs bis hin zu Weltraummüll, Elon Musk, der Weltraumbestattung mit Frühbucherrabatt, dem ExoMars-Desaster und der Mär vom cleveren Raketen-Recycling reichen.

Der „Höllennritt“ ist kein neutrales und auch kein stringentes Sachbuch – vielmehr bekommt man erst Fakten zu einem großen Themen-Bauchladen präsentiert und diese dann kommentiert. Walter traut den Russen keine eigene zukünftige Raumstation zu, kritisiert, dass deutsche Medien nichts von Raumfahrt halten, und gibt dem Raketen-Recycling keine Perspektive. Dass es sich hier um seine Meinung handelt, legt er allerdings jederzeit deutlich offen – das gibt dem Buch eine persönliche Note, verärgert auch nicht, sondern regt eher dazu an, sich mit den Fragen der Raumfahrt auseinanderzusetzen (oder sich eine zweite Meinung einzuholen). Wem das zusagt, der kann in Ulrich Walters Sachbuch „Im Schwarzen Loch ist der Teufel los“ (Komplett-Media) weiterlesen und -lernen. Darin erklärt der Astronaut ganz einfach mal das Weltall.

Manuela Braun



STAUNEN OHNE FOLGEN

Ist das, was wir wahrnehmen, Wirklichkeit oder lediglich Illusion? Können wir das Universum, in dem wir leben, überhaupt verstehen und wie lässt sich unsere Existenz begründen? Diesen Fragen geht das Buch **Das All und das Nichts – Von der Schönheit des Universums** von Stefan Klein (**S. Fischer**) nach. Es beschreibt, wie die moderne Physik unser Weltbild auf den Kopf stellt. Der Autor gibt komplexe Fragestellungen so einfach wider, dass ihm selbst Leser ohne Vorkenntnisse folgen können. So jedenfalls der Anspruch. Dies gelingt ihm oft erstaunlich gut, aber nicht immer. Die Erläuterung verschränkter Zustände in der Quantenmechanik mit Hilfe koordiniert vorgehender Diebesbanden wirkt genauso befremdlich wie manche seiner Exkursionen in die Welt der Philosophie. Es stellt sich die Frage, welchen Leserkreis der Autor mit seinem Buch erreichen möchte. Für die naturwissenschaftlich „Vorbekanntesten“ enthält es zu wenig Zahlen, Daten und Fakten. Sie werden auf die umfangreichen Anmerkungen verwiesen, die dann dankenswerterweise weiterführende und auch aktuelle Informationen liefern. Ob die anderen Leser wirklich einen Einblick in die Welt der Physik erhalten und sich ihnen Zusammenhänge erschließen, darf bezweifelt werden. Sie mögen das Fehlen von Abbildungen, die Zusammenhänge visualisieren, als Manko empfinden. Somit reduziert sich der 240-Seiten-Band auf eine unterhaltsame Lektüre für verregnete Sonntage. An manchen Stellen staunt man durchaus. Der Erkenntnisgewinn aber beschränkt sich darauf, alles schon einmal besser gesehen, gehört oder gelesen zu haben.

Dr. Michael Winter



ILLUSTRIERTER JAGDFLUG

Für die bildhafte Dokumentation bietet sich bekanntlich die Fotografie an. Vor ihrer Zeit fanden Kunstmalerei ein Betätigungsfeld. Dies gilt auch für die Technik, speziell die militärische Luftfahrt. Kampfszenen aus den Weltkriegen entzogen sich sui generis der Fotografie. So verwundert es nicht, dass sich Kunstmalerei und Illustratoren dieses Themas annehmen. Bei **GeraMond** erschien unter dem Titel **Fighter! Die zehn besten Jagdflugzeuge des Zweiten Weltkriegs** die deutsche Fassung eines amerikanischen Bildbands von Jim Laurier.

In großformatigen Farbbildern präsentiert der Maler und Pilot darin Szenen, auf denen er die Geschwindigkeit der Flugzeuge, seinerzeit immerhin Spitzenprodukte der Luftfahrttechnik, ebenso darstellt wie die bängstige Dramatik eines Geschwader-Anflugs, und das auf geradezu fotorealistische Weise. Unter den zehn Flugzeugen sind die drei deutschen Muster Messerschmitt Bf 109, Focke Wulf FW 190 und der erste Kampfflugzeug weltweit, die Messerschmitt Me 262. Auch von Flugmanövern weiterer klassischer „war birds“ aus den USA, Großbritannien und Japan wie der Spitfire oder der P 51 „Mustang“ bekommt man eine Vorstellung. Neben der großflächigen Darstellung sowohl verbürgter wie auch fiktiver Szenen stellt der Autor in mehrseitigen porträtartigen Beschreibungen und Fotos die Flugzeuge vor. Für den Luftfahrt-Fan besonders interessant sind die Abbildungen der Cockpits mit präziser Benennung sämtlicher Schalter und Anzeigen. Nicht zuletzt erfährt der militär-historisch interessierte Leser manches über die damaligen Piloten, oftmals Fliegerassessoren ihrer Luftwaffen, über Einsatzbereiche und Einsätze dieser Jagdflugzeuge.

Ärgerlich allerdings sind Formulierungen im Vorwort- und Einleitungstext des Autors, wenn noch ein halbwegs gut gemeinter Euphemismus in Zynismus umschlägt („wenn wir heute hören, wie sich ein Warbird in die Lüfte schwingt, begeistert er uns wie das Fliegen an sich“). Hier hätte dem Buch mehr verlegerische Sensibilität gutgetan.

Hans-Leo Richter



KLEINES LEHRSTÜCK TRIEBWERKBAU

Selber bauen, was Boeing, Airbus und Co. in die Luft bringen – unter diesem Motto wird – unter anderem vom „Bild der Wissenschaft“-Shop – ein bemerkenswerter Modellbausatz beworben, eine geradezu schullbuchmäßig aufgebaute **Flugzeugturbine**. Mehr als 60 Einzelteile für Fan, Niederdruck- und Hochdruckverdichter mit Rotoren und Statoren, Brennkammer, Hoch- und Niederdruckturbine, Endkonus sowie ein transparentes Plexiglas-Triebwerkgehäuse umfasst der vom **Franzis-Verlag München** herausgebrachte Bausatz. Alle Teile werden mit- und ineinander gesteckt beziehungsweise verschraubt, kein Klebevorgang verdrießt den Kleister-Hasser. Ein 56-seitiges, reichlich illustriertes Handbuch informiert über Aufbau und Art von Strahltriebwerken, präsentiert beispielhaft wichtige Flugzeugtypen (darunter sogar das einstige DLR-Forschungsflugzeug ATTAS) sowie deren Hersteller und erläutert minutiös sämtliche Arbeitsschritte („Fädeln Sie dabei die Laschen im Leitschaukelring und in der Hecknabe sauber in die entsprechenden Schlitze im Gehäuse ein und passen Sie die Leitschaukeln in die Führungen am Gehäuse ein ...“). Die Arbeitsschritte fügen sich logisch aneinander und bieten keine besonderen Schwierigkeiten – wenn man sich präzise an die Bauanleitung hält.

Das Turbinenmodell ruht auf einem Sockel und wird über einen Transmissionsriemen von einem kleinen batteriegespeisten Elektromotor angetrieben. Dann leuchten die Brennräume der Ringbrennkammer und ein Audio-Chip überrascht mit einem Triebwerkgeräusch. Das Modell ist bestens geeignet als Anschauungsobjekt für Luftfahrtfans nahezu jeden Alters und bietet zudem einen Dekorationsanreiz für den Schreibtisch oder das Regal.

Hans-Leo Richter

LINKTIPPS

ÜBERLEBT AUF DEM MARS?

youtu.be/y-B9bdO3nEQ

Selten sieht man die Frage nach außerirdischem Leben so gut erläutert wie auf dem Youtube-Kanal der Helmholtz-Gemeinschaft. Nach dem kurzen Experten-Interview (Tilman Spohn, DLR) und der veranschaulichenden Animation zu Mars-Historie, Extremophilen und der Darstellung robotischer Bodenbohrungen weiß man, worum es geht. Mit diesem guten Gefühl schaut man sich dann auch gern weitere Youtube-Beiträge von Helmholtz an: Schwerelosigkeit, Klimawandel, Solarenergie ... hier gibt es allerlei zu entdecken.

SPUREN MENSCHLICHEN TUNS

s.dlr.de/f4nm

Die Siedlungsräume auf unserer Erde in beeindruckendem Gesamtüberblick zeigt diese Seite des Earth Observation Center im DLR. Schön animiert und mit Hintergrundinformationen zum Projekt Global Urban Footprint (GUF) versehen. In voller Auflösung erkennt man selbst schmale Straßendörfer, einzelne Höfe oder unbebaute Korridore in Großstädten. Wozu das am Ende gut ist? – Unter anderem zum Vergleich der Siedlungsdynamik zwischen verschiedensten Regionen der Erde.

FAHRZEUG ODER MASCHINE?

www.youtube.com/watch?v=47gppq7QzNc

Zehn erstaunliche Vehikel! Man würde es nicht glauben, sähe man sie nicht im Bewegtbild rollen, gleiten, fahren, schwimmen, cruisen, bauen. Technik, die begeistert! Auch wenn das eine oder andere extrem geländegängige Fortbewegungsmittel militärisch intendiert ist.

NERDIGES BACKEN

bakingsciencetraveller.wordpress.com/

Eine Mathematikerin bloggt. Und sie hat Humor. Denn sie kommt luftig leicht mit Backwerken daher, die etwas mit Wissenschaft zu tun haben. Erdkekse zum Beispiel, im Englischen als Earth Cookies eleganter anzuhören. Oder Sternenhimmelwaffelkuchen. Auf ihrem Blog gibt es aber auch Experimente, Biografien und Arbeitsblätter auf einem Lehrermarktplatz. – Der Blog macht einfach Laune.

ALLES MOBIL

www.verkehrsmuseum-dresden.de/

Wie wäre es mit einer Zeitreise durch die mobile Welt? Im Verkehrsmuseum Dresden geht das. Es ist wie die Stadt selbst allemal eine Reise wert. Wer dazu nicht in das älteste Ausstellungsgebäude von „Elbflorenz“ – das JOHANNENUM am Neumarkt – kommen möchte, kann das per App tun. Das Angebot ist gratis, mehrsprachig und auch in Gebärdensprache verfügbar für Android und iOS. Ebenso frisch wie das neue Design des 2008 modernisierten altehrwürdigen Ausstellungshauses. 2017 erhielt es den Sächsischen Museumspreis, denn es zeigt mehr als Vehikel für Straße, Schiene, Luft und Wasser.

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, Digitalisierung 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 sind im DLR zwei Projektträger zur Forschungsförderung angesiedelt.

In den 20 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Dresden, Göttingen, Hamburg, Jena, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, 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: Dr. Katrin Simhandl (ViSdP), Cordula Tegen (Redaktionsleitung)
An dieser Ausgabe haben mitgewirkt: Manuela Braun, Dorothee Bürkle, Falk Dambowsky und Julia Heil

DLR-Politikbeziehungen und Kommunikation
Linder Höhe, 51147 Köln
Telefon 02203 601-2116
E-Mail kommunikation@dlr.de
Web DLR.de
Twitter @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^o
klimateutral
Druckprodukt | ID: 53106-1803-1001



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Titelbild

Spektakulärer Verfolgungsflug im Dienste der Forschung: Die zum fliegenden Labor umgerüstete DC-8 der NASA schnüffelt im Abgasstrahl des Airbus A320 ATRA des DLR. Die Flugkampagne soll klären, wie sich Biotreibstoffe auf Emissionen und Kondensstreifen auswirken.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages