

OFFENBARUNG DER INNEREN WERTE

Digitalisierung in der Werkstoffforschung

ZUKUNFT BRAUCHT FORSCHUNG: DLR mit neuer Strategie
BIG DATA AUS WEILHEIM: 50 Jahre auf Empfang



Liebe Leserinnen und Leser,

mit den inneren Werten ist das so eine Sache. Sie zeigen sich nicht auf den ersten Blick. Zuweilen will Potenzial erst entdeckt werden. Deutlich sichtbar gemacht lässt es sich dann nutzen. Das ist selbst in der Wissenschaft so. Das Erkennen von Potenzialen ist der erste Schritt zu etwas Neuem. Wenn sich unser Leben beispielsweise durch die Digitalisierung grundlegend verändert, ist auch das DLR aufgefordert, sich neu auszurichten. Das hat es getan und das Jahr 2017 genutzt, um eine neue Strategie zu erarbeiten. Das Jahresend-Magazin stellt sie vor.

Die inneren Werte sind aber auch ganz wörtlich genommen Thema in dieser Ausgabe: Die Werkstoffforscherin Marion Bartsch und ihr Team unternehmen eine virtuelle Reise ins Innere von Materialien und offenbaren mit numerischen Methoden, was im Verborgenen passiert. Potenziale von Werkstoffinnovationen zeigen sich dank der Digitalisierung in diesem für so viele Anwendungen wichtigen Bereich, seien es Flugzeugbau, Raumfahrt oder andere technische Anlagen.

Ganz bewusst im Verborgenen begann die Geschichte der DLR-Antennenstation Weilheim. Gesucht wurde 1967 ein Ort mit geringen Funkstörungen. Big Data war vor 50 Jahren noch kein Begriff. Mit dem Datenempfang des ersten deutschen Satelliten AZUR nahm in dem verträumten bayerischen Ort eine in der Rückblende erstaunliche Entwicklung ihren Anfang. Zeitzeugen machen sie auch für jüngere Magazin-Leser nachvollziehbar. Die Geschichte führt bis ins Heute zum Europäischen Datenrelais-System EDRS, das nahezu in Echtzeit gewaltige Datenmengen – bis zu 50 Terabyte pro Tag – für die Weiterverarbeitung zur Verfügung stellt.

Wirklich gestaunt haben wir in der Magazin-Redaktion auch über ein ganz ungewöhnliches Flugzeug. Es trägt das Triebwerk Huckepack. Studierende entwarfen es und siegten damit in einem Design-Wettbewerb von NASA und DLR.

Was es zum Jahresende 2017 aus dem DLR noch zu berichten gibt? – Ein mobiles Laboratorium zur Detektion von Weltraumschrott wurde in Stuttgart gebaut. Eine neue Generation von Rotorblättern für Windkraftanlagen erlebte ihre Geburtsstunde. Auch die Warenverteilung in Städten beschäftigt das DLR, damit Pakete gut ankommen, und zwar nicht nur für den Adressaten gut, sondern auch für die Umwelt. Ihr Magazin ist dem voraus. Es reist die letzte Etappe bereits mit dem Rad.

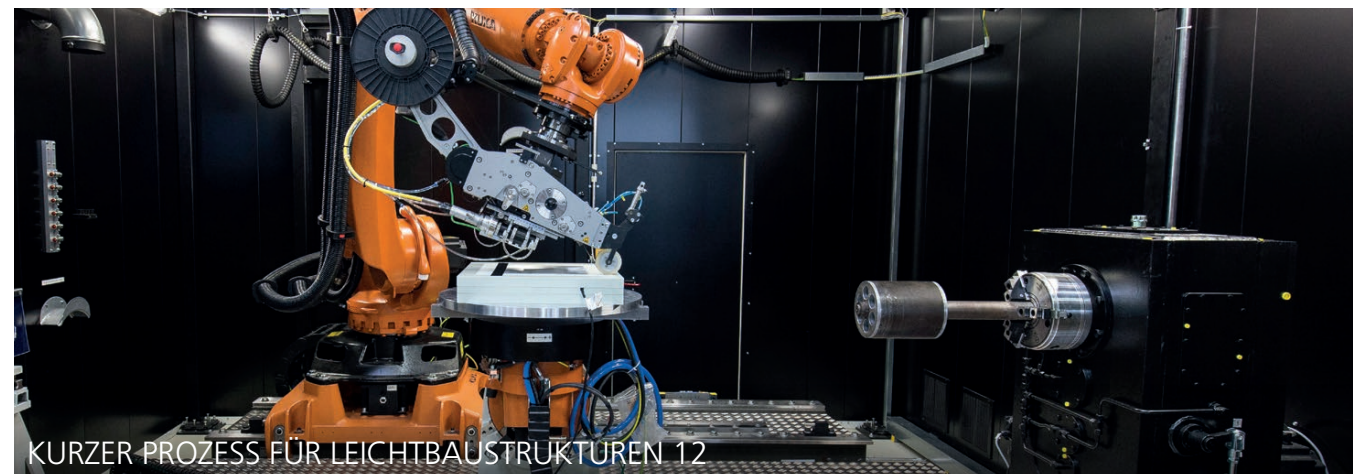
In diesem Sinne einen guten Jahresausklang wünscht Ihnen

Ihre Magazin-Redaktion



50 JAHRE BIG DATA AUS WEILHEIM

22



KURZER PROZESS FÜR LEICHTBAUSTRUKTUREN 12



WELTRAUMSCHROTT IM BLICK

28



MIT DEM TRIEBWERK HUCKEPACK

36



WELTRAUMMUSEUM 52

DLRmagazin 156

EDITORIAL	2
DLR-STRATEGIE 2030 Zukunft braucht Forschung	4
MELDUNGEN	10
KURZER PROZESS IM LEICHTBAU Thermoplaste locken mit Vorzügen	12
SMARTE ROTORBLÄTTER Meisterstück aus Faserverbundmaterialien	16
OFFENBARUNG DER INNEREN WERTE Digitalisierung in der Werkstoffforschung	18
BIG DATA AUS WEILHEIM 50 Jahre DLR-Bodenstation	22
PUNKTGENAU AUF 700 KILOMETER Weltraumschrott im Blick	28
KURZMELDUNGEN	34
MIT DEM TRIEBWERK HUCKEPACK DesignChallenge von DLR und NASA	36
MESSEN, VORHERSAGEN, HANDELN Bessere Klimamodelle dank DLR-Daten	40
CLEVERER TRANSPORT IN STÄDTEN Wo lohnt sich das Lastenrad?	44
MELDUNGEN	46
EINSEN UND NULLEN FÜR DAS „WOW“ Die Planetare Bildbibliothek im DLR	48
IN MUSEEN GESEHEN Kathedrale der Kosmonautik in Moskau	52
REZENSIONEN	56

DIE ZUKUNFT BRAUCHT FORSCHUNG

Klimawandel, Zukunft der Energieversorgung, Digitalisierung und innere Sicherheit – das 21. Jahrhundert beginnt mit neuen Herausforderungen von großer Tragweite für die gesamte Weltbevölkerung. Indem das DLR Spitzenforschung betreibt, Kernkompetenzen stärkt, Synergiepotenziale nutzt und Innovationsimpulse setzt, wird es noch stärker auf diese Herausforderungen reagieren und zu deren Lösung beitragen. Die DLR-Strategie 2030 weist hierfür den Weg in die Zukunft und unterstützt Gesellschaft und Politik dabei, jetzt die Weichen richtig zu stellen.

Mit der Strategie 2030 nimmt das DLR Kurs auf Kernfragen gesellschaftlichen Fortschritts, stärkt seine Kernkompetenzen und hebt Synergiepotenziale

Das DLR erbringt in seinen Forschungsschwerpunkten Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr und den Querschnittsbereichen Sicherheit und Digitalisierung Pionierleistungen. Über seine Aufgaben als öffentlich getragene Forschungseinrichtung hinaus ist das DLR auch Raumfahrtagentur und Projektträger. In allen Funktionen richtet es seine Arbeit an volkswirtschaftlichen Anforderungen und gesellschaftlichen Bedürfnissen aus. „Wir wollen die Kernkompetenzen des DLR stärken und interne Synergiepotenziale noch effektiver ausschöpfen, um unsere Spitzenposition in der Forschung zum Nutzen von Gesellschaft und Wirtschaft weiter auszubauen“, beschreibt die DLR-Vorstandsvorsitzende Professor Dr. Pascale Ehrenfreund die grobe Marschrichtung. Die strategischen Ziele in der Forschung, zehn neue Querschnittsprojekte und der neue Querschnittsbereich Digitalisierung spiegeln diese Ambitionen wider.

Die DLR-Forschung richtet sich dabei an den drei folgenden Leitlinien aus:

- **Exzellente Wissenschaft;**
- **Beiträge zur Bewältigung der gesellschaftlichen Herausforderungen und**
- **Partner der Wirtschaft.**

Das DLR unterhält 40 Institute und Einrichtungen an bundesweit 20 Standorten, darunter sieben neue Institute, die das DLR-Forschungsportfolio erweitern. Im Auftrag der Bundesregierung konzipiert das Raumfahrtmanagement im DLR in seiner Funktion als Raumfahrtagentur das deutsche Raumfahrtprogramm, führt es durch und integriert alle deutschen Raumfahrtaktivitäten auf nationaler und europäischer Ebene. In der Funktion als Projektträger fördert und verwaltet das DLR Projekte und Programme im Auftrag mehrerer Bundesministerien und anderer Zuwendungsgeber. Der DLR Projektträger und der DLR Projektträger Luftfahrtforschung bieten Wissenschafts-, Innovations- und Bildungsmanagement für alle Forschungsbereiche – entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Lösungen aus einer Hand

Die traditionelle Stärke des DLR ist die Systemfähigkeit in der Luft- und Raumfahrtforschung. Sie ist in Europa einmalig. In der Energie- und Verkehrsforschung bearbeitet das DLR mit hohem Systemverständnis wichtige Schlüsselthemen, die für die Energiewende und die künftige Mobilität von Bedeutung sind. Das DLR wird den Querschnittsbereich Sicherheitsforschung weiter ausbauen, um auch für potenzielle Bedrohungsszenarien praxistaugliche Lösungen anbieten zu können. Um den aktuellen technologischen und gesellschaftlichen Umwälzungen, die mit der digitalen Revolution einhergehen, Rechnung zu tragen, wird der neue Querschnittsbereich Digitalisierung eingerichtet.



Umweltschonend fliegen: Dass Beimischungen von Biotreibstoff die Emission von Rußpartikeln gegenüber der Verbrennung von reinem Kerosin um mehr als die Hälfte reduzieren können, zeigen Forschungsflüge des DLR und der NASA. Hinter einer DC-8 messen Wissenschaftler an Bord der DLR-Falcon die Abgaszusammensetzung.

Als Forschungszentrum, Projektträger und Raumfahrtagentur verfügt das DLR über ein einzigartiges, gebündeltes Kompetenzspektrum, das für wichtige gesellschaftliche Themen wie etwa den Klimawandel Modelle und Handlungsoptionen bereitstellt. So liefert zum Beispiel die Satellitenfernerkundung wesentliche Daten für die Klimaforschung und ist gleichermaßen essenziell für die Soforthilfe bei Naturkatastrophen.

Die Forschungsschwerpunkte und Querschnittsbereiche setzen sich die folgenden strategischen Ziele:

Die DLR-Luftfahrtforschung erhebt im Einklang mit der Luftfahrtstrategie der Bundesregierung Systemanspruch. Das heißt, sie adressiert von den Grundlagen bis zur Anwendung alle wesentlichen Aspekte des Lufttransportsystems. Dies umfasst den Betrieb von Flugzeugen mit intelligenter Verkehrsführung und Kommunikation ebenso wie die Beurteilung der Auswirkungen des Luftverkehrs. „Das Flugzeug von morgen soll sicher, wirtschaftlich, umweltfreundlich und leise sein. Seine Entwicklung ist ein komplexes Unterfangen. Der Schlüssel dazu liegt in der Digitalisierung beziehungsweise Virtualisierung. Wir arbeiten daran, fliegende Vehikel in einer virtuellen Atmosphäre über den gesamten Produktlebenszyklus mit all ihren Eigenschaften und Verhaltensweisen abzubilden“, skizziert DLR-Luftfahrtvorstand Professor Rolf Henke das anvisierte Ziel. Dazu braucht es unterschiedlichste Forschungsansätze zu Design, Leichtbau, Software, Assistenzsystemen und zu neuen Verfahren (zum Beispiel 3D-Druck) ebenso wie Tests in Windkanälen sowie Forschungsflüge.

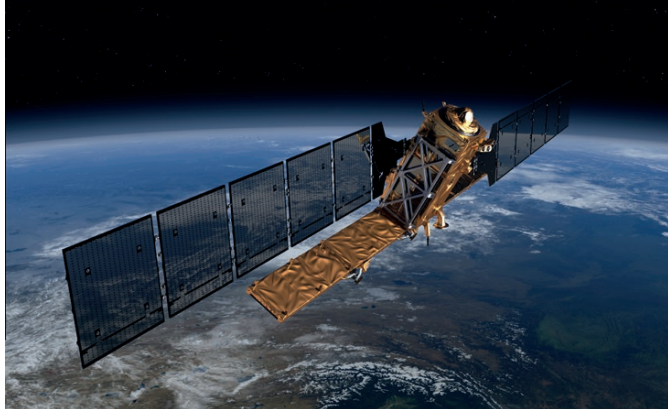
„Satelliten ermöglichen weltweite Kommunikations- und Navigationsdienste, die wir – beispielsweise durch optische, quantenkryptografische Systeme – kontinuierlich weiterentwickeln. So leisten wir mit unserer Raumfahrtforschung einen wichtigen Beitrag zur Digitalisierung wie auch zur Mobilität der Zukunft, sagt Professor Hansjörg Dittus,



Forschen für die Energiewende: Hochtemperaturwärmespeicher sind ein Schlüssel zu regelbarem Strom aus erneuerbaren Energien. Mit der DLR-Anlage TESIS können Unternehmen Komponenten zur Speicherung von Flüssigsalz testen.

Vorstand Raumfahrtforschung und -technologie zur Strategie in diesem Bereich. In Kombination mit der Robotik werden die Satelliten langlebiger und kostengünstiger. Neue Missionskonzepte und leistungsfähige Bodeninfrastrukturen und Sensoren erlauben die permanente Verfügbarkeit von Erdbeobachtungs- und Explorationsdaten. Dies wird für Dienstleistungen und Wissenschaft von Vorteil sein, denn man wird neue Informationen und neues Wissen generieren können. Um das gesamte System nachhaltig zu gestalten, werden umweltverträgliche Trägerraketen und Treibstoffe analysiert und erprobt.

Zum dekarbonisierten Energiesystem der Zukunft leistet die DLR-Energieforschung zentrale Beiträge, die eine realistische Anwendungsperspektive und quantitative Relevanz haben. Dies umfasst effiziente Energiespeicher (thermisch, elektrisch und chemisch), Wind- und Solarenergieanlagen, Brennstoffzellen und umweltfreundliche Gasturbinen. Die Energiesystemanalyse komplettiert die Forschungen mit Technologiebewertungen und wirtschaftlichen Einsatzszenarien. „Die Energiewende ist eine der großen Herausforderungen der Gegenwart. Sie kann nur gelingen, wenn neben dem Strom auch die Bereiche Wärme und Mobilität einbezogen werden. Mit seinen Kompetenzen in den Bereichen Energie und Verkehr leistet das DLR hier entscheidende Beiträge,“ betont Professor Dr.-Ing. Karsten Lemmer, Vorstand für Energie und Verkehr, das Synergiepotenzial des DLR. „Die DLR-Verkehrsforschung zielt auf die zentralen Herausforderungen künftiger bodengebundener Mobilität: maximale Effizienz, minimale Emissionen und höchste Sicherheit. Zur Gestaltung von Lösungen werden dabei insbesondere die Möglichkeiten der Digitalisierung genutzt. Besonders vielversprechend sind hier die verstärkte Automatisierung, die zielgerichtete Erschließung und Nutzung neuer Datenquellen, die intensive Vernetzung der Verkehrsträger sowie die neuen Möglichkeiten zur umfassenden Berücksichtigung verkehrlicher Zusammenhänge“, hebt Lemmer hervor.



Mit dem Satelliten Sentinel-1A startete am 3. April 2014 das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus. Es stellt umfassende Informationen über den Zustand der globalen Umwelt auf Basis von Satellitenbeobachtungen der Erde bereit und unterstützt diverse Anwendungen – von der Klimabeobachtung über die Land- und Forstwirtschaft bis hin zur Katastrophenhilfe.



Mobilität der Zukunft: An dieser Forschungskreuzung am Braunschweiger Innenstadtring erfassen Sensoren die Verkehrssituation, um das Verhalten der Verkehrsteilnehmer besser zu verstehen.



Digitalisierung in der Schifffahrt: Eine Messkampagne vor Helgoland zur Übertragung großer Datenmengen bei rauer See dient der maritimen Sicherheit.



Digitale Produktentwicklung: Das speziell für kleine und mittlere Unternehmen vom DLR in Oberpfaffenhofen gegründete Innovationslabor SCIL macht moderne Entwurfstechnologien und Software für neue mechatronische Systeme zugänglich.

Die DLR-Sicherheitsforschung bedient eine große Bandbreite von Themen, da die meisten gesellschaftlichen Herausforderungen, wie Digitalisierung, Cyber-Sicherheit, Mobilität und Schutz kritischer Infrastrukturen, eng mit dem Thema Sicherheit verknüpft sind. Dazu werden sowohl innovative organisatorische Konzepte und Technologien als auch entsprechende Handlungsstrategien entwickelt, die mit den Bedarfsträgern aus Wirtschaft, Politik und Gesellschaft präzise abgestimmt werden.

Im neuen Querschnittsbereich Digitalisierung baut das DLR auf den Kernkompetenzen seiner Forschungsschwerpunkte und -bereiche auf. Mit der Digitalen Agenda hat sich die Bundesregierung das Ziel gesetzt, die digitale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft zu gestalten. Das DLR ist sich bewusst, welche Tragweite der Digitalisierungsprozess hat, und erweitert aus diesem Grund sein Portfolio. Auch multi- und interdisziplinäre Projekte, die die Forschungsgebiete des DLR miteinander verbinden, stehen im Mittelpunkt.

In seiner Funktion als deutsche Raumfahrtagentur konzipiert das Raumfahrtmanagement im DLR im Auftrag der Bundesregierung das deutsche Raumfahrtprogramm. Dr. Gerd Gruppe, Vorstand für das Raumfahrtmanagement, betont: „Die Raumfahrt-Strategie des Bundes setzt auf exzellente Wissenschaft, Technologiekompetenz und eine klare Markt-Ausrichtung. Die Strategie des DLR steht damit im Einklang. Mit seinen Projekten und der Beteiligung an Programmen wie Copernicus oder Galileo ist das DLR ein Schwerpunkt.“

Der DLR Projektträger wird seine Marktposition als systemrelevanter, international aufgestellter Projektträger mit einer großen Themenbreite weiter ausbauen.

Im Rahmen der neuen Strategie wird das DLR seine Stärken nutzen, um den Technologietransfer in die Wirtschaft spürbar auszubauen und dort als Innovationstreiber zu wirken – nicht nur in seinen einschlägigen Forschungsbereichen, sondern in allen Wirtschaftsbranchen.

Synergiepotenziale in der Forschung – die DLR-Querschnittsinitiative

An den Schnittstellen zwischen den verschiedenen Forschungsschwerpunkten und Querschnittsbereichen entstehen Synergiepotenziale. Sie werden zukünftig systematisch identifiziert und konsequent ausgeschöpft. Dazu startet das DLR seine neue Querschnittsinitiative: Mit zehn neuen interdisziplinären Querschnittsprojekten wird das DLR einen über die bestehenden Schwerpunkte hinausgehenden, einzigartigen technologischen und gesellschaftlichen Mehrwert für Deutschland schaffen.

Der neue Querschnittsbereich Digitalisierung umfasst derzeit acht Projekte. Die Themen sind:

- **Digitalisierung in der Wirtschaft**
 - Global Connectivity – globaler breitbandiger Internetzugang über Satellit und hochfliegende Plattformen unter Einsatz lasergestützter optischer Datenübertragung;
 - Factory of the Future – intelligente Robotik in der digitalisierten Produktion;
 - Simulation Based Certification – Simulationsverfahren als Basis für technische Zulassungen.
- **Big and Smart Data/Data Science**
 - Big-Data-Plattform – systematische Analyse großer Datensätze aus heterogenen Quellen;
 - Condition Monitoring for Safety Relevant Structures – neue Diagnoseverfahren für den sicheren Betrieb komplexer Strukturen.
- **Cyber-Sicherheit**
 - Cyber-Sicherheit für autonome und vernetzte Systeme – in der Luft- und Raumfahrt sowie im bodengebundenen Verkehr.
- **Intelligente Mobilität**
 - Verkehr 5.0 – automatisiertes und vernetztes Gesamtverkehrssystem;
 - Digitaler Atlas – Geodatenbank für den Verkehrsraum der Zukunft.

Zusätzlich werden zwei Projekte zum Thema **Energiespeicher/ Energieeffizienz** aufgelegt:

- Future Fuels – Treibstoffe der Zukunft, chemische Hochleistungsspeicher;
- GigaStore – preiswerte Strom- und Wärmespeicher für das Energie- und Verkehrssystem der Zukunft.

Neue Institute

Seit November 2016 erweitern sieben neue Institute das DLR-Forschungsportfolio. Die neuen Institute werden so in das Forschungsportfolio eingebunden und integriert, dass die Schwerpunkte und Querschnittsbereiche von den neuen Kompetenzen profitieren und die Systemfähigkeit des DLR in der Forschung gestärkt wird. In Augsburg, Bremerhaven, Dresden, Hamburg, Jena und Oldenburg werden zukünftig die folgenden Themen vorangetrieben:

- Digitalisierung in der Luftfahrtforschung mit verstärktem Engagement im Hinblick auf Instandhaltung und Modifikation, Systemarchitekturen, Softwaremethoden, das virtuelle Triebwerk und das virtuelle Produkt;
- Systemtechnologien zur Bewältigung der Energiewende;
- Lösungen zum Schutz kritischer maritimer Infrastrukturen und
- Big and Smart Data/Data Science.

Damit liefern die neuen Institute wichtige Bausteine für die Umsetzung der neuen DLR-Strategie.

Innovation und Technologietransfer

Um das Innovationspotenzial zu erhöhen und den Technologietransfer zu stärken, investiert das DLR in den nächsten Jahren verstärkt und gezielt in Innovationsprojekte – quer durch alle Wirtschaftsbranchen. Diese Projekte werden sowohl gemeinsam mit der Industrie – insbesondere mit kleinen und mittleren Unternehmen – als auch anderen Forschungseinrichtungen durchgeführt. Zusätzlich wird das DLR Unternehmensgründungen intensiver unterstützen und die Möglichkei-

ten der unternehmerischen Beteiligung an seinen Ausgründungen erweitern. Darüber hinaus baut es die Kooperation mit der Wirtschaft im Rahmen vorhandener und neuer strategischer Innovationspartnerschaften aus.

Forschungspolitische Rahmenbedingungen

Das DLR bietet der Wirtschaft, Gesellschaft und Politik seine Problemlösungskompetenz bei anstehenden Herausforderungen an. Dabei orientiert sich das DLR insbesondere an der Luftfahrtstrategie und der Nationalen Raumfahrtstrategie, der Digitalen Agenda und der Hightech-Strategie (HTS), in denen die Bundesregierung ihre zentralen strategischen Ziele und die Prioritäten der staatlichen Forschungsförderung dargestellt hat. Die europäischen Förderprogramme in Horizon2020, das kommende neunte EU-Forschungsrahmenprogramm, Flightpath 2050, Energy 2020 sowie die Strategic Research and Innovation Agendas der europäischen Technologieplattformen in Luftfahrt und Verkehr spielen aus innovationspolitischer Sicht eine wesentliche Rolle für die Zukunft und die globale Wettbewerbsfähigkeit Europas – und stellen damit wichtige Rahmenbedingungen für die Aktivitäten des DLR dar. Weitere wichtige Faktoren sind die Mitgliedschaft in der Helmholtz-Gemeinschaft und die Teilnahme am Prozess der Programmorientierten Förderung. Mit seinen interdependenten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung trägt das DLR überdies dazu bei, für eine Reihe von Sustainable Development Goals (SDG) der Vereinten Nationen zukunftsfähige Lösungen zu finden.

Täglich haben Menschen heute mit den Auswirkungen globaler Wandlungsprozesse zu tun, sei es die innere Sicherheit, die Digitalisierung, die Energieversorgung oder Klimaprozesse. Die Dynamik all dessen nimmt zu. Wissensbasierte Lösungen sind gefragt, die mit der Geschwindigkeit der Wandlungsprozesse Schritt halten. Die Strategie 2030 zielt darauf, die Spitzenposition des DLR in der Forschung zum Nutzen von Gesellschaft und Wirtschaft weiter auszubauen.

DIE SIEBEN NEUEN

DLR nimmt Energiesystem und Digitalisierung stärker in den Fokus

Sicher auf See

Die maritime Wirtschaft wird komplexer: Die Zunahme des Transports zur See, leistungsfähigere Häfen sowie eine stärkere Vernetzung fordern Wissenschaft und Technik. Bei all dem muss der Schutz maritimer Anlagen und Systeme wie Schiffe, Hafenanlagen, Ölplattformen oder Offshore-Windanlagen stets gewährleistet sein. Das steht im Fokus des neuen DLR-Instituts in Bremerhaven. Hier erarbeiten Fachleute Analysemethoden, mit denen die Risiken und Gefahren für maritime Anlagen ermittelt werden können. Darüber hinaus entwickeln sie Technologien und Sicherheitskonzepte. So erhöhen sie die Widerstandsfähigkeit der Infrastrukturen gegenüber externen oder internen Störungen.

Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen Bremerhaven

Gründungsdirektor
Dr.-Ing. Dennis Göge

Abteilungen

- Resilienz maritimer Systeme
- Maritime Sicherheitstechnologien

Geplante Mitarbeiterzahl
50 Mitarbeitende

Website
DLR.de/mi



Das neue Energiesystem im Blick

Das Institut für Vernetzte Energiesysteme ergänzt seit dem 29. Juni 2017 die Energieforschung im DLR. Das ehemalige Oldenburger Forschungszentrum NEXT ENERGY wurde in das DLR integriert und neu ausgerichtet. Seitdem widmet es sich den Strukturen und Herausforderungen der dezentralisierten Energiewelt. Seine Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen konzentrieren sich auf die Entwicklung von systemorientierten Technologien und Konzepten für eine nachhaltige Energieversorgung.

Institut für Vernetzte Energiesysteme Oldenburg

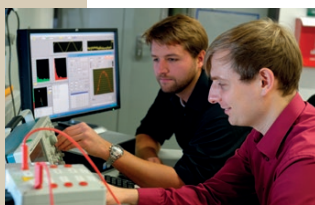
Institutsdirektor
Professor Dr. Carsten Agert

Abteilungen

- Stadt- und Gebäudetechnologien
- Energiesystemanalyse
- Energiesystemtechnologie

Aktuelle Mitarbeiterzahl
150 Mitarbeitende

Website
DLR.de/ve



Arbeiten am Triebwerk der Zukunft

Das neue DLR-Institut in Augsburg legt seinen Schwerpunkt auf leisere und umweltfreundlichere Flugzeugtriebwerke für morgen. Dazu werden numerische und experimentelle Verfahren kombiniert und die digitale Plattform „Virtual Engine“ aufgebaut. Diese schließt neben allen Komponenten des Triebwerks auch alle physikalischen Aspekte sowie deren Interaktionen ein. In einem neuartigen Prüfstand untersuchen die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen Auswirkungen mechanischer, thermischer und chemischer Lasten auf die neuen Werkstoffe und Bauteile.

Institut für Test und Simulation für Gasturbinen Augsburg

Gründungsdirektor
Professor Dr.-Ing. Stefan Reh

Abteilungen

- Virtual Engine and Numerical Methods
- Testing and Measurement Techniques
- Information Technology
- Administration and Operational Management

Geplante Mitarbeiterzahl
45 Mitarbeitende

Website
DLR.de/sg



Luftfahrtforschung und Industrie 4.0

Das System Luftfahrt besteht aus vielen Bereichen, die perfekt aufeinander abgestimmt sein müssen. Angefangen bei dem Lufttransportsystem als Ganzem über das Flugzeug bis hin zur Produktion von dessen Einzelteilen lassen sich die verschiedenen Ebenen immer weiter differenzieren. In Hamburg erforscht das neue DLR-Institut die Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Systemebenen. Schwerpunkt dort ist die Kopplung von virtuellen Produktentwürfen mit der digitalen Produktion, der Industrie 4.0. Darüber hinaus entwickeln die Fachleute neue Lösungen für den Flugzeugrumpf und die Kabine.

Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt Hamburg

Gründungsdirektor
Björn Nagel

Abteilungen

- Flugzeugentwurf und Systemintegration
- Automatisierung
- Energie und Sicherheit
- Kabine und Nutzlastsysteme

Geplante Mitarbeiterzahl
80 Mitarbeitende

Website
DLR.de/sl



Flugzeugwartung am Computer

Die regelmäßige Wartung von Flugzeugen ist ein unerlässlicher Teil ihres Lebenszyklus, sorgt aber dafür, dass sie nicht ununterbrochen in Betrieb sein können. Das DLR-Institut in Hamburg deckt mit seiner Forschung erstmals den kompletten Wartungsprozess ab. Im Zentrum steht der „digitale Zwilling“ des realen Flugzeugs, ein Modell, das mit ihm altert und so den effizienten und vorausschauenden Betrieb eines Luftfahrzeugs unterstützt. Darüber hinaus erforschen die Wissenschaftler den Einsatz neuer Technologien zur Datenintegration und -visualisierung sowie zur Verknüpfung einzelner Prozessschritte wie Monitoring und Reparaturmaßnahmen.

Institut für Instandhaltung und Modifikation Hamburg

Gründungsdirektor
Professor Dr.-Ing. Hans-Peter Monner

Abteilungen

- Wartungs- und Reparaturtechnologien
- Prozessoptimierung und Digitalisierung
- Produktlebenszyklus-Management

Geplante Mitarbeiterzahl
80 Mitarbeitende

Website
DLR.de/mo



Daten intelligent managen

Die Menge an Daten, die in der wissenschaftlichen Forschung gesammelt werden, wächst durch die zunehmende Digitalisierung nicht mehr linear, sondern exponentiell an. Damit Forscher die Daten optimal nutzen können, müssen sie sinnvoll gespeichert, zusammengeführt und analysiert werden. In Jena arbeiten die Wissenschaftler am neuen Institut für Datenwissenschaften daran, wie die wissenschaftlichen Informationen aus allen DLR-Forschungsbereichen organisiert und verarbeitet werden können. Die Schwerpunkte ihrer Forschung liegen in den Bereichen IT-Sicherheit, Aufbereitung und Analyse von Daten, Industrie 4.0, Bürgerwissenschaften sowie dem Internet der Dinge.

Institut für Datenwissenschaften Jena

Gründungsdirektor
Dr.-Ing. Robert Axmann

Abteilungen

- Datenmanagement und -analyse
- Smart Systems
- IT-Sicherheit
- Citizen Science

Geplante Mitarbeiterzahl
65 Mitarbeitende

Website
DLR.de/dw



Damit das digitale Flugzeug durchstartet

In Dresden wird an den softwaremethodischen Grundlagen für das virtuelle Flugzeug gearbeitet. Dieses soll sich genauso verhalten wie der Flieger in der Realität. Die Wissenschaftler entwickeln in enger Zusammenarbeit mit den Ingenieuren der Fachinstitute multidisziplinäre Software-Plattformen auf Höchstleistungsrechnern, mit denen das virtuelle Produkt umfassend analysiert und optimiert werden kann. Darüber hinaus untersuchen sie neue Ansätze und Methoden zur Analyse und Verwaltung großer Datenmengen sowie zur simulationsgestützten Zertifizierung. So reduzieren sie kostenintensive Entwicklungsarbeiten und langwierige Tests bis zur Zulassung eines Luftfahrzeugs.

Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung Dresden

Gründungsdirektor
Professor Dr. Norbert Kroll

Abteilungen

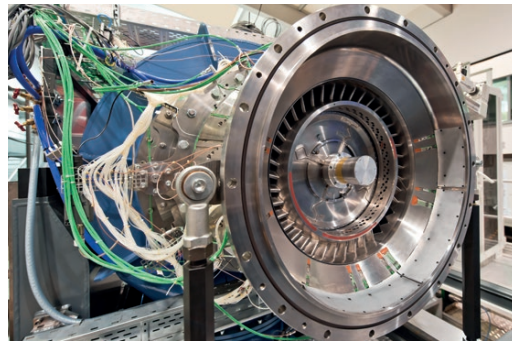
- High Performance Computing
- Plattformforschung
- Software-Entwicklung

Geplante Mitarbeiterzahl
70 Mitarbeitende

Website
DLR.de/sp



NEUE TURBINE FÜR UMWELT-FREUNDLICHE FLUGZEUGE



Blick in den neuen Turbinenprüfstand im DLR Göttingen

Das Zusammenspiel von Brennkammer und Flugzeugturbine haben Göttinger DLR-Forscher in einem neuen Prüfstand untersucht. Auf dem Weg zu umweltfreundlicheren Flugzeugen stellt die Schnittstelle von Brennkammer und Turbine die Triebwerkshersteller vor große Herausforderungen: Neben den sehr heißen Gasen treten dort auch extrem turbulente Luftströmungen auf. Diese Komponenten konnten bislang nur getrennt, jedoch nicht gemeinsam realistisch untersucht werden. Dies ist mit der neuen Anlage „Next-Generation Turbine (NG-Turb)“ möglich.

Das Besondere im Projekt ist der Einsatz eines Brennkammersimulators, in dem die Zuströmung der Turbine kombiniert wird mit verschiedenen pneumatischen und optischen Messtechniken unter Verwendung von Laser- und Infrarotlicht. Ziel des Projekts FACTOR (Full Aerothermal

Combustor-Turbine interactiOns Research) ist es, den Einfluss der real bis zu 1.700 Grad Celsius heißen Brennkammerausströmung auf die Funktion der Turbine besser zu verstehen. Dabei wenden die Forscher hochgenaue Messverfahren an, die in einem realen Triebwerk nicht eingesetzt werden können. Im Ergebnis sollen nicht nur Treibstoffverbrauch und Schadstoffausstoß verringert, sondern auch die Lebensdauer und Wartungskosten der Turbinenteile verbessert werden.

Der Turbinenprüfstand NG-Turb zählt zu den international leistungsstärksten Testeinrichtungen für Flugzeugturbinen. In ihm können Turbinen moderner Flugzeuge vom Geschäftsflieger bis zum A380-Großflugzeug detailgenau untersucht werden.

s.DLR.de/r1jy

SOLARANLAGEN AUF DEM DACH – AUCH EINE FRAGE DER PSYCHOLOGIE



Fotovoltaik-Solaranlagen in Oberstdorf

In der Entscheidung, eine Solaranlage zu kaufen, steckt mehr Verhaltenspsychologie, als den meisten Hausbesitzern bewusst ist. Eine DLR-Studie zeigt, dass sich ein Boom beim Kauf von Solaranlagen vor der Kürzung des Einspeisetarifs allein mit Modellen aus den Wirtschaftswissenschaften nicht erklären lässt. Sehr genau können die Forscher das Investitionsverhalten dagegen voraussagen, wenn sie zusätzlich Modelle aus der Verhaltensökonomie und Kognitionspsychologie anwenden. Über eine Million Solaranlagen wurden in den vergangenen Jahren auf deutschen Hausdächern installiert, gefördert durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Um zu klären, aus welchen Gründen die Deutschen in Solaranlagen investierten, rechneten die Forscher aus, wie viel man mit einer Solaranlage verdient

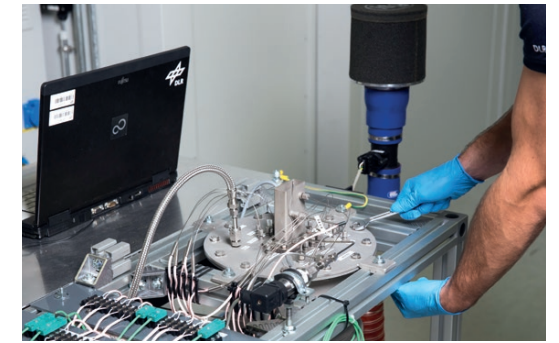
hätte, und setzten diese Wirtschaftlichkeit ins Verhältnis zum tatsächlichen Zubau.

Es zeigte sich, dass es immer dann, wenn der Gesetzgeber die Förderung reduzierte, einen Investitionsprung gab. Die Bürger wollten offenbar noch von einem vergleichsweise höheren Einspeisetarif profitieren, selbst dann, wenn die absolute Gewinnerwartung zu diesem Zeitpunkt gar nicht so hoch war. Die Investitionssprünge lassen sich mit „kognitiver Verzerrung“ erklären, das heißt mit einer systematischen Abweichung davon, was rational zu erwarten wäre. Ein besonderer Kaufanreiz ist demnach die Angst, dass man einen Vorteil, der künftig wegfällt, nicht genutzt hat.

s.DLR.de/g0c7

MEHR REICHWEITE VON ELEKTROFAHRZEUGEN IM WINTER

Im Winter verlieren Autos mit Elektroantrieben Reichweite. DLR-Wissenschaftler haben mit DuoTherm ein Konzept entwickelt, in dem ein effizienter Wärmespeicher die Heizleistung im Elektrofahrzeug übernimmt. Durch den Einsatz metallischer Latentwärmespeicher gelang es, ein Energiespeichersystem zu konzipieren, das in der Lage ist, Wärme auf einem sehr hohen Energieniveau zu speichern, und so die Antriebsbatterie vom Heizen des Fahrzeuginnenraums entlastet. Metallische Latentwärmespeicher, beispielsweise auf Basis einer Aluminium-Silizium-Legierung, bringen nicht nur eine hohe spezifische Energiedichte, sondern zudem eine hohe Wärmeleitfähigkeit mit sich. Diese Speicher nehmen bei einem Phasenwechsel, zum Beispiel von fest zu flüssig, latente oder verborgene Wärme auf und können diese wieder freigeben. Auf einem kleinen Volumen und mit geringer Masse speichern sie mehr Energie als andere Formen von thermischen Speichern und sind somit gut für den platzsparenden Einbau in Elektroautos geeignet.



Prüfstand für die Untersuchung metallischer Latentwärmespeicher

Das Projekt geht noch einen Schritt weiter: Wärmespeicher sollen neben der Reichweite und dem Komfort auch die Gesamteffizienz der Fahrzeuge verbessern, indem sie Bremsenergie aufnehmen, Ladeverluste ausgleichen oder die Batterie kühlen. Um neben der Reichweite auch die Effizienz generell zu erhöhen, reicht der Einsatz von Hochtemperaturspeichern allein aber nicht aus. DuoTherm kombiniert einen Hochtemperaturspeicher mit einem Niedertemperaturspeicher. Dadurch kann Verlustwärme, die häufig nur bei niedrigen Temperaturen vorliegt, gespeichert werden. Das ermöglicht eine höhere Gesamteffizienz ohne zusätzliche Ladezeiten für den thermischen Speicher. Zudem ist das System kostengünstiger für Produzent und Endverbraucher als beispielsweise eine Lösung durch einen zweiten Akku.

s.DLR.de/w9n6

STUDIERENDE FORSCHTEN IN DER STRATOSPHERE

Mit den Forschungsballonen BEXUS 24 und 25 brachten Ende Oktober 2017 internationale Studententeams vom nordschwedischen Raumfahrtzentrum Esrange bei Kiruna aus Experimente zur Schwerelosigkeitsforschung in die Stratosphäre. An Bord der gemeinsamen Mission des DLR und der schwedischen Raumfahrtbehörde SNSB befanden sich je vier wissenschaftliche Experimente von Studenten aus Spanien, Italien und Schweden sowie Deutschland, abermals Schweden und Großbritannien. Versucht wurde unter anderem, Elementarteilchen (Myonen) zu erfassen, die sich nahezu in Lichtgeschwindigkeit fortbewegen. Wie sich Weltraumstrahlung auf elektronische Speicher auswirkt, war ein weiteres Thema. Getestet wurden auch die Stabilität einer federbasierten Reflektorantenne in der Stratosphäre und die Messbarkeit von Infraschall in der Stratosphäre und Troposphäre. Ziel des Studententeams HAMBURG war das automatisierte Einsammeln von eisen-/nickelhaltigen Meteoriten, die kleiner sind als 100 Mikrometer und von Winden in der Atmosphäre aufgetrieben werden. Das Dresdener Team testete Solarzellen unter Weltraumbedingungen. Auch das Verhältnis von eingehender und reflektierter Sonnenstrahlung der Erde und ein besonders stabiles Teleskop waren Gegenstand der Experimente.

Das deutsch-schwedische Programm BEXUS (Ballon-Experimente für Universitäts-Studenten) ermöglicht Studierenden, eigene praktische Erfahrungen bei der Vorbereitung und Durchführung von Raumfahrtprojekten zu gewinnen.

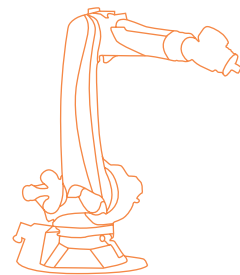


BEXUS 24 beim Start am 18. Oktober 2017

s.DLR.de/i42g

KURZER PROZESS FÜR LEICHTBAUSTRUKTUREN

Das richtige Material an der richtigen Stelle – doch welches kommt wo am besten zum Einsatz? Das ist eine zentrale Frage im Leichtbau, ganz gleich, ob es ums Auto, ums Flugzeug oder um eine Weltraumrakete geht. Dabei spielt nicht nur eine Rolle, wie leicht und leistungsfähig das Material ist, sondern auch, ob es sich gut verarbeiten lässt. Wie sich Leichtbaustrukturen in hoher Stückzahl und gleichbleibender Qualität effizient herstellen lassen, untersuchen die Wissenschaftler des Instituts für Bauweisen und Strukturtechnologie an den DLR-Standorten Augsburg und Stuttgart. Besonderes Augenmerk legen sie auf carbonfaserverstärkte Thermoplaste. Diese erlangen aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften mehr und mehr Bedeutung, insbesondere in der Luftfahrtindustrie. Ihre Herstellung ist momentan noch zeit- und energieintensiv, bietet aber großes Potenzial zur Automatisierung.

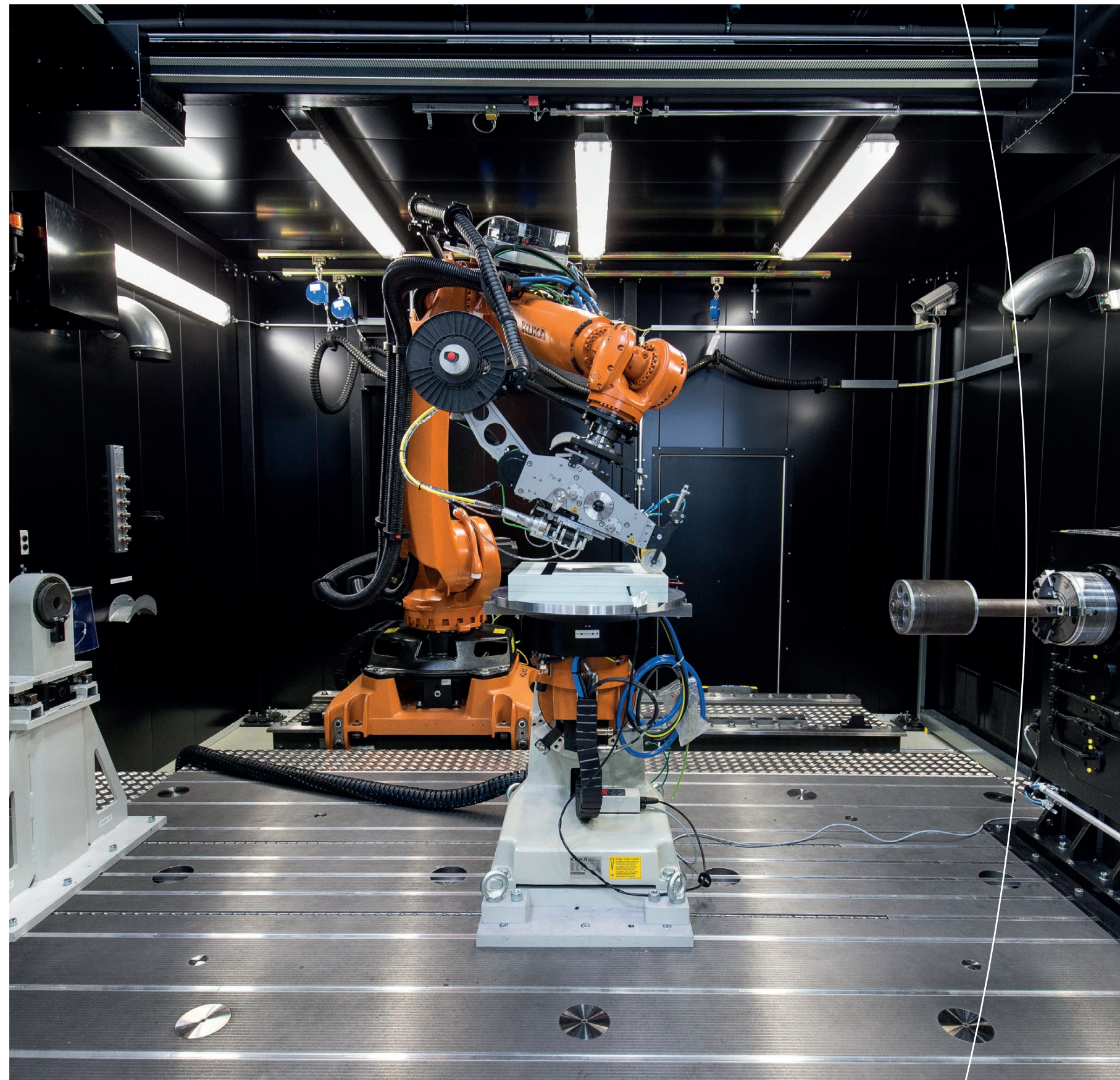


Thermoplaste locken mit ihren Vorzügen: Die DLR-Werkstoffforscher in Augsburg machen sie anwendungsreif.

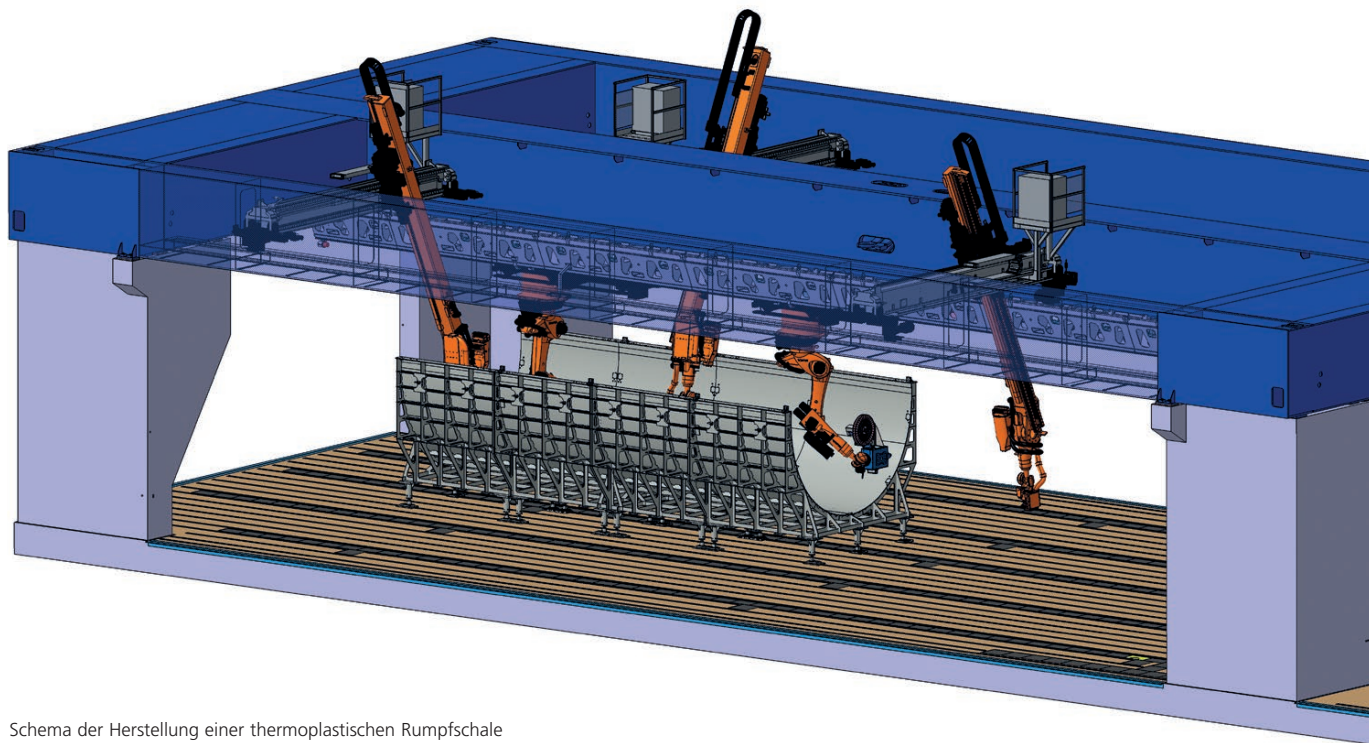
Von Nicole Waibel

Betritt man die Technologie-Halle des Zentrums für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) des DLR in Augsburg, so beeindruckt einen die hochmodernen Roboteranlagen – und heute eine ganz schöne Geräuschkulisse. Die fast acht Meter hohe Heißpresse ist gerade in Betrieb und die macht ordentlich Krach.

Matthias Beyrle, Leiter der Gruppe Prozesse und Automatisierung, erklärt, was es mit Hochleistungsthermoplasten, die bei Leichtbauingenieuren gerade in aller Munde sind, auf sich hat: „Im Wesentlichen unterscheidet man bei carbonfaserverstrkten Kunststoffen zwei Arten, die als Matrix dienen können: Duomere, wie sie in der Luftfahrt momentan am häufigsten Verwendung finden, und Thermoplaste. Sind Duomere einmal ausgehärtet, zum Beispiel durch Erwärmen im Ofen, bleiben sie dauerhaft in ihrer Form. Im Gegensatz dazu kann man Thermoplaste in einem bestimmten Temperaturbereich immer wieder umformen.“ Doch der Grund für die steigende Beliebtheit von Bauteilen aus carbonfaserverstrkten Thermoplasten ist nicht nur ihre Umformbarkeit – auch mögliche kurze Prozesszeiten, niedrige Prozesskosten und hohe Produktionsraten machen sie besonders attraktiv. Die Forscher arbeiten daran, Bauteile nicht mehr in teuren Autoklaven – also in gasdicht verschließbaren Druckbehältern – herstellen zu müssen, sondern sie lagenweise aufzubauen und gleichzeitig zu konsolidieren. Dieses thermoplastische Tapelegen, das sich auch für größere Strukturen eignet, soll aufwändige Vakuum-aufbauten oder Ofenfahrten überflüssig machen.



Ein Tapeleger am Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart in Aktion. Er baut das Material (Tape) Schicht für Schicht genau passend auf – somit materialsparend – und legt es dort ab, wo es weiterverarbeitet wird.



Schema der Herstellung einer thermoplastischen Rumpfschale

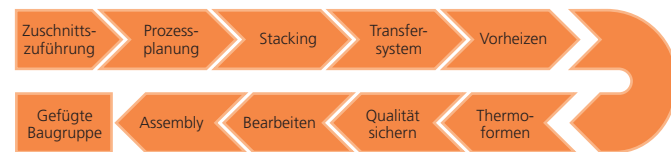
Um die guten Materialeigenschaften sowie die damit verbundenen Vorteile bei der Formgebung und beim Fügen zu nutzen, entwickeln DLR-Wissenschaftler Lösungen für die automatisierte Produktion thermoplastischer Hochleistungsstrukturen. Dabei kommt es ihnen auf eine durchgängige Prozesskette an – von der angelieferten Rollenware über die Komponentenfertigung bis hin zur gefügten Baugruppe. „Bereits heute haben wir auf der Musterfertigungsstraße am ZLP einen durchgängigen Prozess zur Herstellung thermoplastischer Bauteile etabliert“, berichtet Frederic Fischer, Experte für Thermoplast-Technologien am ZLP. Bei dem sogenannten Patch-Preforming werden viele maßgeschneiderte Einzelzuschnitte aufeinander geschichtet. In gekrümmten Formwerkzeugen lassen sich dadurch beispielsweise Paneele für Flugzeugrümpfe fertigen. Die entstandenen Lagenpakete werden anschließend in einem Ofen unter Vakuum oder in der Heißpresse konsolidiert. „Mit unserer Forschung tragen wir dazu bei, das richtige Material und die geeignete Produktionstechnologie für den jeweiligen Anwendungsfall bereitzustellen“, so Frederic Fischer.

Gut in Form – dank Druck und Hitze

Die Verarbeitung von Thermoplasten erfolgt unter hohem Druck und hoher Temperatur. Etwa 400 Grad Celsius sind nötig, um Hochleistungsmaterialien wie Polyetheretherketon (PEEK) zu verarbeiten. „Mit Temperaturen von bis zu 450 Grad und einer Presskraft von 4.400 Kilonewton bringt unsere Heißpresse die zu verarbeitenden Werkstoffe in die entsprechende Form“, erklärt Matthias Beyrle und zeigt auf die Großanlage, deren Infrarotheizfeld gerade orange-rot leuchtet. Mit dem Pressprozess lassen sich vorwiegend kleinere bis mittlere Bauteile herstellen. „Um die von uns entwickelten Produktions- und Montageprozesse zu validieren, haben wir eine Demonstrator-Baugruppe gefertigt und gefügt“, berichtet er. Die gewählte Baugruppe, ein Wellholm, besteht aus sieben einzelnen Bauteilen und kann beispielsweise als Crashelement in einer Hubschrauberbodenstruktur eingesetzt werden.

„Alles fängt mit der Bauteilauslegung an“, erklärt Sebastian Nowotny, Leiter der Abteilung Bauteilgestaltung und Fertigungstechnologien am Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart das Vorgehen. „In einer Fertigungssimulation ermitteln wir das Verhalten des Werkstoffs beim Umformen und Abkühlen. Daraus ergibt sich dann das Design der Werkzeugform.“ Der nächste Schritt ist das

automatische Erstellen des Bauteils am ZLP in Augsburg. Beyrle ergänzt: „Als Erstes schneiden wir die Zuschnitte mit dem Cutter. Danach dockt ein mobiler Schubladenschrank an der Roboterzelle an und bringt die Zuschnitte zur Verarbeitungszelle. Mit Hilfe eines



im ZLP Augsburg von Dr.-Ing. Alfons Schuster und seinem Team entwickelten Kamerasystems am Roboter werden diese gegriffen, punktgenau abgelegt und fixiert. Das Lagenpaket wird anschließend, im Ofen vorkonsolidiert, vom Roboter in einen Spannrahmen gelegt und mit Hilfe eines speziell entwickelten Transferegreifers in das Vorheizfeld der Presse transportiert. Dort wird das Bauteil durch Infrarotstrahler auf die benötigte Verarbeitungstemperatur erwärmt. Dann kommt es in die Heißpresse, wo es auf die Endgeometrie umgeformt wird. Es folgen Qualitätsprüfung, Bearbeitung und Montage.

Vielversprechend: thermoplastisches Tapelegen

Großes Potenzial sehen die Wissenschaftler auch in der In-situ-Konsolidierung mittels Tapelegetechnologie. „Dies wurde bisher von noch niemandem wirklich erfolgreich demonstriert. Wenn es jedoch gelingt, kann auf den Aufbau eines Vakuums und die Ofenkonsolidierung verzichtet werden – das wäre eine enorme Einsparung“, so Nowotny. Seit 2015 verfügt das Institut in Stuttgart über eine Tapelegemaschine. Bauteile mit einer Länge von bis zu 3,6 Metern und einem Durchmesser von 1,8 Metern sowie einem Gewicht von bis zu 2.000 Kilogramm können hier gefertigt und bearbeitet werden. Die Anlage besteht aus einem Roboter mit speziellem Kopf, der ein Materialband aus faserverstärktem Kunststoff direkt auf einer Form ablegt und so Schicht für Schicht das gewünschte Bauteil aufbaut. Dieses Tape, das eine Breite von sechs bis 25 Millimetern haben kann, wird vor dem Ablegen mit Infrarotlampen – oder wie hier in der Stuttgarter Anlage mit Laserstrahlen – aufgeschmolzen und dann mit einer

Andrückrolle fixiert. Nowotny beschreibt die Vorteile der Technologie: „Beim Tapelegen können wir eine verstärkende Schicht genau dort ablegen, wo sie aufgrund der auf das Bauteil wirkenden Kräfte auch nötig ist. Verglichen mit anderen Faserverbundtechnologien bedeutet das deutlich weniger Verschnitt.“

Um ihr Know-how zu bündeln, arbeiten die Stuttgarter Wissenschaftler im Bereich der Materialien mit ihren Kollegen aus dem DLR-Institut für Werkstoff-Forschung in Köln zusammen, bei Fragen zur Robotik mit den Kollegen vom ZLP Augsburg. Dort forschen die Wissenschaftler momentan an einem thermoplastischen Rumpfschalendemonstrator mit der Tapelegetechnologie. Den wollen sie mit dem oben beschriebenen Verfahren, das als Pick and Place bezeichnet wird, kombinieren.

Gewichtersparnis durch Schweißen

Um Strukturen aus CFK zu verbinden, werden sie zwar immer häufiger verklebt, doch meistens zusätzlich über Bolzen oder sogenannte „Angstniete“ mechanisch miteinander verbunden. „Alle paar Zentimeter werden Löcher gebohrt, wobei lasttragende Fasern durchtrennt werden, was die Struktur schwächt. Außerdem bringen solche Verbindungselemente in der Summe einiges an Gewicht auf die Waage“, erläutert Lars Larsen, Leiter der Gruppe Montage und Fügetechnologien beim ZLP in Augsburg. „Ein Flugzeugrumpf besteht aus der Außenhaut und – ähnlich wie bei einem Fachwerkhause – aus Verstärkungselementen: längs verlaufenden Stringern und senkrechten Spanten. Um diese mit der Flugzeughaut zu verbinden, sind Clips nötig. Deren Anbindung geschieht bisher mit Hilfe von Bolzen. In einem Airbus A350 XWB beispielsweise finden sich mehrere Tausend Clips.“

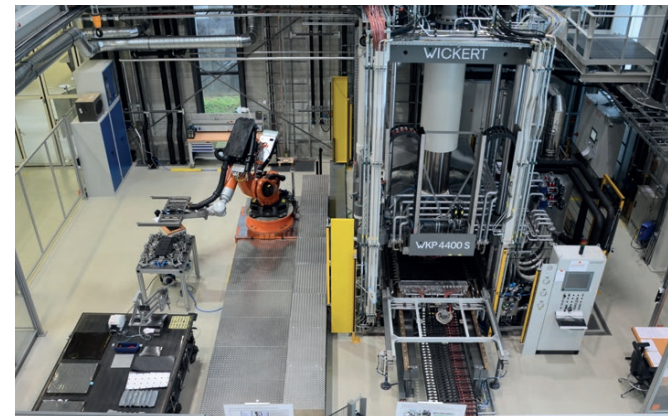
Gewicht – und damit Treibstoff, Emissionen und Kosten – einzusparen ist ein wesentlicher Punkt im Flugzeugbau. Verbindungstechnologien

wie Schweißen, die ohne Nieten oder Bolzen auskommen, sind deshalb im Aufschwung. Carbonfaserverstärkte Thermoplaste bieten diese Möglichkeit zur niet- und bolzenfreien Montage; eines ihrer Alleinstellungsmerkmale ist nämlich ihre Schweißbarkeit. „Das ermöglicht eine sehr feste, flächige und dichte Verbindung und bietet nicht unerhebliches Potenzial zur Gewichts- und Kosteneinsparung“, so Larsen.

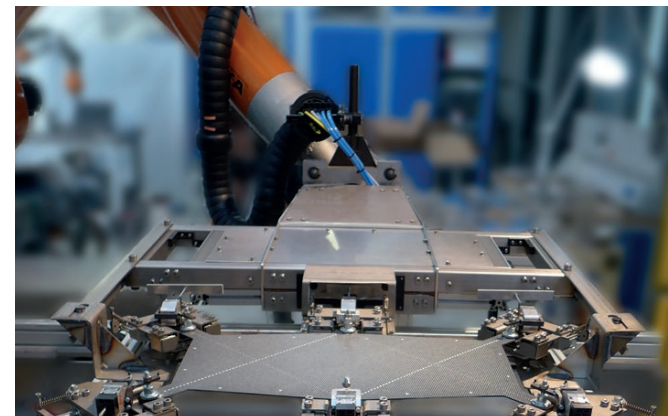
Staubfreie Montage – Chance für den Flugzeugbau?

In einer Live-Demonstration auf der diesjährigen JEC World in Paris haben die Forscher einen Leichtbaurobster gezeigt, der carbonfaserverstärkte Winkel auf einer Verbundwerkstoffplatte anbringt. Zum Einsatz kommt dabei das elektrische Widerstandsschweißen. „Dazu wird ein elektrisch leitfähiges Schweißelement aus einem speziellen Edelstahl- und Glasfasergewebe zwischen die beiden Fügepartner eingebracht. Mit Strom erwärmt sich dieses auf mehrere Hundert Grad Celsius und schmilzt das Material direkt in der Fügezone auf, während die zu verbindenden Elemente unter Druck zusammengepresst werden“, erklärt Larsen die Funktionsweise. Das alles geschieht vollautomatisiert mit einem beim ZLP Augsburg entwickelten kompakten Greifer. „Da der Schweißprozess gut automatisiert werden kann, ist er vielversprechend für die Serienfertigung“, so Larsen. Und das Schweißen hat noch weitere Vorteile: „Da keine Bohrungen nötig sind, bleiben nicht nur die lasttragenden Fasern intakt – beim Fügen entsteht auch kein Staub.“ Auf diese Weise eröffnen sich neue Möglichkeiten in der Endmontage zukünftiger Flugzeuge. Zum Beispiel lassen sich bereits vorgerüstete Komponenten und Systeme in der Kabine einfach und schnell einbauen. Flugzeuge würden dann nicht nur leichter, sondern wären auch in einem kürzeren Prozess zu fertigen.

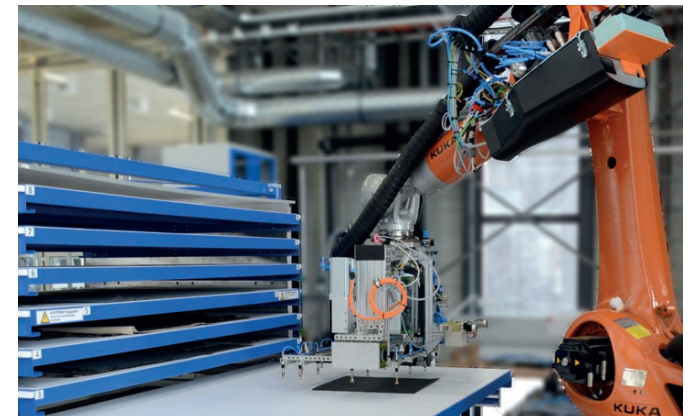
Nicole Waibel ist im Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart und Augsburg unter anderem für Öffentlichkeitsarbeit verantwortlich.



Thermoplastbereich im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) Augsburg mit Roboter (links) und Heißpresse (rechts)



Bauteil im Spannrahmen vor dem Thermoformen (Heißpressen)



Ein mobiler Schubladenspeicher stellt die Zuschnitte bereit. Dank eines Kamerasystems am Greifer erkennt sie der Roboter und platziert sie.



Bauteil im Spannrahmen nach dem Thermoformen



SMARTE ROTORBLÄTTER

20 Meter lang ist das Rotorblatt für Windkraftanlagen, das am 29. September 2017 im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie des DLR in Stade aus der Form gehoben wurde. Mehrere Monate baute ein Team von Technikern und Ingenieuren im Rahmen des Projekts SmartBlades2 an dem Meisterstück, das aus verschiedenen Faserverbundwerkstoffen gefertigt ist. Das Rotorblatt soll dank einer Biege-Torsionskopplung die Fähigkeit haben, sich an variable Windbedingungen anzupassen. Im Vorgängerprojekt SmartBlades1 haben die Partner im Forschungsverbund Windenergie (FVWE) gemeinsam die Technologien für die Konstruktion und den Bau von bis zu 80 Meter langen Rotorblättern untersucht, die nun eine erste Umsetzung fanden. Auch in dieser Größe muss ein Blatt leicht genug bleiben, um noch gut transportier- und montierbar zu sein. Zudem muss es starken Böen standhalten und einen noch höheren Energieertrag ermöglichen. Die Forscher wollen die neue Technologie so weit voranbringen, dass die Industrie die Blätter kosteneffizient herstellen kann.

www.smartblades.info

s.DLR.de/z4x4



Einmal zur Probe klappen und präzise einstellen, dann werden die Formhälften miteinander verklebt und ausgehärtet



Das erste SmartBlade frisch aus der Form gehoben

Alle Bilder: DLR/Timm Bourry

OFFENBARUNG DER INNEREN WERTE

Ein Bauteil ist nur so gut wie der Werkstoff, aus dem es gemacht ist. Und wie gut der Werkstoff ist, hängt von seiner Zusammensetzung und seiner Mikrostruktur ab. Um sich von der dreidimensionalen Mikrostruktur ein Bild zu machen – und zwar im wahrsten Sinne des Wortes – setzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung moderne bildgebende Verfahren ein. Mittels Röntgentomografie und mit Ionenfeinstrahl-Schnitttechnik erhalten sie dreidimensionale Abbildungen der Mikrostruktur in sehr hoher Auflösung. Daraus erzeugen sie dreidimensionale digitale Modelle. Mit relativ geringem experimentellem Aufwand und in kurzer Zeit kommen sie so zu Aussagen über den Einfluss der Mikrostruktur auf die Eigenschaften eines Werkstoffs. Davon profitieren Werkstoffentwickler und Designer von Bauteilen.

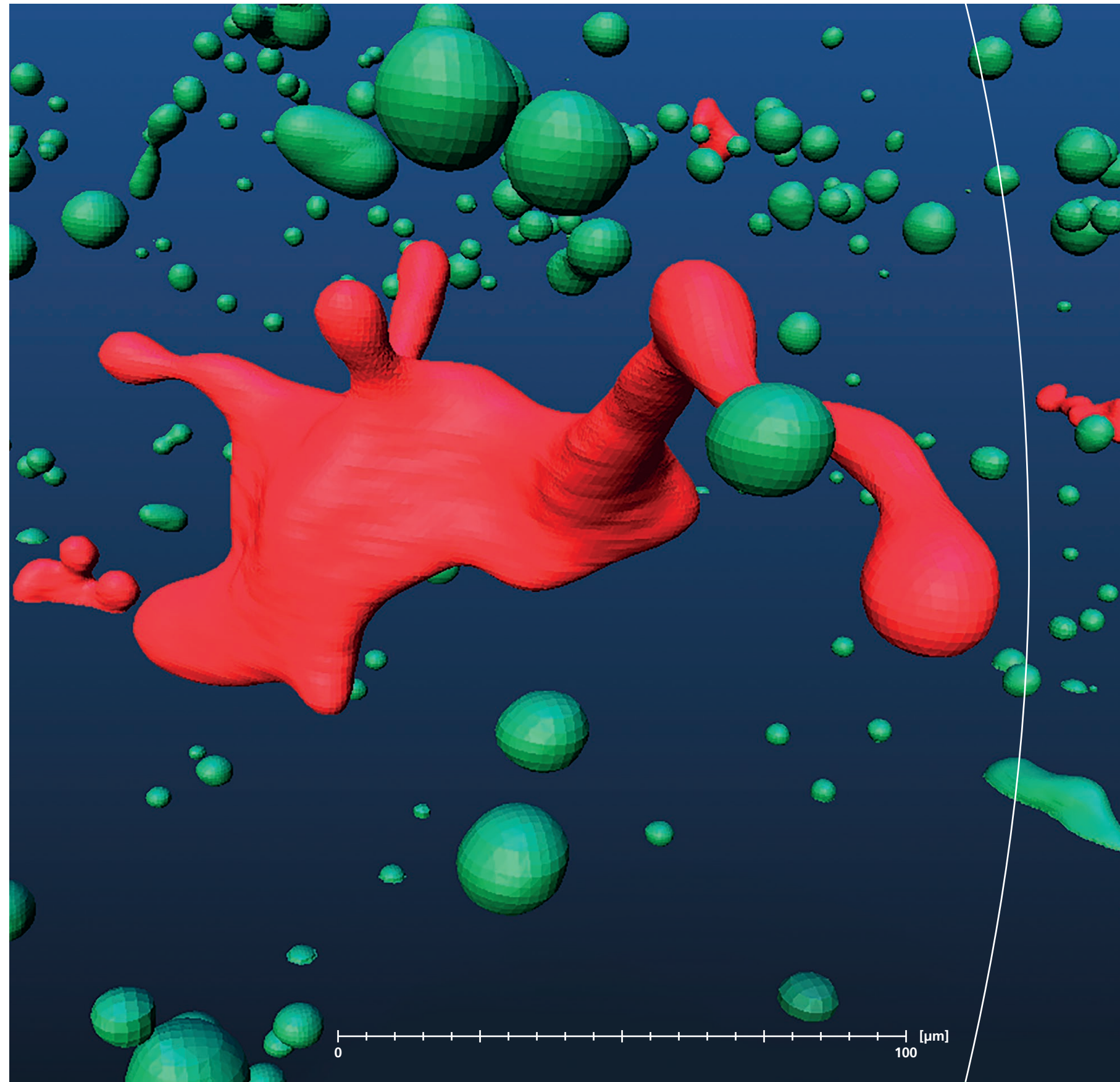


Digitalisierung in der Werkstoffforschung

Von Professor Dr.-Ing. Marion Bartsch und Dr. Klemens Kelm

Wird ein neuer Werkstoff entwickelt, dann soll er bessere Eigenschaften haben als sein etablierter Vorgänger. Ein wichtiger Ansatzpunkt für die Entwicklung neuer Materialien ist ihre innere Struktur. Was von außen wie ein einheitlicher Materialblock erscheint, ist von Nahem betrachtet oft recht heterogen. So bestehen Metalle meist aus vielen kleinen Kristallen, die sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer kristallografischen Struktur unterscheiden können. In Faserverbundwerkstoffen sind die Fasern mehr oder weniger regelmäßig angeordnet – und oft finden sich Poren oder Risse. Für manche Anwendungen sind das störende Fehlstellen, an denen ein Bauteil versagen kann. In anderen Fällen aber sorgen Poren und Rissnetzwerke dafür, dass ein Bauteil auch Beschädigungen erträgt, ohne zu versagen. Kleine Defekte machen beispielsweise keramische Faserverbundwerkstoffe schadentolerant. Es kommt also darauf an, die Zusammenhänge zwischen der Mikrostruktur des Werkstoffs und seinen Eigenschaften zu kennen, vor allem dann, wenn sein Verhalten in einem Bauteil unter Betriebslast berechnet werden soll. Der erste Schritt dahin ist, sich ein genaues Bild von seinem mikroskopischen Aufbau zu machen.

Moderne Methoden machen einen solchen tiefen Einblick möglich. Aus Mikroskop-aufnahmen von aufeinanderfolgenden Schnitten durch das Material oder aus Serien von Röntgenbildern werden mit einem Computer dreidimensionale Abbildungen berechnet. Durch die Digitalisierung lassen sich die Eigenschaften, die das Gefüge beschreiben, automatisiert in Zahlen bestimmen. Die digitalen Abbildungen können dann in ein Computermodell umgewandelt werden, aus dem sich die mechanischen oder andere physikalische Eigenschaften des Werkstoffs berechnen lassen. Mit diesen Berechnungsergebnissen lässt sich entscheiden, ob ein neues Material vielversprechend ist und ob es sich lohnt, seine



Dreidimensionales digitales Abbild von Poren in einer Nickelbasis-Superlegierung für hochbelastete Komponenten in Gasturbinen für Flugzeuge. Die roten unregelmäßig geformten Gebilde sind Poren, die bei der Erstarrung entstehen. Die kleineren grünen kugelförmigen Poren bilden sich zu einem großen Teil während der Wärmebehandlung nach der Erstarrung. Aus den digitalisiert vorliegenden Bildinformationen lassen sich automatisiert Größe und Form einer jeden Pore sowie deren jeweilige Anzahl erfassen. Diese Informationen sind wichtig, da an den Poren im Bauteil während des Betriebs Risse entstehen können.

Eigenschaften in zeit- und kostenaufwändigen Tests präziser zu bestimmen. Die Berechnungsmodelle helfen auch, genau zu verstehen, warum ein Material bestimmte Eigenschaften hat und was sich in ihm abspielt, wenn es mechanisch belastet oder hohen Temperaturen ausgesetzt wird.

Erzeugung digitaler 3D-Abbildungen

Wie entsteht nun aus einem handfesten Materialstück eine digitale dreidimensionale Abbildung und daraus dann ein Berechnungsmodell?

Eine Möglichkeit besteht darin, die Materialprobe in dünne Scheiben zu schneiden, von jeder Scheibe ein Bild zu machen und aus den einzelnen Bildern eine dreidimensionale Abbildung zu berechnen. Da die Abmessungen der inneren Werkstoffstrukturen sehr klein sind, oft weniger als ein Mikrometer, werden die Schnitte nicht mit einer Säge oder Trennscheibe erzeugt, sondern mit einem sehr feinen Ionenstrahl. Die DLR-Forscherinnen und -Forscher nutzen dafür ihre Ionenfeinstrahl-Anlage, englisch „Focused Ion Beam“ (FIB).

Mit der Ionenfeinstrahl-Anlage wird in einer Vakuumkammer ein ultrafein fokussierter Strahl aus elektrisch geladenen Galliumatomen erzeugt. Trifft dieser Ionenstrahl auf die Oberfläche einer Materialprobe, so schlagen die Ionen an dieser Stelle Atome aus der Oberfläche heraus. Ist der Ionenstrom groß genug, lassen sich mit einem solchen Strahl feine Gräben in die Probenoberfläche schneiden.

Wenn die Ionenoptik in ein Rasterelektronenmikroskop eingebaut ist, spricht man von einer Zweistrahl-Ionenfeinstrahl-Anlage. In diesem Fall werden die Ionenoptik und die Elektronenoptik so angeordnet, dass ihre Achsen in einem Winkel von 52 Grad zueinander stehen und sowohl der Ionenstrahl als auch der Elektronenstrahl auf den gleichen Punkt fokussiert werden können. In dieser Anordnung wird nun mit dem Ionenstrahl jeweils eine dünne Schicht des zu untersuchenden Materials abgetragen. Daraufhin kann dann mit der Elektronenoptik wie in einem normalen Elektronenmikroskop ein Bild der freigelegten Fläche aufgenommen werden. Die Sequenz aus Abtragen einer Schicht von der Oberfläche und Aufnahme eines Bildes wird nun so lange fortgeführt, bis das relevante Probenvolumen bearbeitet ist.

Am Computer setzen die Forscher dann die einzelnen Bilder zusammen. Das Ergebnis ist eine digitale dreidimensionale Abbildung, die in kleine virtuelle Volumina, sogenannte Voxel, aufgeteilt ist. Jedem Voxel ist ein Grauwert zwischen Schwarz und Weiß zugeordnet. Wie

klein die Details sind, die in der Abbildung der untersuchten Werkstoffmikrostruktur noch erkennbar sind, hängt von der Schnittbreite des Ionenstrahls, der Pixelgröße der Bilder, die mit dem Rasterelektronenmikroskop aufgenommen wurden, und der Zahl der Graustufen ab. Mit diesem Verfahren erreichen die Wissenschaftler eine Bildauflösung von circa 100 Nanometern (0,0001 Millimeter).

Ein anderes Verfahren, um zu dreidimensionalen Abbildungen zu kommen, ist die Röntgentomografie. Dabei wird der zu untersuchende Gegenstand schrittweise um eine Achse gedreht und nach jedem der oft mehreren hundert Schritte eine Röntgenaufnahme angefertigt. Beim Röntgen wird der Gegenstand durchstrahlt und auf einem Bildschirm die Projektion abgebildet, genauso wie beim Röntgen von Knochen im Krankenhaus. Aus den vielen Röntgenaufnahmen wird die Struktur des Gegenstands berechnet beziehungsweise rekonstruiert. Um die in einer einzelnen Blickrichtung hintereinander angeordneten Details zu erfassen und im Gesamtmodell sichtbar zu machen, sind viele Röntgenbilder notwendig. Dieses Verfahren wird als „Rückprojektion“ bezeichnet und ist dank leistungsfähiger Computer praktisch gut durchführbar geworden.

Röntgentomografie mit Laborgeräten erreicht nicht ganz so hohe Bildauflösungen wie die Ionenfeinstrahl-Schnitttechnik, die Grenze liegt üblicherweise bei einigen 100 Nanometern. Mit Hilfe besonderer Röntgenquellen und spezieller Aufnahmetechniken können aber auch Details dargestellt werden, die weniger als 100 Nanometer groß sind. Der große Vorteil der Röntgentomografie ist, dass sie zerstörungsfrei funktioniert, das heißt, die Werkstoffprobe muss nicht zerschnitten werden. Das ist besonders wichtig, wenn Schädigungen im Inneren des Materials betrachtet werden sollen, die bei der Herstellung oder im Einsatz entstanden sind. Muss das Material für eine Untersuchung zerschnitten werden, können durch diesen Präparationsschritt zusätzliche Schäden entstehen, die das Untersuchungsergebnis verfälschen.

Analyse der Abbildungen

Die dreidimensionalen Darstellungen der Werkstoffmikrostruktur geben nicht nur einen viel umfassenderen Aufschluss über die Details im Werkstoffinneren als einzelne zweidimensionale Schnittbilder. Mit den digital vorliegenden Informationen lässt sich noch viel mehr machen: Für jedes Voxel ist sein Ort und sein Helligkeitswert beziehungsweise sein Grauton bekannt. Mit diesen Informationen kann die Materialprobe weiter analysiert werden. In einem ersten Schritt werden die verschiedenen Voxel anhand ihrer Helligkeitswerte den jeweils vorkommenden Materialien zugeordnet. Das ist einfach, wenn stark

unterschiedliche Materialien in der Mikrostruktur nebeneinander liegen. Eine leere Pore oder Luftblase lässt sich beispielsweise gut von dem umgebenden dichten Material unterscheiden. Bestehen zwischen benachbarten Gebieten nur geringe Helligkeitsunterschiede, müssen zusätzliche Informationen für die Entscheidung herangezogen werden, ob in diesen Gebieten dasselbe oder unterschiedliches Material vorliegt. Kriterien können Form, Größe und Anordnung des fraglichen Gebiets in Relation zu anderen Strukturen sein. Die Zuordnung aller Voxel zu Materialien erfolgt nach Festlegung der Zuordnungskriterien automatisch mit Hilfe von Bildanalyseprogrammen im Computer. Dieser Vorgang heißt Segmentierung, und das Ergebnis ist ein Datensatz mit der räumlichen Verteilung der verschiedenen Werkstoffbestandteile in der untersuchten Probe.

Mit Hilfe einer geschickten Segmentierung lassen sich auch schwer beschreibbare schwammartige Strukturen, wie die von Aerogelwerkstoffen, charakterisieren. Aerogele sind eine relativ junge Werkstoffklasse mit sehr geringer Dichte und hervorragenden thermischen Isolationseigenschaften. Sie haben ein enormes Potenzial, unter anderem für die Anwendung in Thermalschutzsystemen für Flugzeuggasturbinen oder in Raumfahrzeugen. An dem digitalen Strukturmodell eines solchen schwammartigen Aerogels, das mittels Röntgentomografie erstellt wurde, lassen sich beispielsweise die größeren Hohlräume separieren, sodass sie wie geschlossene Poren automatisiert analysiert werden können.

Liegen in einem Material verschiedene Klassen von Poren vor, die sich anhand ihrer Größe oder Form unterscheiden, können statistische Daten zur Beschreibung der gesamten Menge der Poren erhoben werden, wie die Verteilung der verschiedenen Porengrößen oder der Porenstreckungsgrade. Lassen sich Gruppen von Poren zu einer Klasse zusammenfassen, können diese auch in unterschiedlichen Farben dargestellt werden. Die Bilder, die dabei entstehen, helfen nicht nur, die Struktur des Werkstoffs und sogar sein Verhalten unter Betriebsbeanspruchungen zu verstehen, sie sind auch von einer besonderen Ästhetik.

Berechnungsmodelle

Aus der segmentierten digitalen Abbildung eines Materialvolumens lässt sich in einem weiteren Schritt ein Simulationsmodell erstellen, mit dem die mechanischen oder andere physikalische Eigenschaften des Werkstoffs berechnet werden können. Dazu wird das virtuelle Materialvolumen beziehungsweise werden die Bestandteile der Mikrostruktur aus gleichem Material in kleine Gebiete eingeteilt, die sogenannten finiten Elemente. Dank ihrer geringen Größe und einfachen

Geometrie ist ihr Verhalten bei einer Belastung schnell zu berechnen. Die finiten Elemente des Modells sind über ein mathematisches Gleichungssystem miteinander gekoppelt, sodass eine wirkende Kraft von einem Element auf seine Nachbarelemente übertragen wird. So lässt sich das Verhalten des gesamten Modells berechnen.

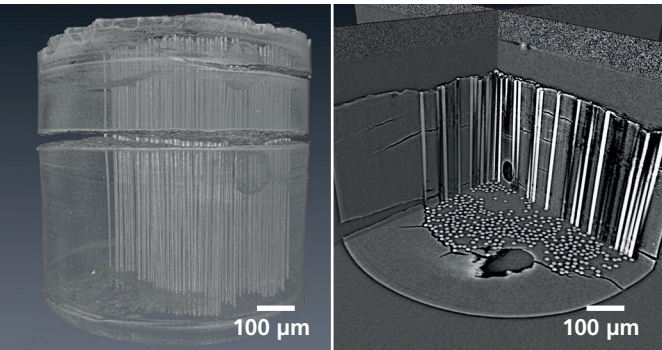
Für mechanische Analysen werden neben dem geometrischen Mikrostrukturmodell die mechanischen Eigenschaften der in der Mikrostruktur vorliegenden Werkstoffe gebraucht. Wird so ein Modell mit Hilfe eines Berechnungsprogramms im Rechner virtuell belastet, dann weist das Berechnungsergebnis die Verformung des Gesamtmodells und die lokale Verformung in der Mikrostruktur aus. Diese kann sehr ungleichmäßig sein.

Einen kleinen Nachteil haben die Mikrostrukturmodelle, die mittels Röntgentomografie oder mit der Ionenfeinstrahl-Schnitttechnik erstellt werden: Da sie im Verhältnis zum Bauteil sehr klein sind, können sie nicht als repräsentativ angesehen werden. Um zuverlässige Erkenntnisse über den quantitativen Einfluss des mikrostrukturellen Aufbaus auf die Werkstoffeigenschaften zu gewinnen, werden statistische Daten verwendet, welche die Werkstoffbestandteile beschreiben. Ist beispielsweise in einem porösen Werkstoff die Porengrößenverteilung, der Streckungsgrad der Poren und deren Orientierung im Raum bekannt, so ist es mit diesen Daten möglich, eine Vielzahl von Mikrostrukturmodellen zu erzeugen, die zwar alle ein wenig anders sind, aber gleiche geometrische Charakteristika aufweisen. Anhand der berechneten Eigenschaften vieler solcher Mikrostrukturmodelle und der Streuung der Ergebnisse, ist es möglich, Aussagen zum Zusammenhang zwischen Mikrostruktur und Eigenschaften zu treffen. Durch eine systematische Variation der mikrostrukturellen Kenngrößen können auch Eigenschaften von Werkstoffen vorhergesagt werden, die es noch nicht gibt.

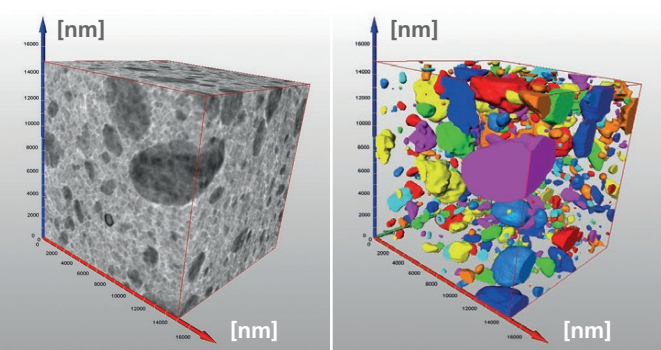
Die Simulation von Werkstoffen, die virtuelle Reise in ihr Innerstes, gibt den Entwicklern neuer leistungsfähigerer Werkstoffe wertvolle Hinweise auf das, was im Verborgenen passiert. Grenzen und Potenziale von Werkstoffinnovationen zeigen sich dank der Digitalisierung in diesem für eine Fülle von Anwendungen grundlegenden Bereich.

Professor Dr.-Ing. Marion Bartsch leitet im Institut für Werkstoff-Forschung des DLR in Köln die Abteilung Experimentelle und Numerische Methoden. Außerdem ist sie an der Ruhr-Universität Bochum Professorin für Werkstoffe der Luft- und Raumfahrt.

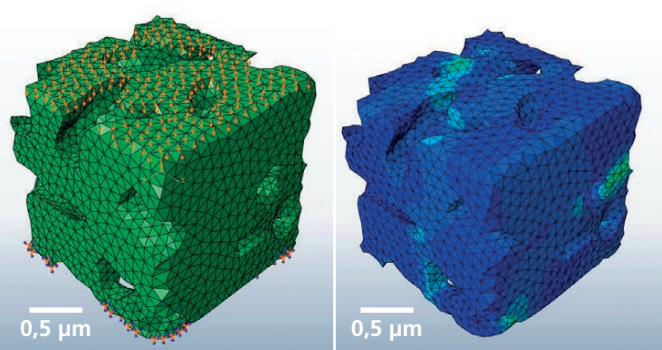
Dr. Clemens Kelm leitet beim DLR-Institut für Werkstoff-Forschung die Querschnittsgruppe Zentrale Analytik und Metallographie und lehrt an der Hochschule Bonn-Rhein/Sieg.



Die Bilder zeigen das Innere eines keramischen Faserbündels, das in einer keramischen Matrix eingebettet ist. An der Oberfläche des Faserbündels sind bei der Herstellung in der Matrix Risse entstanden, die alle an den Fasern abgelenkt werden oder stoppen. Die Daten für die Bilder wurden aus einer Vielzahl von Röntgenbildern gewonnen, die aus unterschiedlichen Richtungen aufgenommen wurden. Die Probe wird dabei nicht zerschnitten. Aus den Daten lassen sich aber beliebige virtuelle Schnitte berechnen.



Das graue Bild zeigt das Porennetzwerk in einem Aerogel-Werkstoff. Es wurde mit einem speziellen Röntgenverfahren aufgenommen, und zwar der Holotomografie, mit der kleinste Strukturen erkennbar werden. Das farbige Bild zeigt dieselbe Aerogelprobe. In der schwammartigen Struktur wurden die größeren Hohlräume separiert und nach Größe sortiert künstlich eingefärbt. Durch die Separation der Hohlräume wird es möglich, die Struktur des Werkstoffs quantitativ zu beschreiben.



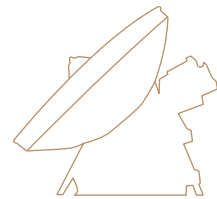
Aus den digitalen Strukturdaten einer porösen Keramik ist hier ein einfaches Berechnungsmodell erstellt worden. Die Struktur wird in finite Elemente eingeteilt, hier in kleine tetraederförmige Gebiete. Die Tetraeder lassen sich einzeln einfach berechnen. Die Einzelergebnisse werden über mathematische Gleichungen zusammengefügt. Hier wurde im Computer am Modell ein virtueller Druckversuch durchgeführt, was im linken Bild durch die Pfeile auf der Oberseite und die Fixierung an der Unterseite dargestellt ist. Rechts: das belastete Modell. Die Farben zeigen an, wie stark die einzelnen Bereiche verformt wurden. Das ganze Modell ist etwas zusammengedrückt worden, wegen der porösen Struktur ist die Verformung sehr ungleichmäßig.



Philipp Watermeyer (links) und Mario Eggeler an der Zweistrahl-Ionenfeinstrahl-Anlage. Mit der Anlage können Materialproben mit dem Ionenstrahl sehr dünn geschnitten werden. Von jeder Schnittoberfläche wird mit der Elektronenoptik eine Aufnahme gemacht. Aus den einzelnen Aufnahmen werden mit einem Computer digitale dreidimensionale Bilder berechnet.

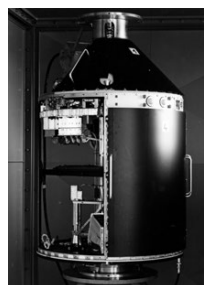
50 JAHRE BIG DATA AUS WEILHEIM

Vor 50 Jahren war Big Data noch niemandem ein Begriff. Und doch ging es in dem kleinen Ort Weilheim in Oberbayern um große Datenmengen: Eine Bodenstation – unter anderem, um Daten aus dem All zu empfangen, wurde errichtet. Mitte Oktober 1966 erteilte das damalige Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung (BMwF) der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) den Auftrag, eine Zentralstation des deutschen Bodenstationssystems (Z-DBS) zu projektieren, zu errichten und zu betreiben. Das Institut Flugfunk und Mikrowellen – heute DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme – nahm sich der Mammutaufgabe an. Als im Oktober 1966 der Start des ersten deutschen Satelliten AZUR näher rückte, gab das dem Aufbau der Weilheimer Bodenstation eine gewisse Dynamik. Eine Dynamik, die von nun an das beschauliche Weilheim begleiten sollte.



Die DLR-Bodenstation in Weilheim ist seit einem halben Jahrhundert die zuverlässige Verbindung zwischen Satelliten und Erde

Von Miriam Poetter



AZUR – das Gesellenstück der deutschen Weltraumforschung

Mit dem Start des ersten deutschen Forschungssatelliten AZUR am 8. November 1969 um 2.52 Uhr mitteleuropäischer Zeit gesellte sich die Bundesrepublik Deutschland zu den Staaten, die über Satelliten verfügen. AZUR wog 72 Kilogramm und wurde mit einer Scout-Rakete vom amerikanischen Vandenberg (Kalifornien) gestartet. Den Satellitenbetrieb übernahm am 15. November 1969 das in Oberpfaffenhofen eigens dafür errichtete Kontrollzentrum der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), der Vorgängerin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Empfangen wurden die Daten von den Antennen der Bodenstation in Weilheim.

Der Forschungssatellit diente dazu, die kosmische Strahlung und ihre Wechselwirkung mit der Magnetosphäre zu untersuchen, speziell mit dem inneren Van-Allen-Gürtel. Doch auch Polarlichter sowie die zeitliche Änderung der Solarpartikelströme (Sonnenwind) bei Sonneneruptionen standen auf dem Programm. „Das Interesse der Wissenschaft an solchen Informationen war schon damals groß“, so Martin Häusler, Leiter der Bodenstation Weilheim. „Über 100 Experimente wurden vorgeschlagen, von denen sieben für den Flug ausgewählt wurden. Zudem sollten mit der deutsch-amerikanischen Kooperation die technologischen Fähigkeiten der



Das Wahrzeichen der Bodenstation Weilheim: die 30-Meter-Antenne. Sie wurde gebaut, um Kommandos an die 1974 und 1975 gestarteten Sonnensonden HELIOS zu senden.



1967 Bauplatz



1967 Gründung



1968 Antennenaufbau



1968 Innenausbau des Betriebsraums



1971 VHF-Interferometer zur Bahnvermessung von Satelliten



1972 Bauarbeiten an der HELIOS-Kommandostation



2016 EDRS-Antennen

deutschen Industrie ausgebaut werden und Deutschland sollte Know-how für das komplexe Management von Weltraummissionen gewinnen.“ Doch fünf Wochen nach dem Start fiel das Magnetband-Speichergerät aus, sodass von diesem Zeitpunkt an die Messwerte und Kontrolldaten nur noch als Echtzeit-Informationen empfangen werden konnten. Dadurch wurde der Datenstrom auf circa 80 Prozent der erhofften Menge reduziert. „Obwohl der Satellit seine erwartete Lebenszeit von mindestens einem Jahr nicht erreichte (am 29. Juni 1970 brach die Verbindung zu AZUR aus ungeklärten Gründen ab, d. Red.), war die Mission ein großer Erfolg für Forschung und Industrie“, so Häusler. „Mit dem ersten deutschen Langzeitunternehmen im All gewannen wir wertvolle Erkenntnisse und erhielten viele Impulse für Nachfolgemissionen.“

Enorme Datenmengen vom Europäischen Datenrelais-System

Eine solche Nachfolgemission ist EDRS. Das Europäische Datenrelais-System liefert als aktuellste Weilheimer Mission enorme Datenmengen. Die teilnehmenden Länder haben sich damit das Ziel gesetzt, Forschungssatelliten im Orbit künftig noch besser zu erreichen. Am 11. September 2013 wurden zwei tonnenschwere Reflektoren im Wert von mehreren Millionen Euro auf Antennenfüße gesetzt. Die beiden Parabolspiegel haben einen Durchmesser von sechs Metern, bestehen aus Aluminium und sind auf den Zehntelmillimeter genau gearbeitet. Das Fundament steckt drei Meter tief im schweren Weilheimer Lehmbooden. Auch in England und Belgien wurden zwei Antennen errichtet. Der Betrieb aller Antennen läuft über die Bodenstation in Weilheim.

EDRS ist eine neue Raum- und Bodeninfrastruktur, die in nahezu Echtzeit große Datenmengen – bis zu 50 Terabyte pro Tag – mit modernster Lasertechnologie zur Verfügung stellt. „EDRS wird den Zugang zu zeitkritischen Daten drastisch verbessern. Dadurch wird zum Beispiel die Notfallreaktion von Rettungsdiensten schneller. In vielen Fällen können Satellitenverbindungen nicht ohne Weiteres bereitgestellt werden. Oft haben Missionen spezielle Anforderungen an Datenkapazität, Signalverarbeitung und Frequenzbereiche oder Satellitenverbindungen sind nur unter bestimmten Bedingungen verfügbar“, erklärt Häusler. Um diese individuellen Anforderungen von Missionen erfüllen zu können, müssen die Sende- und Empfangsantennen angepasst werden. Für besondere Missionen werden sogar eigens neue Antennen aufgebaut. Ein Beispiel dafür ist EDRS.

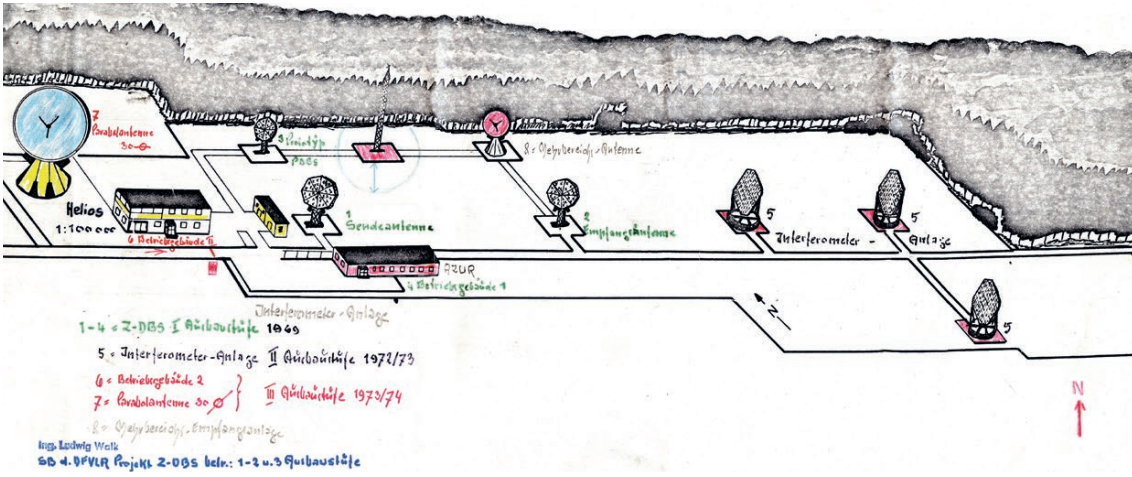
Die Bodenstation Weilheim – eine richtig große Nummer

An über 165 Satellitenstarts war die Bodenstation Weilheim beteiligt. Satelliten des DLR und anderer Weltraumorganisationen wie NASA (USA), CNES (Frankreich), JAXA (Japan) sowie einige Sonden zu erdfernen Planeten oder Asteroiden wurden unterstützt. Auch kommerzielle Satellitenorganisationen wie Telesat, Intelsat, Eutelsat oder SES Astra nutzen die Bodenstation Weilheim zur Positionierung ihrer Kommunikationssatelliten und bei Notfallsituationen im Betrieb. In den letzten 50 Jahren hat sich Deutschland große Kompetenz im Satellitenbau erarbeitet – sowohl im Bereich der Extraterrestrik, also im außerirdischen Bereich, als auch in der Erdbeobachtung.

Neben der Rolle als Daten-Link ins All hat die Bodenstation Weilheim heute eine weitere Aufgabe: Tests im Orbit befindlicher Satelliten. Mit In-Orbit-Tests (IOT) wird einem Satellitenbetreiber die einwandfreie Funktion seiner Produkte bescheinigt. Die Bodenstation prüft wie eine Art TÜV die Leistungsparameter von Satelliten. Unter anderem dafür wird die Bodenstation Weilheim im 24-Stunden-Schichtdienst an sieben Tagen pro Woche betrieben. 27 Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sind in Weilheim beschäftigt.



Luftbild der Weilheimer Antennenstation (2016)



Die geplanten Ausbauten der Bodenstation in Weilheim in einer inzwischen historischen Skizze von Ludwig Walk, Sonderbeauftragter der DVL-Verwaltung für Grunderwerb und Grunderschließung der Zentralstation des Deutschen Bodensystems

VON FEEDS UND MASERN

Interview mit dem stellvertretenden Leiter der Bodenstation Klaus Wiedemann

Herr Wiedemann, Sie bauen gerade ein Kombi-Feed in die 30-Meter-Antenne ein, was ist das?

■ Das ist das aktive Element in einer Antenne, also der Strahler. Die Antenne wird von den Wissenschaftlern derzeit für die Navigations-satelliten Galileo und für die Mission Hayabusa mit dem DLR-Lander MASCOT an Bord genutzt.

Was ist das Besondere an Ihrem aktuellen Projekt?

■ Da die Antenne für zwei Missionen genutzt wird, müssen wir die jeweiligen Feeds immer wieder ein- und ausbauen. Für die Galileo-Mission brauchen wir ein Feed für das L-Band und für Hayabusa ein Feed für das X-Band. Das ist sehr zeitaufwändig. Derzeit ist das noch gut machbar, da die japanische Raumfahrtagentur JAXA für Hayabusa nur wenige Kontaktzeiten gebucht hat. Aber 2018 wird sich das ändern. Dann brauchen wir das Kombi-Feed, das beide Signale empfangen kann.

Was war Ihr erstes Projekt in Weilheim?

■ In den Siebzigerjahren gab es Auftragnehmer, die für das DLR arbeiteten. Ich war einer davon. Angestellt war ich 1975 noch bei General Electrics. Die HELIOS-Mission stand an. Mein Arbeitsplatz war ein Container in der Eifel, in Effelsberg. Dort nutzten wir die 100-Meter-Antenne – ein Radioteleskop der Max-Planck-Gesellschaft – als Empfangsantenne für den Datenempfang der HELIOS-Mission. Unsere 30-Meter-Antenne in Weilheim war damals noch eine reine Sendeantenne. 1976 wurde sie zu einer Sende- und Empfangsantenne umgerüstet. Wir konnten damit den Standort Weilheim für die HELIOS-Mission nutzen.

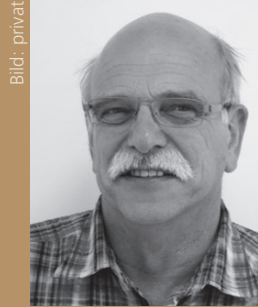
Die HELIOS-Mission endete 1986. Was folgte danach?

■ Nachdem ich 1990 fester DLR-Mitarbeiter wurde, erhielt ich die

Verantwortung für die Maser-Wartung, also die Vorverstärker, die für rauscharmen Empfang sorgen. Die Maser benötigten eine Kühlung auf minus 270 Grad Celsius. Das Elektronen-rauschen wird dann deutlich verringert. Diese tiefe Temperatur erreichen wir mit einem Kühlungskreislauf auf der Basis flüssigen Heliums. Das ist ein sehr aufwändiges Verfahren. Nach der HELIOS-Mission, die einen S-Band-Maser verwendete, wurde ein X-Band-Maser eingebaut, den wir bis zur Stilllegung der Antenne im Jahr 2009 nutzten. Als die 30-Meter-Antenne 2011 wieder in Betrieb ging, aber nicht mehr für den Signalempfang aus den Tiefen des Alls eingesetzt wurde, bauten wir den Maser aus. Kürzlich fragte die Max-Planck-Gesellschaft an, ob sie unseren Maser nutzen dürfte. Das freut uns, gern stellen wir ihn zur Verfügung.

Welches Ereignis ist Ihnen in besonderer Erinnerung geblieben?

■ Spitzbergen. 2005 führten wir dort einen Kompatibilitätstest für die SAR-Lupe-Mission durch. Vor einem Satellitenstart muss getestet werden, ob der Satellit und die Bodenstation kompatibel sind. Da der militärische Satellit SAR-Lupe in einer polaren Umlaufbahn fliegt, ist er in dieser Station im hohen Norden öfter sichtbar als anderswo. Also Spitzbergen ... dort steht eine polare Station. Alle Fahrwege waren eingeschneit. Der Startzeitpunkt rückte näher. Da kann man nicht auf Wetterbesserung warten. Auf Tourenskiern brachen wir zur Bodenstation auf ... Das war ein Abenteuer.



Klaus Wiedemann 1953 in Wiesbaden geboren, zwei Kinder, lebt in Peißenberg. Nach seiner Lehre beim Fernmeldeamt studierte er an der Fachhochschule Wiesbaden Nachrichtentechnik und leitet heute stellvertretend die Bodenstation Weilheim

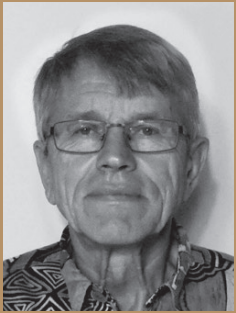


Bild: privat

Winfried Pötzsch

1944 in Leipzig geboren, verheiratet, eine Tochter, lebt in Gilching. Er kam im September 1961 als Lehrling ins Institut für Flugfunk und Mikrowellen bei der damaligen Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL), dem heutigen DLR. Im Anschluss ging er auf das Münchner Polytechnikum, kam aber als Ingenieur direkt wieder ins Institut zurück und war dann zuständig für Spezialentwicklungen im Bereich Computertechnik.

AUF NEULAND UNTERWEGS ZU EINER HOCHTECHNOLOGIE

Mit Zeitzeugen im Gespräch

Miriam Poetter, zuständig für die Kommunikation der DLR-Standorte Oberpfaffenhofen, Augsburg und Weilheim, sprach über die Anfänge der Antennenstation Weilheim mit zwei Mitarbeitern der ersten Stunde: Dr. David Hounam und Winfried Pötzsch.

Für die Antennenstation standen zunächst zwei Standorte zur Diskussion: Weilheim in Oberbayern und Buchheim in Baden-Württemberg. Weilheim hat sich durchgesetzt. Was gab den Ausschlag?

David Hounam Für eine Bodenstation musste man einen Ort mit geringen Funkstörungen finden. Die Felder, auf denen die Station Weilheim schließlich gebaut wurde, liegen gut eingebettet in einer Senke. Das ist ideal. Gerade bei langen Wellenlängen, wie wir sie anfangs nutzten, machte sich jede noch so kleine Störung bemerkbar. Wir waren damals übervorsichtig, hatten ja keine Erfahrung mit dem Aufbau solcher Stationen. Es war beispielsweise nicht erlaubt, mit dem Auto direkt auf das Gelände zu fahren. Überhaupt: Mit dem Thema „Weltraum“ ging man sehr ehrfürchtig um.

Winfried Pötzsch Der Standort bestand aus vielen kleinen Parzellen, die 1966 den Bauern abgekauft wurden. Ludwig Walk, unser mit dem „Einkauf“ betrauter Kollege, pilgerte von Bauer zu Bauer und musste wohl auch so manches Bier mit den Landwirten trinken. Einer der Bauern drängte ihm sogar seinen Ochsen auf, da er ja keine Weidefläche mehr für ihn hatte. Also wurde das Tier prompt von uns mitgekauft. Es fand später bei einem anderen Bauern ein Zuhause.

1967 begann der Bau der Station. Welche Aufgaben hatten Sie?

Winfried Pötzsch Verschiedene: Ab 1968 entwickelte ich zusammen mit Kollegen die Programmsteueranlage für die Sende- und Empfangsstation des AZUR-Satelliten. Später baute ich den Synchronisierer für die Highspeed Dataline (HSDL) für die Verbindung zur HELIOS-Raumsonde. Das war schon was ganz Besonderes, denn HELIOS war die erste amerikanisch-deutsche interplanetare Mission. Nach den Starts 1974 und 1976 näherten sich die zwei in Deutschland von MBB gebauten HELIOS-Sonden der Sonne an, näher als der innerste Planet, Merkur, und näher als alle bisherigen Raumsonden. Die Sonden untersuchten mit komplementären Messungen die Wechselwirkung zwischen Sonne und Erde. Die HELIOS Deepspace Antenne ist noch heute die größte Antenne am Standort: Der 30-Meter-Spiegel ist weithin sichtbar.

Ein weiteres Projekt war das VHF-Interferometer, bei dem David und ich zusammenarbeiteten. VHF steht für Very High Frequency. In dem Fall handelte es sich um eine Anordnung von drei nachführbaren rautenförmigen Antennen. Indem man ein ausgestrahltes Signal verfolgt, kann man die Bahn eines Satelliten von einem einzigen Standort aus extrem genau vermessen. Das Interferometer wurde primär zur Bahnbestimmung der deutsch-französischen SYMPHONIE-Satelliten errichtet. Diese experimentellen geostationären Kommunikationssatelliten wurden Mitte der Siebzigerjahre gestartet. Das Interferometer erfüllte übrigens alle Erwartungen und wurde erst obsolet, als das VHF-Frequenzband aufgegeben wurde. Das waren anspruchsvolle Projekte, eine tolle Zeit.

David Hounam Auch ich war in der Interferometer-Gruppe. Ich war sowohl mit der hochpräzisen Empfangsanlage, als auch mit der Kalibrierung des Interferometers betraut. Ende der Siebzigerjahre stieg das Institut für Flugfunk und Mikrowellen auf Fernerkundung um, und die Kontakte mit der Bodenstation in der Lichtenau ebten ab. Abgesehen von einem fünfjährigen Aufenthalt bei der ESA in Holland (ESTEC) in den Achtzigerjahren blieb ich beim DLR bis zur Rente.

Welche Erinnerungen haben Sie an diese erste Zeit?

Winfried Pötzsch Viele Jahre sind wir zwischen Oberpfaffenhofen und Weilheim gependelt. Das Ganze oft mit einem verrosteten Ford Transit. Er hat uns all die Jahre vom Institut in Oberpfaffenhofen die 45 Kilometer nach Weilheim gebracht, inklusive Essenskübel. Auch das gesamte Werkzeug und Material, das wir vor Ort brauchten, mussten wir jedes Mal mitnehmen.

David Hounam In Erinnerung bleiben natürlich die Satellitenstarts und vor allem die Interferometer-Kalibrierungen. Diese wurden immer nachts durchgeführt, da man dabei ein Blitzlicht an einem hochfliegenden Flugzeug orten musste. Aber, obwohl es auch Schwierigkeiten gab, denke ich am liebsten an die Zeiten mit der Mannschaft in Weilheim zurück – sie war besonders schlagfertig und humorvoll.

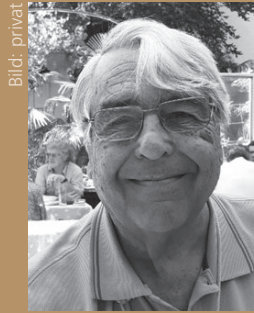
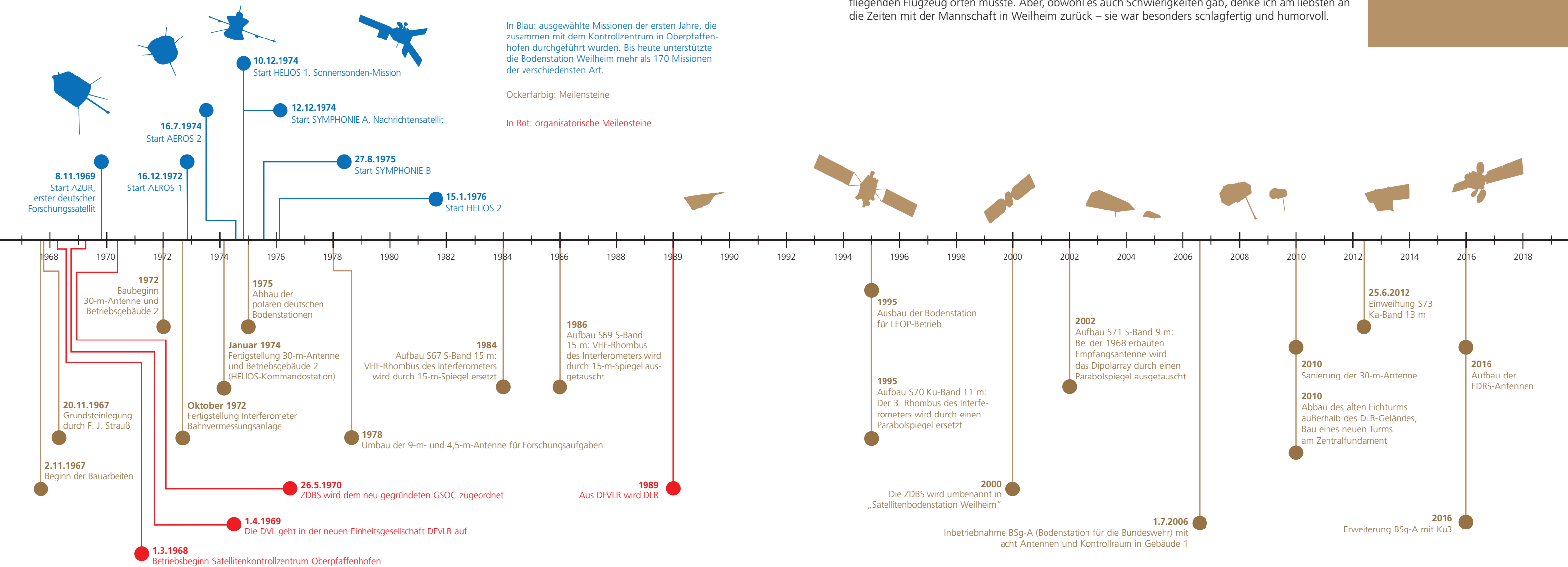


Bild: privat

Dr. David Hounam

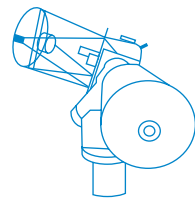
1944 in Darlington (England) geboren, verheiratet, lebt in Oberpfaffenhofen.

Er hat in England Physik studiert. Danach zog es ihn und seine Frau ins Ausland. Aus Deutschland kamen interessante Stellenangebote, in den Sechzigerjahren mangelte es Deutschland an Fachkräften. 1968 zog die Familie nach Bayern und Hounam begann seine Arbeit bei der Firma Rhode & Schwarz in München. 1971 bewarb er sich bei der damaligen DFVLR, wo er alsbald die Abteilung Mikrowellen-Systeme leitete.



PUNKTGENAU AUF 700 KILOMETER ENTFERNUNG

Keine moderne Gesellschaft kommt heute ohne Satelliten aus: Kommunikation, Navigation, Erdbeobachtung – nichts läuft mehr ohne die Helfer im All. Als vor 60 Jahren mit Sputnik 1 das Satellitenzeitalter begann, waren die vielen nützlichen Anwendungen dieser Weltraumtechnologie nicht absehbar. Und auch nicht ihre Folgen: Hunderttausende Reste vom Menschen hergestellter Himmelskörper. Weltraummüll, der heute Gefahr bringt für das Funktionieren einer Technologie, auf die wir längst angewiesen sind. Weltraummüll ist ein brisantes Thema geworden, mit hoher Relevanz für Wirtschaft, Gesellschaft und Sicherheit. Deshalb steht auf den Hügeln von Stuttgart ein Observatorium. DLR-Wissenschaftler arbeiten daran, die Flugbahnen kleiner Weltraumschrott-Teile zu bestimmen.



Technologieentwicklung zur hochgenauen Laserdetektion kleiner Weltraumschrott-Objekte

Von Denise Nüssle

Leif Humbert schwitzt, was nicht nur an den sommerlichen Temperaturen in den Weinbergen über dem Stuttgarter Talkessel liegt. Gebannt starrt der DLR-Forscher nach oben zu einem weißen Überseecontainer, der am Haken eines Spezialkrans hängt und im Wind leicht schaukelt. Langsam schwebt der Container an seinen Bestimmungsort, eine Wiese auf dem rund 300 Meter hohen Schnarrenberg, von dem aus sich ein Blick ins Neckartal und die nördlichen Stadtteile der baden-württembergischen Landeshauptstadt bietet. Von dort aus misst das Wetteramt Stuttgart des Deutschen Wetterdienstes täglich den klimatischen Puls der Schwabenmetropole – und gibt seit Mitte Juni 2017 auch der neuesten Errungenschaft des DLR-Instituts für Technische Physik eine erste Bleibe. Langsam setzt der Kranführer seine wertvolle Fracht ab. Der Container enthält ein mobiles Observatorium und ist für die Forscher ein weiterer Meilenstein hin zu ihrem Ziel: nämlich mit Hilfe eines laserbasierten Detektionssystems die Flugbahn vor allem kleiner Weltraumschrott-Objekte möglichst genau zu bestimmen.

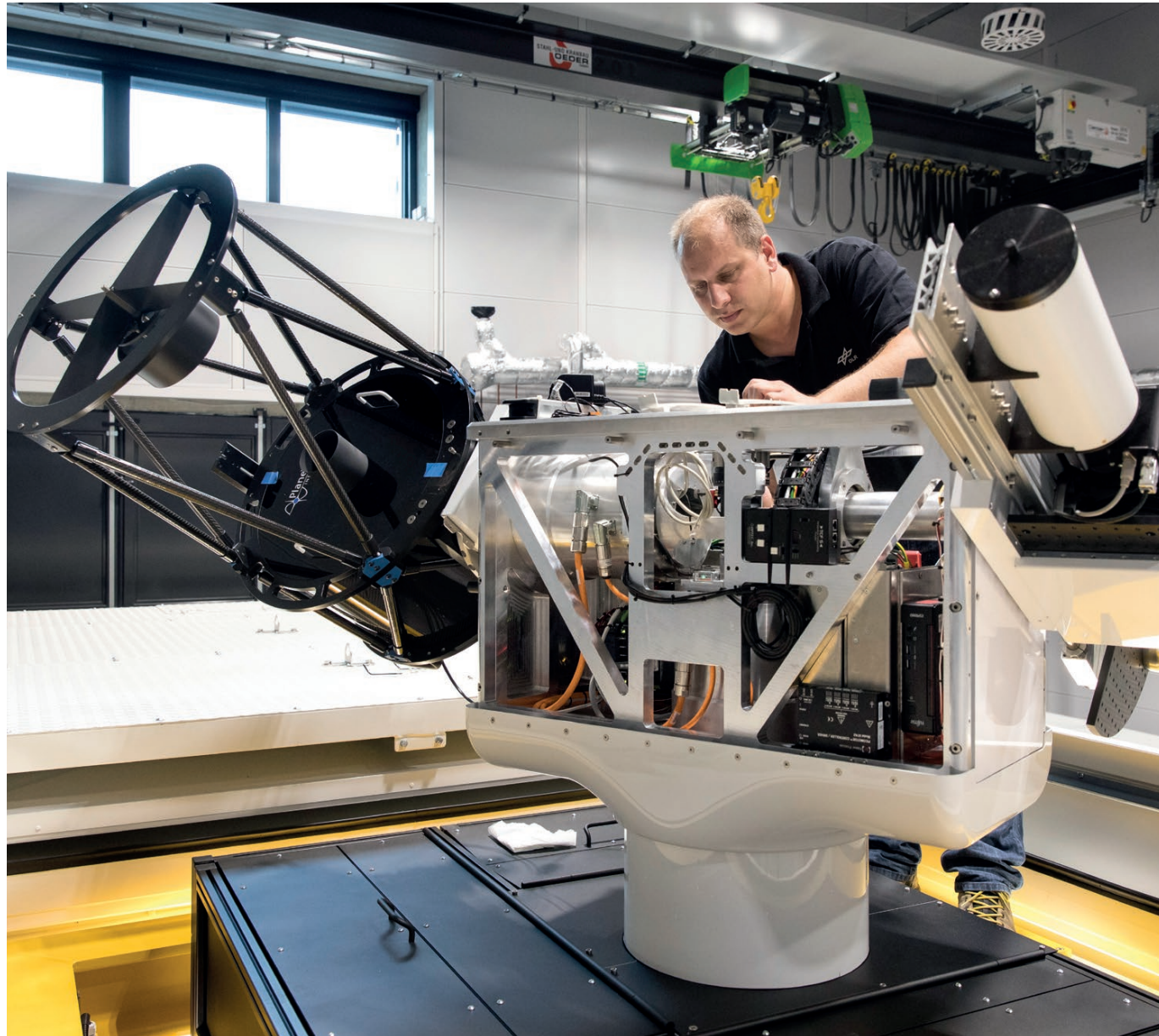
Weltraumschrott: Gefahr für Infrastruktur im All

„Schon heute kreisen rund eine dreiviertel Million unnützer Objekte um die Erde, die größer als ein Zentimeter sind. Aufgrund ihrer hohen Geschwindigkeit von bis zu acht Kilometern pro Sekunde können sie beim Zusammenstoß mit einem Satelliten diesen außer Funktion setzen oder die Internationale Raumstation ISS und ihre Mannschaft gefährden“, beschreibt Wolfgang Riede, Abteilungsleiter am Institut für Technische Physik, die Situation. „Deshalb ist es wichtig, möglichst exakt zu wissen, auf welcher Bahn diese Objekte unterwegs sind.“



Bild: DLR/Frank Eppler

Das mobile Weltraumschrott-Observatorium auf dem Stuttgarter Schnarrenberg. Dr. Leif Humbert und sein Kollege Thomas Hasenohr überprüfen die Schwenk- und Neigehalterung des Teleskops.



Dr. Leif Humbert bei den letzten Arbeiten am Teleskop, bevor es auf seine erste Reise geht

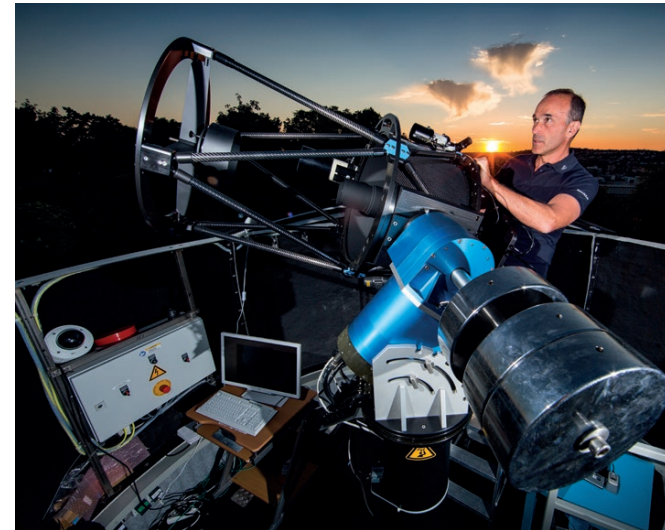
Satellitenbetreiber haben dann die Möglichkeit, gezielt Ausweichmanöver zu fliegen, oder auch die ISS kann auf eine andere Umlaufbahn gebracht werden. Es geht also darum, die für die moderne Industriegesellschaft unverzichtbar gewordene Infrastruktur im All aktiv zu schützen.“

Seit rund acht Jahren arbeitet Riedes inzwischen zehnköpfiges Team daran, das dafür notwendige laserbasierte System zu entwickeln und zu erproben. Im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren soll es genauer, flexibler und modular einsetzbar sowie wesentlich kostengünstiger sein. Momentan gibt es zwei gängige Methoden, um die Flugbahn von Objekten, die um die Erde kreisen, zu bestimmen: Radaranlagen können Gegenstände in einer Entfernung von bis zu zweitausend Kilometern und einer Größe ab einem Zentimeter aufspüren. Optische Teleskope kommen für Objekte ab einer Größe von zwanzig Zentimetern zum Einsatz, die sich im geostationären Orbit befinden, also in einer Entfernung von rund 36.000 Kilometern. Von der Erde aus betrachtet stehen diese Objekte still, scheinen also stationär, weil

sie sich mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit drehen wie die Erde. Auf dieser Umlaufbahn befinden sich deshalb viele Fernseh- und Kommunikationssatelliten.

Bisheriges Beobachtungsverfahren ist aufwändig

Mit dem Space Surveillance Network betreibt das amerikanische Militär ein Netzwerk aus dreißig weltweit verteilten Radaranlagen und optischen Teleskopen. Täglich werden rund 400.000 Beobachtungen in einem Katalog verzeichnet. „Darunter sind auch Bahndaten von militärisch genutzten Satelliten, weshalb nur ein Teil des Katalogs frei zugänglich ist. Da es keine vergleichbare Datenbank gibt, sind Satellitenbetreiber ebenso wie Wissenschaftler abhängig davon, was von amerikanischer Seite veröffentlicht wird“, erläutert DLR-Forscher Wolfgang Riede. Zudem hat die dafür hauptsächlich eingesetzte Radartechnologie einige Nachteile: „Angefangen bei großen Radarschüsseln über eine sehr teure und umfangreiche Infrastruktur bis hin zur Datenaufbereitung ist sie ziemlich aufwändig.“



Wolfgang Riede bei Messungen im Forschungsobservatorium auf der Uhlandshöhe

Aktiv in der Dämmerungsphase

Im Gegensatz dazu arbeiten die Stuttgarter Wissenschaftler an einer wesentlich kompakteren und auch mobil einsetzbaren Technologie. Deren Funktionsprinzip lässt sich wie folgt erklären: Auf Basis vorhandener grober Bahndaten ermitteln die Forscher zunächst mit einem optischen Teleskop die genaue Position des Objekts am Himmel. Dazu nutzen sie die Dämmerungsphase, wenn das Sonnenlicht den Zielgegenstand vor einem bereits dunklen Hintergrund beleuchtet, und verwenden den Sternenhintergrund als astronomische Referenz für die Positionsbestimmung. Im nächsten Schritt ermitteln sie mit Hilfe eines speziellen Lasers die Entfernung – in der Fachsprache wird dieser Vorgang Laser-Ranging genannt. Dabei strahlen sie das Ziel mit einem Laser an und berechnen die Entfernung aus der Laufzeit des vom Zielgegenstand reflektierten Lichts. „Die Herausforderung besteht darin, das jeweilige Objekt mit Abmessungen bis in den Zentimeterbereich in einigen hundert Kilometern Entfernung zu treffen. Im Fußball entspräche das der Kunst, den Ball in ein 700.000 Kilometer entferntes Tor zu schießen“, veranschaulicht Riede die geforderte Genauigkeit. „Dann muss noch genügend Licht zurückkommen, mit dessen Hilfe eine Entfernungsbestimmung möglich ist. Von den rund dreitausend Laserpulsen, die unser Laser pro Sekunde aussendet, kommen nur etwa einhundert bis fünfhundert Lichtteilchen zurück.“ Aus der Position des Objekts am Himmel und der Entfernung berechnen die Wissenschaftler dann aus mehreren aufeinanderfolgenden Messungen die Flugbahn.

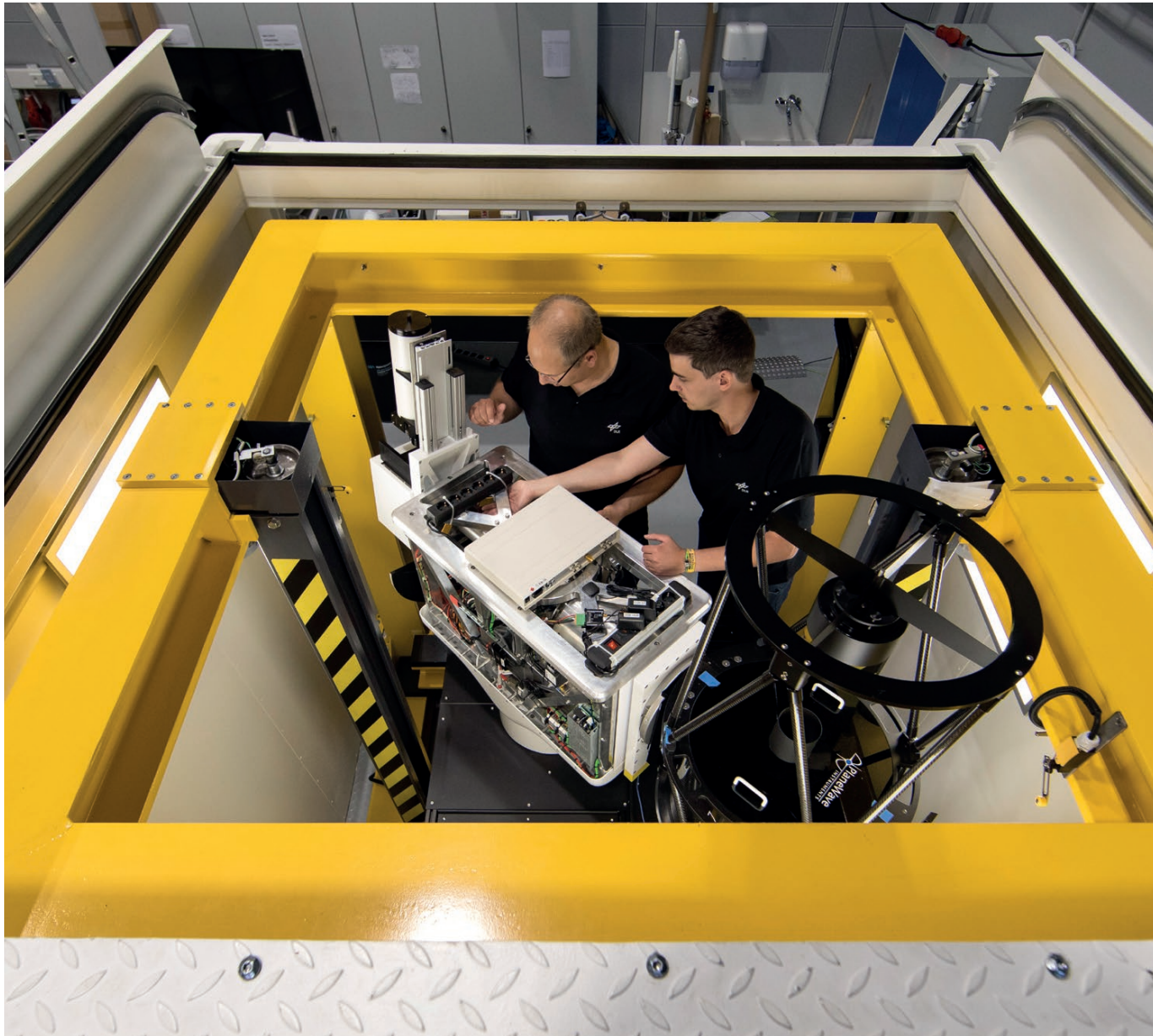
Als Methode ist Laser-Ranging nicht neu: Seit den Sechzigerjahren kommen laserbasierte Verfahren zum Einsatz, um beispielsweise den Abstand eines Satelliten zur Bodenstation sehr präzise zu messen. Weltweit gibt es bisher aber nur wenige Laser-Ranging-Stationen, die daran arbeiten, mit Hilfe des Verfahrens auch Weltraumschrott zu untersuchen. „Das Potenzial dieses Ansatzes ist vielversprechend, allerdings gibt es für die Forschung noch einiges zu tun, um vom experimentellen Status in die Technologieentwicklung und -umsetzung zu kommen“, fasst der Direktor des DLR-Instituts für Technische Physik, Professor Thomas Dekorsy, zusammen. Als ersten Meilenstein haben die Wissenschaftler seines Instituts bereits im Jahr 2012 gemeinsam mit der Laserstation Graz des Instituts für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften gezeigt, dass der laserbasierte Detektionsansatz prinzipiell machbar ist. Für die Beobachtung von Weltraumschrott sind Laserleistungen von zehn bis deutlich über 100 Watt für sehr kleine Objekte notwendig, damit genügend

UNLIEBSAME ÜBERRESTE AUS 60 JAHREN RAUMFAHRT

Mit dem erfolgreichen Start des Satelliten Sputnik 1 im Herbst 1957 begann die Menschheit, den Weltraum zu erschließen und für sich nutzbar zu machen. Seither wurden mehr als 5.000 Raketenstarts durchgeführt und 7.500 Satelliten in den Orbit gebracht. Lediglich rund 1.200 davon sind derzeit in Betrieb und können aktiv gesteuert werden. Neben ausgedienten Satelliten finden sich im Orbit auch Teile von Raketenoberstufen sowie eine unüberschaubare Zahl an kleinen, aber sehr gefährlichen Schrott-Teilchen. Diese entstehen zum Beispiel, wenn restlicher Treibstoff in nicht mehr genutzten Satelliten diese zur Explosion bringt oder Weltraumschrott-Teile miteinander kollidieren und so in viele kleinere Bruchstücke zerspringen. Auf den bei Satellitenbetreibern häufig genutzten Bahnhöhen in 800 und 1.500 Kilometer Höhe ist bereits heute die Dichte an Schrott-Objekten besonders groß. Auf absehbare Zeit besteht die Gefahr, dass diese Orbits nicht mehr verwendet werden können, was weitreichende Folgen für die dort betriebene Infrastruktur hätte.

INSTITUT FÜR TECHNISCHE PHYSIK

Die rund 70 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Technische Physik erforschen und entwickeln in den DLR-Standorten Stuttgart und Lampoldshausen Lasersysteme für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt sowie für die Bereiche Sicherheit und Verteidigung. Sie arbeiten interdisziplinär an den Schwerpunktthemen Detektion und Beseitigung von Weltraumschrott, Laser-Ferndetektion von Schad- und Gefahrstoffen, laserbasierte Sensoren für die Luftfahrt sowie Hochleistungslaser. Als eines der ältesten DLR-Institute ist es bereits seit dem Jahr 1977 in Stuttgart vertreten und begleitet die Entwicklung von Lasern seit der Geburtsstunde der Laser-Technologie.



Das Besondere an dem mobilen Weltraumschrott-Observatorium ist die Hebe-Plattform für das Teleskop. Durch ein Schiebedach wird es nach oben ausgefahren.

Lichtteilchen für die Abstandsmessung zurück zur Erde kommen. Ein Schwerpunkt liegt deshalb auf der Entwicklung und dem Test geeigneter Lasersysteme für diesen speziellen Anwendungsfall sowie auf der praktischen Umsetzung des Konzepts in ersten Versuchsstationen.

Ein „UFO“ über Stuttgart

Die über dem Talkessel der Stuttgarter Innenstadt gelegene Uhlandshöhe hat schon einiges miterlebt: Umgeben von einer großen Parkanlage steht hier seit rund einhundert Jahren die erste Waldorfschule. Fast genauso lange schauen die Hobby-Astronomen des Vereins Schwäbische Sternwarte e.V. von ihrem dortigen Observatorium in den Nachthimmel – und seit 2012 steht dort nun auch das „UFO“. Hinter dieser Abkürzung verbirgt sich das Uhlandshöhe Forschungsobservatorium, ein erster Außenposten der DLR-Forscher, um die laserbasierte Detektion von Weltraumschrott unter realen Bedingungen umzusetzen und zu testen. Mit Beteiligung der Systemelektronik-Auszubildenden des Instituts sowie der Mitglieder der Schwäbischen Sternwarte hat das Team um Wolfgang Riede dort in einer Kuppel einen funktionsfähigen Demonstrator aufgebaut.

„Mit Hilfe des UFOs untersuchen wir die Möglichkeiten und Grenzen unseres Konzepts und entwickeln vor allem die Steuerungssoftware ständig weiter“, beschreibt Dr. Daniel Hampf, der die Aktivitäten auf der Uhlandshöhe leitet, die aktuelle praktische Arbeit. „Die Steuerungssoftware haben wir komplett selbst geschrieben. Sie gehört zu den größten Herausforderungen im Projekt, weil sie alle Komponenten zu einem funktionierenden Ganzen zusammenbringen muss“, so Hampf weiter. Erste Messungen mit dem optischen Teleskop führten die DLR-Forscher bereits 2013 durch. Seit Ende des Jahres 2015 kommt auch der Laser zur Abstandsbestimmung zum Einsatz. Die Forscher vermessen zunächst kooperative Objekte, deren Bahn schon ungefähr bekannt ist und die mit einem Reflektor versehen sind, der das Lichtsignal des Lasers besonders gut zurückwirft. Neben Satelliten können das zum Beispiel bereits bekannte, größere Weltraumschrott-Objekte sein. Um festzustellen, wie genau die Abstandsmessung mittels Laser ist – und so die Laufzeitelektronik des Systems zu eichen –, haben die DLR-Wissenschaftler eine weitere Stuttgarter Höhe besetzt: An der Grabkapelle auf dem Württemberg, die König Wilhelm I. als Liebesbeweis für seine jung verstorbene Frau Katharina erbauen ließ, brachten sie einen kleinen Reflektor an. Mit dessen Hilfe können sie den Abstand zwischen



Wissenschaft am Haken: Ankunft des Containers auf dem Schnarrenberg in Stuttgart.

dem UFO und der Grabkapelle messen, diesen mit der Entfernung auf der Karte vergleichen und so ihr System kalibrieren.

Containerleben für die Wissenschaft

Als weiteren Schritt hin zu einer flexiblen und modularen Lösung, um die Flugbahnen von Weltraumschrott-Objekten zu bestimmen, setzen die DLR-Forscher auf den guten alten Überseecontainer. Als Rückgrat des globalen Handels kommt er normalerweise zum einfachen und schnellen Transport von Gütern über die Weltmeere zum Einsatz. „Unsere Idee war es, in den Container eine komplette Laser-Ranging-Station einzubauen, ihn in der näheren Umgebung aufzustellen und dann zu testen, ob alles so funktioniert, wie wir es uns vorgestellt und errechnet haben“, erklärt Dr. Leif Humbert, der diesen Teil des Projekts verantwortet. „Den Container kann man relativ einfach an unterschiedliche Standorte transportieren. Mit einem Generator betrieben ist die Station komplett unabhängig. Sie benötigt also keine weitere Infrastruktur, im Gegensatz zu bisherigen Stationen, die in Gebäuden untergebracht sind.“

Außerdem rechnen Leif Humbert und seine Forscherkollegen damit, dass eine fertig entwickelte mobile Containerstation weniger als eine Million Euro kosten würde, was im Vergleich zu stationären Alternativen eine relativ preiswerte Lösung darstellt. Rund ein Jahr dauerten die Vorarbeiten, bevor der Prototyp des mobilen Observatoriums seine erste Reise antreten konnte: Das Team baute den Laser, das Send- und Empfangsteleskop inklusive der dafür notwendigen Montierungen ein und programmierte das System für diesen neuen Aufbau – und verstaute natürlich alles stabil im Container, um es sicher transportieren zu können. Mit ersten Messungen auf dem Schnarrenberg wollen die DLR-Wissenschaftler 2018 beginnen.

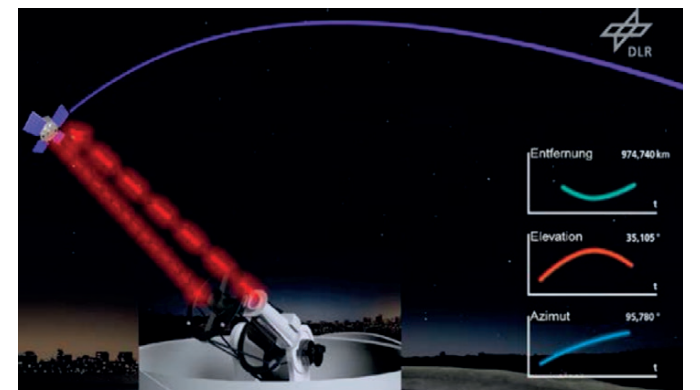
An seinem ersten Standort auf dem Schnarrenberg soll der Container so lange bleiben, bis sämtliche Funktionen ausreichend getestet sind. Dazu gehören auch gemeinsame Messungen mit dem stationären Forschungsobservatorium auf der Uhlandshöhe. Danach heißt es: auf in die große weite Welt. Mittelfristig soll das System an unterschiedlichen Messstandorten mit anderen klimatischen Bedingungen getestet und für einen vollautomatischen Betrieb weiterentwickelt werden. Erste Überlegungen, wohin die Reise für Container und Forscher gehen soll, gibt es bereits, wie Wolfgang Riede verrät: „Der nächste Standort soll natürlich gute Beobachtungsbedingungen bieten. Wir benötigen viel freien Himmel, geringe Lichtverschmutzung und möglichst lange Dämmerungszeiten, wie wir sie in hohen geografischen Breiten, nahe an den Polkappen finden. Auf den polaren Bahnen sind außerdem viele Objekte in niedrigen Umlaufbahnen unterwegs.“ Wahrscheinlich heißt es für sein Team also: warm anziehen.



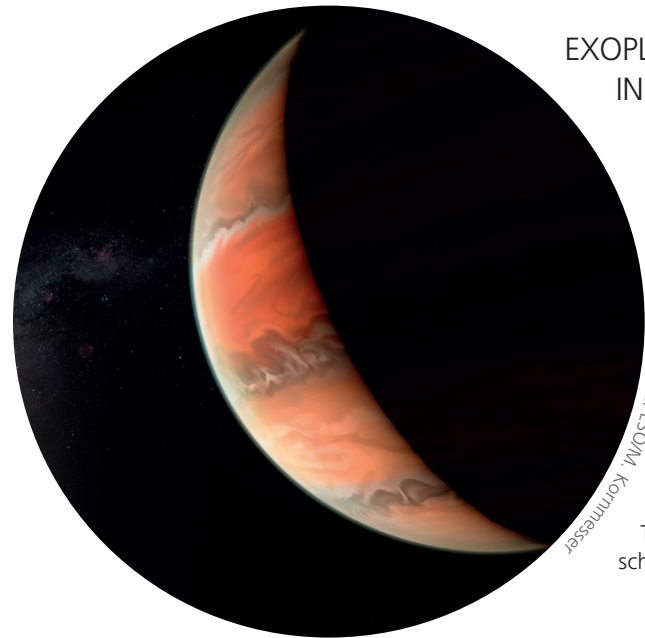
Am Ziel: Der Transport ist beendet, der Aufbau des mobilen Observatoriums kann beginnen.

Von kooperativen Objekten mit einer grob bekannten Flugbahn wollen sich die DLR-Wissenschaftler Schritt für Schritt der Detektion nicht kooperativer Ziele nähern. Langfristig haben sie die Idee, ein kleines Netzwerk von Stationen für gemeinsame Beobachtungen aufzubauen, das alle gesammelten Erkenntnisse vereint und umsetzt: Innerhalb dieses Netzwerks entdeckt eine Station ein neues Objekt, bestimmt grob dessen Flugbahn und reicht es für eine genauere Vermessung an die nächste Station weiter. Auf diese Weise ist es möglich, einen relativ großen Ausschnitt der Flugbahn zu beobachten und die Bahndaten sehr exakt zu ermitteln. „Unsere bisherigen Experimente haben die hohen Erwartungen an die Präzision des laserbasierten Messverfahrens für diesen Anwendungsfall bestätigt“, fasst Institutsdirektor Thomas Dekorsy zusammen. „Diese Technologie könnte Grundlage sein, um in Europa eigenständig Kollisionswarnungen herauszugeben und ein Verzeichnis mit den Flugbahnen beobachteter Objekte zu erstellen.“ Denkbar wäre für die Stuttgarter Forscher auch eine Kombination ihres laserbasierten Ansatzes mit der bestehenden Radartechnologie: Dabei würde die Radarstation Objekte grob detektieren und ein laserbasiertes System, zum Beispiel in einem Container neben der stationären Radaranlage, diese dann genau vermessen.

Bis dahin gilt es noch die eine oder andere Herausforderung zu meistern: Für Zielobjekte kleiner als zehn Zentimeter sind stärkere Laser und größere Empfangsteleskope notwendig. Um Zielgenauigkeit und Strahlqualität zu optimieren, sind vor allem Kurzpuls-Laser Gegenstand der aktuellen Forschung.



Schema des Laser-Ranging-Verfahrens zur Bestimmung der Flugbahn von Objekten im All



EXOPLANET ÜBERRASCHT MIT TITANOXID IN DER ATMOSPHÄRE

In der Atmosphäre des extrasolaren Planeten WASP-19b, einer Art heißem Jupiter, hat DLR-Nachwuchswissenschaftler Elyar Sedaghati mit dem Molekül Titanoxid ein schweres Element identifiziert. Das wurde in der Zeitschrift „Nature“ veröffentlicht. In ausreichender Menge kann Titanoxid verhindern, dass Wärme in eine Atmosphäre eindringt oder entweicht, was zu einer thermischen Inversion führt: Die Temperatur ist in der oberen Atmosphäre höher und sinkt nach unten hin, also genau andersherum als es normalerweise der Fall ist. Seine Untersuchung führte der junge Forscher gemeinsam mit einem Team von neun weiteren Astronomen mit dem Very Large Telescope (VLT) der Europäischen Südsternwarte ESO in Chile durch. Um herauszufinden, wie sich die Atmosphäre chemisch zusammensetzt, wurden Millionen von Einzelspektren in allen Wellenlängen des sichtbaren Lichts gesammelt und spezielle Algorithmen angewendet, die auch unterschiedliche Temperaturen und die variierenden Eigenschaften von Wolken- und Dunstschichten berücksichtigen.

Bild: ESO/M. Kornmesser

SICHERER BETRIEB VON BODENNAHEN DROHNEN

Nicht nur für Privatpersonen, auch in der Wirtschaft nimmt die Bedeutung von Drohnen zu. Noch fehlen europaweit harmonisierte Regeln zur sicheren und effizienten Integration dieser neuen Fluggeräteklasse im untersten Luftraum. Mit Beteiligung des DLR werden im europäischen Forschungsprojekt CORUS (Concept of Operation for European UTM Systems) Lösungen erarbeitet. Unter der Leitung der „Europäischen Organisation zur Sicherung der Luftfahrt“ (EUROCONTROL) bringt CORUS Experten zusammen, um ein übergreifendes Konzept zu entwickeln, wie unbemannte Luftfahrtsysteme im untersten europäischen Luftraum in Zukunft betrieben und geführt werden sollten. Das DLR-Institut für Flugführung wird in dem Projekt eine Sicherheits- und Risikobewertung von Flugszenarien erarbeiten. Dabei werden die Eigenschaften des Fluggebiets, wie Besiedlungs- und Luftverkehrsichte, aber auch technische und meteorologische Einflüsse bedacht. Aus der Risikobewertung werden zusätzliche Sicherheitsanforderungen für unbemannte Luftfahrzeuge im unteren Luftraum abgeleitet. Um eventuelle Zwischenfälle besser verstehen und rückmelden zu können, entwickeln die Forscher zudem Richtlinien und Meldungsabläufe.



ZUSAMMENARBEIT IN DER RAUMFAHRT

Auf dem International Astronautical Congress IAC Ende September 2017 im australischen Adelaide vereinbarte das DLR mit verschiedenen Partnern eine engere Zusammenarbeit. Dazu gehörten neben zwei australischen Universitäten und der in Frankreich ansässigen International Space University ISU auch die Sierra Nevada Corporation sowie die südafrikanische Raumfahrtagentur SANSA. Kooperationsthemen sind unter anderem Aktuatoren für Raumfahrtsysteme, Komponenten für optische Detektoren im Hyperspektral- sowie Infrarotbereich, optische Kommunikation, Satellitensteuerung, die Verfolgung von Weltraumschrott und die Nutzung des „Dream Chasers“ sowie Technologien für die Zeit nach der Internationalen Raumstation ISS.



FÜR REIBUNGSLOSEN LUFTVERKEHR

Eine robuste Netz- und Flugplanung ist entscheidend für zufriedene pünktlich reisende Fluggäste und einen effizienten, kostenminimierten Flugbetrieb. Das DLR nutzt nun zur möglichst anwendungsnahen Forschung Software von Lufthansa System. Beide Partner sind am

Forschungsprojekt Robuster Flugplan beteiligt. Der direkte Zugriff auf die Planungssoftware, die bei mehr als 70 Airlines im Einsatz ist, erlaubt auch „Was-Wäre-Wenn“-Szenarien. Die Softwarelösungen NetLine/Plan und NetLine/Sched simulieren neue Verbindungen, erstellen Prognosen für Passagierströme auf Basis von Marktdaten und kalkulieren Auswirkungen auf Kosten sowie Erträge. So können die DLR-Forscher auch herausfinden, welche Modifikationen die Flugplanung noch besser gegen Störungen wappnen, oder wie Innovationen sich auf die Gestaltung des Flugplans auswirken.

GESUND ZUM ROTEN PLANETEN

Für eine Reise zum Mars simulierten die Weltraumagenturen Roskosmos und ESA von Juni 2010 bis November 2011 in der Studie Mars 500 einen Flug zu unserem Nachbarplaneten. Wissenschaftler aus Deutschland, Österreich und Großbritannien untersuchten unter Leitung des DLR die Entwicklung von Mikroorganismen in der Raumstation. Die sechs Studienteilnehmer lebten während ihrer 520-tägigen Mission von der Außenwelt isoliert in einem „Raumschiff“, das eigens am Institut für Biomedizinische Probleme IBMP nahe Moskau errichtet wurde. Neben technischen und sozialen Aspekten wurden auch Mikroorganismen in diesem bewohnten, abgeschlossenen Habitat untersucht. Die „Marsonauten“ nahmen an 18 zuvor definierten Zeitpunkten mikrobielle Proben aus der Luft und von den Oberflächen der verschiedenen Raumschiff-Sektionen. Es zeigte sich, dass die Vielfalt an Mikroorganismen mit der Dauer der Isolation unter anderem wegen der benutzten Reinigungsmittel abnahm. Ein mikrobiell vielschichtiges Umfeld ist aber positiv für die Gesundheit. Deshalb sollen zukünftig Gegenmaßnahmen ergriffen werden, um die mikrobielle Diversität zu erhalten.

Bild: ESA



REGIONALMELDUNGEN

BRAUNSCHWEIG: Der DLR-Forschungshubschrauber Bo 105 flog in den Nächten vom 9. bis zum 13. Oktober 2017 im Bereich des Flughafens Braunschweig-Wolfsburg bodennahe Manöver. Bei solchen Flügen entstehen am Rotor Abwinde und Verwirbelungen. Diese Wirbel und das Strömungsfeld wurden in den Flugversuchen mittels Laser optisch vermessen, um so genaue Aussagen zur Umströmung des Rotors zu erhalten.

BREMEN: Das Starbugs-Team aus Bremen hat mit dem Thema Datenübertragung in der Raumfahrt den 4. Deutschen CanSat-Wettbewerb gewonnen. Die Jury lobte die professionelle Auswertung und Fehleranalyse. Das DLR unterstützt den Wettbewerb, bei dem Schülerinnen und Schüler ab 14 Jahren ihren eigenen Miniatursatelliten mit den Maßen einer handelsüblichen Getränkedose (im Englischen „can“) bauen. Beim europäischen CanSat-Wettbewerb im kommenden Jahr dürfen die Bremer Schüler nun die Bundesrepublik vertreten. Auf dem zweiten Platz landete das Team Snoopy Explorer aus Halle und auf dem dritten Platz die Gruppe Cusanus_Innovation aus Erkelenz.

JÜLICH: Solarforscher des DLR sind auf dem Weg zu leistungstärkeren Solarkraftwerken einen großen Schritt weitergekommen. Am Solarturm in Jülich wurde ein neuer Receiver für die Erzeugung und Speicherung solarer Wärme eingebaut. Die keramische Partikel nutzende Technologie hat sich im verkleinerten Labormaßstab bereits bewährt. In den folgenden Monaten wird das neue Konzept unter Kraftwerksbedingungen, also bei bis zu 1.000 Grad Celsius, getestet.

STUTTGART: Beim 30. International Electric Vehicle Symposium auf der Stuttgarter Messe präsentiert das DLR Projekte zur Mobilität der Zukunft und nachhaltigen Energieversorgung. Dazu gehörten das Großforschungsprojekt Next Generation Car, thermische Hochleistungsspeicher, ein Brennstoffzellensystem inklusive Tank, das als Nachrüstlösung konzipiert wurde und im Kofferraum untergebracht werden kann, und neue Batterietechnologien und Hilfsaggregate zur Klimatisierung von Elektrofahrzeugen.

KÖLN: Wie sich ein Körper in Schwerelosigkeit verhält, hilft eine weitere DLR-Bettruhestudie aufzuklären. Bereits 2015 und 2016 legten sich insgesamt 24 Probanden im Dienste der Wissenschaft für mehrere Wochen ins Bett. Die aktuelle VaPER-Studie (VIIP and Psychological :envi hab Research Study) lief von Oktober an für 59 Tage mit sechs Probandinnen und sechs Probanden. Untersucht wurden vor allem die Funktionalität der Augen und der Hirndruck.

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

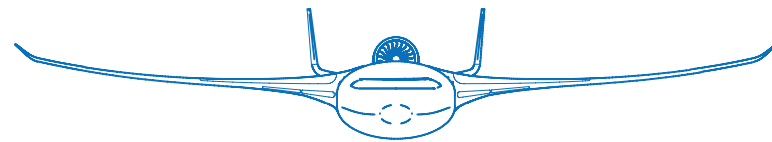
Alle Meldungen können in voller Länge und mit Bildern oder auch Videos online im News-Archiv eingesehen werden. Möchten Sie die Meldungen per E-Mail zugeschickt bekommen, abonnieren Sie einfach den Newsletter.

[DLR.de/meldungen](https://www.dlr.de/meldungen)

[DLR.de/newsletter](https://www.dlr.de/newsletter)

MIT DEM TRIEBWERK HUCKEPACK

Einmal als Studierender mit eigenen Ideen die Luftfahrttechnik in neue Bahnen lenken. Flugzeugentwürfe konzipieren, die den Passagierflug jenseits der Schallmauer neu definieren oder revolutionär leise und emissionsarm sind. Das war die Aufgabe, die das DLR und die NASA beim ersten gemeinsamen Design-Wettbewerb Studierenden in Deutschland und den USA stellten. Die Teams versuchten sich in einer von zwei Kategorien: Entweder sie arbeiteten an der Renaissance des Überschallfluges ohne unverhältnismäßig hohe Umweltbelastung und mit entschärftem Überschallknall oder sie wagten sich beim Unterschall-Passagierflugverkehr an die technischen Grenzen für weniger Emissionen, weniger Lärm und mehr Effizienz. Das deutsche Gewinnerteam der Technischen Universität München überzeugte die Jury mit seinem Urban Liner.



DesignChallenge von DLR und NASA: Studierende präsentierten Entwürfe für ein Flugzeug der Zukunft

DLR-Luftfahrtredakteur Falk Dambowsky sprach mit den Siegern Christian Decher, Daniel Metzler und Varga Soma von der Technischen Universität München über ihre Ideen

Gerade einmal im dritten Mastersemester Luft- und Raumfahrt mit lediglich einer Vorlesung Flugzeugentwurf und schon auf dem Siebertreppchen. Und auf der großen Bühne bei der NASA mit einem prämierten Flugzeugentwurf. Wie fühlt sich das an?

• **Soma Varga** Für jeden Ingenieur ist es ein Traum, einmal bei der NASA zu arbeiten oder dort einen Vortrag zu halten ...

• **Daniel Metzler** ... ein Traum, der nach und nach wahr geworden ist. Wir haben uns am Anfang nicht denken können, dass wir tatsächlich als Sieger bei der NASA zu Gast sein werden.

Wie seid ihr auf den Wettbewerb gekommen und was hat euch als Team stark gemacht, um bei der DLR/NASA-DesignChallenge ganz vorne zu landen?

• **Christian Decher** Wir haben alle drei die Vorlesung Flugzeugentwurf bei Professor Dr.-Ing. Mirko Hornung an der Technischen Universität München besucht. Er machte Werbung für die DesignChallenge. Es gab ein erstes Meeting, bei dem wir drei uns gleich als Team fanden.

• **Daniel Metzler** Und dann haben wir ganz eng zusammengearbeitet. Es war auf jeden Fall ein Vorteil, dass wir so ein kleines Team sind. Dadurch haben wir den Überblick behalten und konnten immer auch den Aufgabenbereich der anderen mitdenken und ergänzen.

Wie entstand die Idee zu eurem Flugzeugentwurf?

• **Christian Decher** Daniel und Soma wollten zuerst eine Überschallkonfiguration angehen, doch ich konnte sie dann doch überzeugen, im Unterschallbereich zu bleiben ...



Bild: TU München

Der prämierte Flugzeugentwurf Urban Liner verfügt über nur ein konventionelles Triebwerk auf dem Heck und zusätzlich über elektrische Antriebe, die im Flügelansatz integriert sind

■ **Daniel Metzler** Am Anfang gab es ein intensives Brainstorming: Wollen wir eher in Richtung eines rochenförmigen Blended Wing Body gehen? Was für ein Antriebssystem verwenden wir und wie integrieren wir dieses in das Flugzeug? Vom ganz Allgemeinen zum Speziellen, bis das Konzept des Urban Liner stand.

■ **Soma Varga** Eine besondere Herausforderung war dabei, nicht zu sehr ins Detail zu gehen und den Blick für das große Ganze zu behalten. In der frühen Design-Phase haben wir schon ganz viel gefragt: Warum ist das so? Wo ist der Auslegungspunkt? Wo setzen wir Prioritäten? Von Anfang an haben wir einen Schwerpunkt auf die Minimierung des Fluglärms gesetzt, dem ordneten sich dann viele weitere Entscheidungen unter.

Was macht den Urban Liner neben der Schwerpunktsetzung beim Fluglärm so besonders?

■ **Daniel Metzler** Zunächst das einsame Turbofan-Triebwerk, das wir huckepack auf dem hinteren Rumpf platziert haben. Das ergibt sich aus der Anforderung, Emissionen zu verringern.

■ **Soma Varga** Wir versuchen mit dem Urban Liner, die Stickoxid- und Kohlendioxidemissionen um bis zu 80 Prozent und den Kerosinverbrauch um bis zu 60 Prozent zu senken. Unter dem Strich führt nichts daran vorbei, dass der Urban Liner die großen Turbofan-Triebwerke wegfällt, solange der vollständige elektrische Flug noch in weiterer Ferne liegt. Deshalb kombinieren wir die Vorteile emissionsloser elektrischer Antriebssysteme mit einem klassischen Triebwerk auf dem Heck. Gleichzeitig wird so der Triebwerkslärm nach unten abgeschirmt.

■ **Christian Decher** Die elektrischen Triebwerke sind zudem beim Urban Liner vollständig in die Tragflächen nah am Rumpf integriert. Generell haben wir in unserem Design-Ansatz versucht, vier innovative Technologien intelligent miteinander zu verknüpfen.



Welche Technologien sind das?

■ **Soma Varga** Die schon genannten integrierten elektrischen Triebwerke, für die beim Übergang zwischen Tragflächen und Rumpf zudem eine gespaltene Flügelwurzel nötig wurde, sowie ein fortschrittliches Flügel- und Triebwerkdesign.

■ **Christian Decher** Wir haben nicht so sehr auf inkrementelle Veränderungen geachtet, etwa wie man das Fahrwerk beim Ausfahren noch ein bisschen leiser machen kann oder wie man mit verbesserten Triebwerkauslässen den Strahlärm reduziert. Wir haben eher geschaut, welche grundlegenden Design-Entscheidungen man treffen muss, um ein besonders leises und sparsames Flugzeug zu erhalten.

■ **Daniel Metzler** Geleitet hat uns dabei die Frage: Wo liegen die Stärken der einzelnen Technologien, wo die Schwächen und wie können sich diese vielleicht sogar ausgleichen?

Hier geht es also auch um Synergien, wo liegen diese beim Urban-Liner-Konzept?

■ **Daniel Metzler** Um beim Beispiel des einzelnen Turbofan-Triebwerks zu bleiben: Hier kommen in perfekter Ergänzung die E-Fans, also die Elektrofans, ins Spiel, die allein zwar zu schwach für einen dauerhaften Flugbetrieb sind, aber ausreichend stark, um Start und Steigflug zu unterstützen und im Notfall sogar für eine gewisse Zeit ganz den Schub zu übernehmen.

■ **Soma Varga** Ein weiterer Punkt ist, dass wir unser Turbofantriebwerk in Kombination mit dem variablen Schub der E-Fans so konstruiert haben, dass es effizient und sparsam nur auf Vollast läuft. Das hybride Antriebssystem ermöglicht es, dass das Triebwerk immer nur an oder aus ist und nicht ineffizient auf Teillast läuft.

Gibt es weitere Synergien?

■ **Daniel Metzler** Ja, die Integration der elektrischen Triebwerke in die Flügelwurzel am Rumpf. Die E-Fans werden vor allem für zusätzlichen Schub während des Startvorgangs benötigt und danach dürfen

sie nicht im Weg stehen. Deshalb ist es so wichtig, sie ins Flugzeug zu integrieren. Allerdings dürfen sie nicht zu klein ausfallen, weil ihr Wirkungsgrad sonst massiv darunter leidet.

■ **Soma Varga** Wir standen vor der Frage, wie wir die großen E-Fans in das Flugzeug hinein bekommen. Schließlich gelang uns die Integration, indem wir die Flügelwurzel, die heute durch den Gepäckraum eines Passagierflugzeugs verläuft, aufspalteten und oben und unten um die integrierten E-Fans herum konstruierten. Die Flügelwurzel wiederum kann man in gespaltener Form nur stabil konstruieren, wenn man den Rumpf verbreitert.

Ein großes konventionelles Triebwerk allein auf dem Rumpf, unterstützt von E-Fans zu verwenden, ist eine aufregende Konfiguration. Wie weit würde ein Pilot denn noch fliegen können, wenn tatsächlich einmal das Haupttriebwerk ausfällt?

■ **Christian Decher** Zunächst muss man sagen, dass Triebwerke heutzutage sehr viel zuverlässiger arbeiten als noch vor einigen Jahrzehnten. Triebwerkausfälle sind sehr selten geworden, was perspektivisch für ein Passagierflugzeug mit einem Triebwerk spricht. Wenn es aber doch zu einem Triebwerkausfall kommt, muss es natürlich auch für solch eine Konfiguration eine Notfallprozedur geben.

■ **Daniel Metzler** Der Urban Liner würde in diesem Fall seine Reiseflughöhe verlassen, müsste tiefer gehen und seinen Anstellwinkel ändern. Und dann rein elektrisch weiterfliegen, was er noch für rund 90 Minuten könnte, um einen nahegelegenen Flughafen zu erreichen. Erhöht man die Zuladung mit Batterien und verzichtet im Gegenzug auf Fracht- und Gepäckkapazitäten, sind auch längere Überbrückungszeiten mit dann Flugrouten über entlegene Gebiete möglich und dann.

Was würde denn passieren, wenn das Flugzeug unplanmäßig auf einem Flughafen landen müsste, wo keine Ersatz-Batterien für den Austausch bereitstehen?

■ **Soma Varga** Prinzipiell wäre das kein Problem. Da die E-Fans hauptsächlich für den Start- und Steigflug eingesetzt werden und ein Großteil der Energie für einen eventuellen Notfall in den Batterien verbleibt, ist es auch möglich, ein zweites Mal mit den gleichen Batterien zu starten.

Ein großer Vorteil von elektrischen Fans ist ja auch der geringere Fluglärm beim Start. Zudem sitzt das verbliebene Haupttriebwerk auf dem Rumpf, wodurch der Schall nach unten hin abgeschirmt wird. Wieviel leiser wäre denn der Urban Liner beispielsweise im Vergleich zum weitverbreiteten Airbus A320?

■ **Christian Decher** Konkrete Zahlen zum letztendlichen Lärm am Boden sind schwierig zu fassen und von vielen Einflüssen abhängig. Im Vergleich zum A320 lässt sich aber sagen, dass die Austrittsgeschwindigkeit hinter dem Triebwerk beim Urban Liner etwa nur halb so groß ist wie beim A320. Dieser sogenannte Strahlärm ist ein sehr wichtiger Faktor bei den Geräuschen eines Flugzeugs. Der Urban Liner würde also deutlich leiser werden.

Als deutsche Sieger des Wettbewerbs konntet ihr Ende September 2017 zur NASA ins historisch wie aktuell bedeutende Langley Research Center reisen. Wie habt ihr den Aufenthalt erlebt?

■ **Soma Varga** Wahnsinnig spannend. Ganz besonders interessant war die Führung durch die Forschungsanlagen auf dem NASA-Gelände, etwa zum großen Windkanal, zum Flugzeughangar und zu einer Einrichtung für Crashtests von Luftfahrtbauteilen. Angenehm empfanden wir, dass sich die amerikanischen Teams sehr für unsere Arbeit rund um den Urban Liner interessierten und es einen regen Austausch über die vorgestellten Konzepte gab. Tatsächlich standen wir auch etwas im Rampenlicht, weil wir im Siegersymposium das einzige Team aus Deutschland waren.

Nun habt ihr ja schon in Braunschweig bei der Verkündung der Sieger im deutschen Wettbewerb einige Flugzeugentwürfe präsentiert bekommen, und dann beim gemeinsamen Symposium mit den amerikanischen Gewinnern bei der NASA abermals. Gab es Entwürfe von anderen Teams, die euch beeindruckt haben?

■ **Daniel Metzler** Spannend fanden wir die Entwürfe in der Kategorie Überschallflug, in der das amerikanische Gewinnerteam des Virginia Polytechnic Institute and State University das Konzept „Nimbus“ vorstellte. Ein Überschallbusinessjet, der durch eine besondere Form der Deltaflügel, eine ausgeprägte Leichtbauweise, besticht und deutlich weniger Lärm im Überschallbereich ebenso wie im Anflug auf Flughäfen verursacht. Beeindruckt hat uns auch das vom zweitplatzierten deutschen Team der Universität Stuttgart vorgelegte Konzept „HELESA“, ein langgestrecktes Überschallflugzeug mit markant vorwärts gefeilten Schwenkflügeln.

Was würdet ihr anderen Studierenden raten, wenn sie die Chance bekommen, an so einem Wettbewerb teilzunehmen?

■ **Christian Decher** Auf jeden Fall teilnehmen! Und genau schauen, was zu schaffen ist und was nicht. Wir hatten uns am Anfang etwas verlaufen beim Berechnen. Wir dachten, wir könnten ganz akkurate Ergebnisse erzielen. Man merkt aber bald, was mit einem Konzeptentwurf möglich ist und wo die Grenzen liegen. Frühzeitig abstecken, wie weit man gehen will und kann – dieser Tipp hätte uns einiges erspart.

■ **Daniel Metzler** Und nicht zurückschrecken vor viel Arbeit. Die Aufgabe mag am Anfang vielleicht etwas groß erscheinen: ein ganzes Flugzeug konzipieren ... Aber in der ersten Design-Phase kann man mit ein bisschen Fleiß doch auch als Student sehr viel erreichen. Wichtig ist es, einmal den ganzen Prozess durchzumachen. Das lernt man per se auf der Universität nicht. Schon deshalb war der Wettbewerb insgesamt eine sehr wertvolle Erfahrung.

■ **Soma Varga** Einfach mal ausprobieren! Man lernt sehr viel in so einem Wettbewerb. Auch wenn man nicht gewinnt, sieht man, wie wichtig das große Ganze beim Flugzeugentwurf ist und dass man nicht auf die kleinsten Details eingehen kann. Das wird im späteren Ingenieuralltag sicher auch sehr wichtig sein.

Link zum Urban Liner Paper: [s.DLR.de/2qzf](https://www.dlr.de/2qzf)



Die drei Kommilitonen reisten im September 2017 für das DLR zum NASA Langley Research Center in Virginia, um ihre prämierte Arbeit dort neben den amerikanischen Siegern des Wettbewerbs in einem Symposium mit international anerkannten Luftfahrtforschern zu präsentieren



DLR-Luftfahrtvorstand Professor Rolf Henke (2. von links) würdigte die Arbeit von Soma Varga, Daniel Metzler und Christian Decker (von links nach rechts) als stimmiges Gesamtkonzept, das hochinnovative Technologien intelligent zusammenführt



Würdigung beim Siegersymposium der DLR/NASA-DesignChallenge (von links nach rechts): George Finelli, Direktor Luftfahrtforschung am NASA Langley Research Center, das Siegerteam der TU München und Horst Hüners, DLR-Programmdirektor Luftfahrtforschung

MESSEN, VORHERSAGEN, HANDELN



Die 23. Weltklimakonferenz ist in Bonn jüngst zu Ende gegangen – eine weitere wichtige Etappe der Weltgemeinschaft, um die Herausforderungen des globalen Klimawandels zu bewältigen. Den anthropogenen Einfluss auf das Klimasystem, die Störung durch den Menschen, gilt es zu verringern. Die Klima- und Erdsystemforschung liefert dazu Daten – aktuell in außergewöhnlicher Qualität und in nie dagewesenem Volumen. Prof. Dr. Veronika Eyring hat den Vorsitz des CMIP-Panels inne (CMIP – Coupled Model Intercomparison Project), das Klimamodellsimulationen weltweit im Rahmen des Weltklimaforschungsprogramms (WCRP) koordiniert. Bernadette Jung von der Standortkommunikation des DLR in Oberpfaffenhofen sprach mit ihr.

Drei Jahrzehnte Atmosphären- forschung im DLR

Die neuen Erdbeobachtungs- und Klimamodelldaten helfen, die wissenschaftlichen Grundlagen zu verbessern und handlungsrelevante Fragen zu beantworten: Wie funktioniert das Klimasystem genau? Was sind die Ursachen für den Klimawandel? Welche Auswirkungen hat er? Und welche Entwicklungen ergeben sich daraus? – Am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen gehen Forscherinnen und Forscher diesen Fragen nach.

Klimadaten in nie dagewesenem Umfang und immer bessere Modelle für eine der größten Aufgaben der Menschheit

Interview mit DLR-Klimaforscherin Prof. Dr. Veronika Eyring

Der Bedarf an wissenschaftlichen Informationen und Wissen zum Klimawandel wird immer größer. Welche Rolle spielt dabei die Klimamodellierung?

■ Vielzählige Einflussfaktoren und gegenseitige Wechselwirkungen machen das Klima zu einem hochkomplexen System. Klimamodelle sind numerische Werkzeuge, die diese Wechselwirkungen und Rückkopplungen simulieren. Sie sind ein wichtiges Instrument, um das vergangene und heutige Klima zu verstehen und Vorhersagen der Entwicklung des zukünftigen Klimas zu liefern. Mit dem gestiegenen Informationsbedarf sind auch die Anforderungen an die Modellierungen gewachsen. Moderne Erdsystemmodelle können bereits eine Vielzahl von Faktoren berücksichtigen, von der vollständigen Atmosphärenchemie über dynamische Prozesse der Landoberfläche einschließlich der Vegetation bis zu Kohlenstoffzyklen an Land und im Meer. Die horizontale und vertikale Auflösung der Modelle steigt ebenso. In meiner Arbeitsgruppe „Erdsystemmodellevaluierung“ erforschen wir die Qualität der verschiedensten Modelle im Vergleich zu Beobachtungsdaten. So kommen wir zu einem besseren Prozessverständnis des Klimasystems und können Empfehlungen für Modellweiterentwicklungen geben. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für zuverlässige Klimaprognosen, die von Gesellschaft, Politik und Industrie dringend benötigt werden.



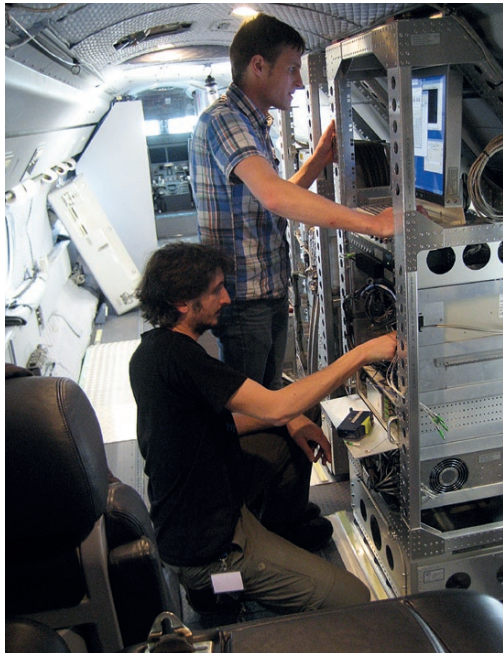
Wie sich Wolken in sauberer Luft über Urwald von denen in entwaldeten verschmutzten Regionen unterscheiden, untersucht das Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft). Hier eine Aufnahme aus dem Cockpit über den Nasenmast vor einem sich auflösenden Gewitter über dem Amazonasgebiet.

Wie werden diese Forschungsergebnisse genutzt?

■ Unter der Schirmherrschaft des Weltklimaforschungsprogramms (WCRP) arbeiten hunderte von Klimaforschern in Modellierungszentren rund um die Welt daran, die neuesten Ergebnisse globaler Klimamodelle auszutauschen, zu vergleichen und zu analysieren. Im Rahmen des Projekts CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) liefern Simulationen der Forschungsgemeinschaft wichtige Daten für die nächsten fünf bis zehn Jahre. Der Weltklimarat nutzt die CMIP-Klimamodellsimulationen als eine wesentliche Quelle für seine Sachstandsberichte – wie auch in seinem letzten vollständigen Bericht von 2013, der die wissenschaftliche Entscheidungsgrundlage für das Paris-Abkommen war und zur Verabschiedung des Zwei-Grad-Klimaziels führte. Das bestärkt uns in der Abteilung Erdsystemmodellierung darin, auch für den nächsten Sachstandsbericht 6 einen signifikanten Beitrag zu leisten. Zum einen tragen wir mit Klimasimulationen mit dem Modell EMAC (ECHAM/MESSy Atmospheric Chemistry) zum Projekt CMIP6 bei und zum anderen entwickeln wir das Erdsystemmodellevaluierungstool (ESMValTool) weiter und wenden es auf CMIP6-Simulationen an. Das ermöglicht es, die Modelle routinemäßig anhand von Beobachtungsdaten zu überprüfen.

Komplexere Klimamodelle, präzisere Prognosen – wo liegen die nächsten Herausforderungen?

■ Das betrifft auch das Thema Big Data. Dank der rasanten wissenschaftlichen und technologischen Fortschritte erreichen unsere Datensätze völlig neue Dimensionen. Das ist eine gute Nachricht, fordert jedoch die Kapazität und Kreativität der größten Rechenzentren und schnellsten Datennetze heraus. Allein für die aktuelle Projektphase von CMIP erwarten wir ein Datenvolumen von 20 bis 40 Petabyte – ein Zuwachs um den Faktor zehn bis 20 im Vergleich zum Modellarchiv CMIP5 von 2013. In den kommenden Jahren werden über 30 internationale Klimamodellierungsgruppen neue CMIP6-Modelldaten liefern. Diese Daten müssen archiviert, dokumentiert, verteilt und analysiert werden. Hinzu kommt die Verarbeitung und Bereitstellung von Erdbeobachtungsdaten aus dem Satelliten-Programm Copernicus der Europäischen Union und anderen Satellitenmissionen sowie von Flugzeug-Messkampagnen und Bodenstationen. In Oberpfaffenhofen sind wir daher schon länger in dem Bereich aktiv und haben unter anderem das ESMValTool entwickelt – ein Werkzeug zur effizienten Evaluierung der Modelle mit Beobachtungsdaten, das auch bei CMIP6 routinemäßig am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) zum Einsatz kommt.



Vorbereitung zu einem Testflug für die deutsch-französische Klimamission MERLIN (Methane Remote Sensing Lidar Mission) mit HALO. Auf der Mission soll CHARM-F zum Einsatz kommen. CHARM-F (CH_4 Airborne Remote Monitoring) ist ein flugzeuggetragenes „integrated path differential absorption“ (IPDA)-Lidar. Mit ihm lassen sich Gradienten der Konzentration sowie Boden-Atmosphären-Flüsse von Kohlendioxid und Methan quantifizieren, und das sowohl über anthropogenen Punktquellen als auch über ausgedehnten natürlichen Quellen.

Sie sind auch am Aufbau des neuen DLR-Instituts für Datenwissenschaften in Jena beteiligt?

■ Ja, ich unterstütze dort den Aufbau einer Gruppe zur Klimainformatik, die in Kooperation mit unserem Institut, mit der Friedrich-Schiller-Universität Jena und mit dem Max-Planck-Institut für Biogeochemie tätig sein wird. Unser Ziel ist es, innovative und effiziente Methoden zum Datenmanagement und zur Datenanalyse zu entwickeln. Die Klimainformatik ist ein spannendes neues Forschungsfeld, um Erdsystemdaten von Modellen und Satelliten auf eine neue Ebene zu heben. Wenn wir das ESMValTool mit geeigneten Data-Science-Methoden erweitern, können wir neue Wege finden, um Änderungen im Klimasystem frühzeitig zu erkennen. Auch bisherige Unsicherheiten in den Projektionen von Klimamodellen möchten wir mit Informatikanwendungen und den Forschungen an unserem Institut weiter reduzieren.

In der Klimadiskussion gibt es auch Stimmen, die den anthropogenen Klimawandel leugnen. Welche Antworten liefern Klimamodelle darauf?

■ Um den Einfluss der Menschen auf das Klima von anderen, natürlich gegebenen Faktoren zu unterscheiden, lassen sich „Sensitivitätssimulationen“ heranziehen. Dabei werden Modellsimulationen, die

nur die natürlichen Klimaantriebe berücksichtigen, verglichen mit solchen, die sowohl natürliche als auch anthropogene Antriebe berücksichtigen. Der eben erwähnte fünfte Sachstandsbericht des Weltklimarats kam dabei zu dem Schluss, dass der menschliche Einfluss auf das Klimasystem klar ist. Wissenschaftlich belastbare Daten zeigen unsere Klimawirkung in den ansteigenden Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre und im positiven Strahlungsantrieb. Hinzu kommen die Beobachtungen der Erderwärmung und anderer Klimaindikatoren sowie unser zunehmend genaueres Verständnis des Klimasystems.

Die Bestimmung des Treibhauseffekts ist für Klimaprojektionen entscheidend. Woher beziehen Sie die notwendigen Daten?

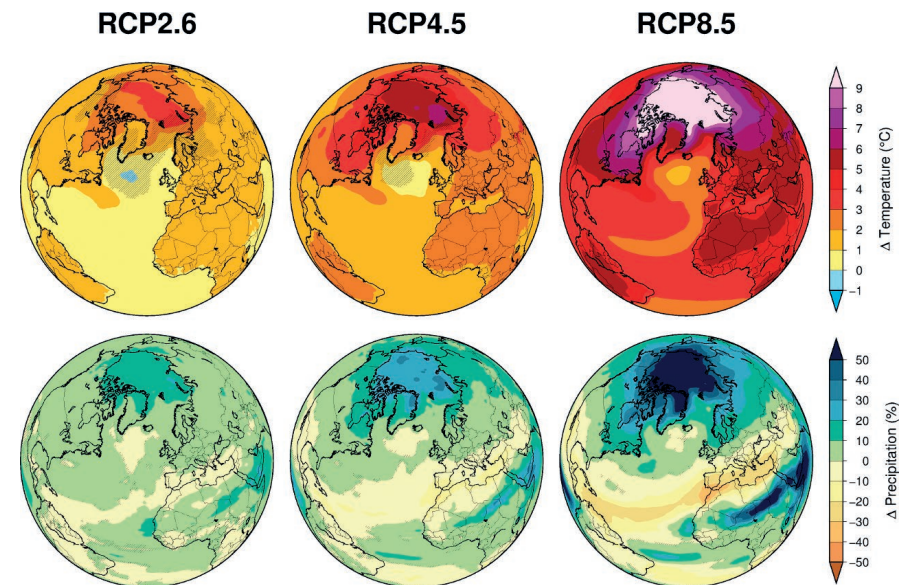
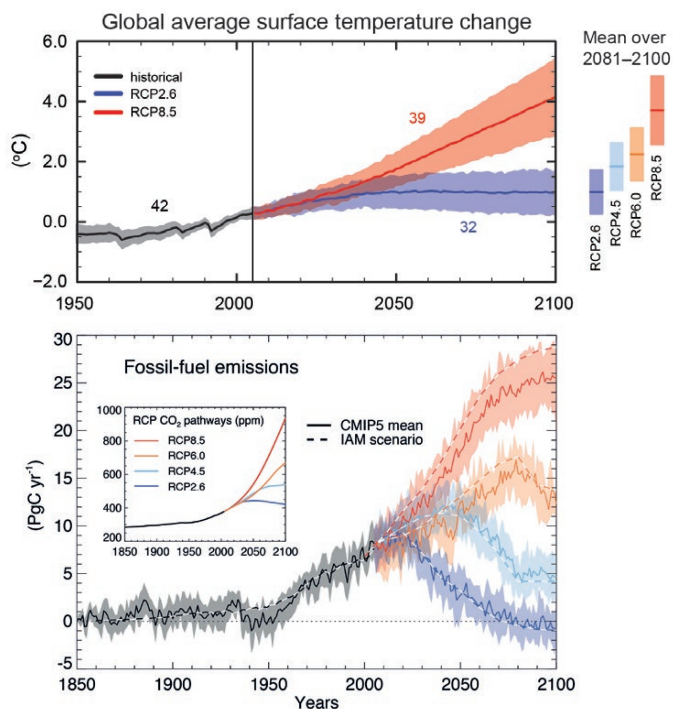
■ Wir benötigen für die Evaluierung der Modelle vor allem Langzeitmessungen, wie sie zum Beispiel vom DLR Earth Observation Center (EOC) und dem ESA-Programm „Climate Change Initiative“ (CCI) geliefert werden. Der Ausstoß der beiden wichtigsten Treibhausgase, Kohlendioxid und Methan, lässt sich in-situ, also direkt vor Ort in der Atmosphäre, oder mit Hilfe von Satelliten messen. Einen Durchbruch im Verständnis und bei der Analyse regionaler Methan-Emissionen erwarten wir in den kommenden Jahren, wenn 2020 die deutsch-französische Satellitenmission MERLIN starten wird. Zur Vorberei-

Auf der Pariser Klimaschutzkonferenz im Dezember 2015 haben sich 195 Länder erstmals auf ein allgemeines, völkerrechtlich verbindliches weltweites Klimaschutzübereinkommen geeinigt. Das Übereinkommen umfasst einen globalen Aktionsplan, der die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius begrenzen soll, um einem gefährlichen Klimawandel entgegenzuwirken. Dazu müssen insbesondere die Emissionen von Treibhausgasen so schnell wie möglich deutlich reduziert und in den folgenden Jahrzehnten auf Null zurückgefahren werden.

Diagramm oben:
Aktuelle Ergebnisse des Weltklimarats IPCC zur zukünftigen Entwicklung der globalen Oberflächentemperatur, abhängig von verschiedenen Emissionsszenarien (Representative Concentration Pathways, RCP). Dabei entspricht die blaue Kurve dem Zwei-Grad-Ziel, während die rote Kurve ein „Business as usual“, also ein „Weiter-so-Szenario“ darstellt.

Diagramm unten:
RCP und zugehörige atmosphärische Kohlendioxid-Konzentrationen (Inlays). Hervorzuheben ist, dass das Szenario RCP2.6, das dem Zwei-Grad-Ziel entspricht, in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts negative Emissionen erfordert, das heißt: Der Atmosphäre muss Netto-Kohlendioxid entzogen werden.

Quelle: IPCC 2013, AR5, Fig. SPM 7 und Fig. TS19



Klimamodellierung: Die drei Klimaszenarien zeigen den angenommenen Ausstoß von Treibhausgasen. Die Ausstoßmenge nimmt von RCP2.6 (Representative Concentration Pathways, RCP) nach RCP8.5 jeweils zu.

Die obere Zeile zeigt Änderungen der Zwei-Meter-Temperatur, wie sie für Ende des 21. Jahrhunderts (gemittelt über die Jahre 2090 bis 2099) im Vergleich zum Zeitraum 1986 bis 2005 berechnet wurden. In der unteren Zeile sind die dazugehörigen relativen Änderungen des Niederschlags gezeigt. Alle diese Ergebnisse sind Mittelwerte über insgesamt 26 verschiedene Klimamodelle der „CMIP5-Generation“, sogenannte „multi-model means“.

(Abbildung erzeugt mit ESMValTool, <http://www.esmvaltool.org/>).

tung dieser Mission wird von unserem Institut derzeit der MERLIN-Flugzeugdemonstrator „CHARM-F“ an Bord des Forschungsflugzeugs HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) im Rahmen von Messkampagnen eingesetzt. Dabei vermessen wir gezielt anthropogene und auch natürlich Methan- und Kohlendioxidquellen. Mit MERLIN werden wir dann aus 500 Kilometer Höhe einen globalen Datensatz erheben und unter anderem Methan-Emissionen überwachen, die aufgrund der Erderwärmung von Permafrostböden oder Ozeansedimenten freigesetzt werden.

Das Zwei-Grad-Ziel der Weltklimakonferenz von Paris ist eine große Herausforderung. Kann die Klimaforschung des DLR Deutschland bei der Umsetzung unterstützen?

■ Die Herausforderung für uns liegt darin, maximal wirksame Klimaschutzmaßnahmen bei minimaler Belastung der Wettbewerbsfähigkeit der Volkswirtschaft zu erreichen. In den entscheidenden Forschungsfeldern leistet das DLR bereits seit vielen Jahren signifikante Beiträge. Technologische Lösungen zur Vermeidung von Treibhausgasen bedeuten den Umbau des Energiesektors, der Industrie sowie des Luftfahrt- und Verkehrssektors. Da entsprechende Maßnahmen weitreichende volkswirtschaftliche Folgen haben werden, müssen sie zuvor nach bestem Stand der Wissenschaft und Technik evaluiert werden. Dies setzt ein tiefes Verständnis des Systems Erde voraus, insbesondere in Bezug auf seine Kohlenstoff- und Energieprozesse. Die naturwissenschaftlichen Grundlagen und Analyseverfahren werden durch unser Institut und die internationale Forschungsgemeinschaft stetig erweitert. Mit Satellitenmissionen wie MERLIN oder Tandem-L ist das DLR in der Lage, globale Klima- und Umweltbeobachtungssysteme für morgen aufzubauen. Solche Beobachtungssysteme sind unverzichtbar, wenn es darum geht, die Wirksamkeit und die Einhaltung von Klimaschutzmaßnahmen zu verifizieren. Darüber hinaus müssen natürlich auch die weiteren ökonomischen und sozialen Folgen von geplanten Maßnahmen betrachtet werden. Zusätzlich untersucht unser Institut die Klimawirkung von Verkehrs- und Luftverkehrsemissionen inklusive der klimatischen Effekte, die nicht auf den Kohlendioxidausstoß zurückzuführen sind (beispielsweise Kondensstreifen, Zirren oder Ozon), und arbeitet an Flugroutenoptimierungen. Die sich hieraus ergebende Kosten-Nutzen-Analyse wird mit alternativen Konzepten aus dem Bereich Design und Flugführung verglichen, um Reduktionspotenziale für die Klimawirkung des Luftverkehrs zu finden.



Professor Dr. Veronika Eyering ...
... leitet die Forschungsgruppe Erdsystemmodellevaluierung am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen und ist Professorin für Klimamodellierung am Institut für Umweltphysik an der Universität Bremen. Seit 2014 hat sie den Vorsitz des CMIP-Panels inne, ein Projekt des Weltklimaforschungsprogramms (WCRP), das weltweit Klimamodellsimulationen koordiniert. Am neuen DLR-Institut für Datenwissenschaften in Jena unterstützt Veronika Eyering aktuell den Aufbau einer Arbeitsgruppe zum Thema Klimainformatik.

CMIP – Coupled Model Intercomparison Project

CMIP startete vor 20 Jahren als Forscherinitiative, um die ersten globalen Klimamodelle miteinander zu vergleichen. Heute bündeln weltweit mehrere hundert Wissenschaftler ihre Expertise. Ziel von CMIP ist es, die vergangenen, gegenwärtigen und zukünftigen Klimaveränderungen besser zu verstehen. Um Modellergebnisse vergleichen zu können, erarbeitet CMIP unter anderem Standards für Simulationen, Datenformate und Auswertalgorithmen. Dadurch bekommen die Klimaforscher die Möglichkeit, ihre Erkenntnisse unmittelbar untereinander zu teilen, zu vergleichen und zu bewerten. Die Datenprodukte von CMIP stellen damit eine der wichtigsten Quellen für robuste und zuverlässige Klimainformationen dar.

CLEVERER TRANSPORT DER WAREN

In Deutschland wurden 2015 rund 2,96 Milliarden Pakete versendet. Ihre Anzahl steigt von Jahr zu Jahr weiter an – mit einer Zuwachsrate von sechs Prozent. Entsprechend wächst und verändert sich auch der Kurier-, Express- und Paketmarkt (KEP-Markt). Inzwischen hat sich die Auslieferung von Paketen in urbanen Räumen zum Engpass des E-Commerce entwickelt. Ein weiterer Anstieg des Paketvolumens wird noch mehr Druck auf die Paket-Dienstleister ausüben, vor allem aber Folgen für die betroffenen Innenstädte und die Umwelt haben. Im DFG-Projekt „KEP-City“ hat das DLR-Institut für Verkehrsforschung zusammen mit dem Institut für Transportlogistik der TU Dortmund simuliert, welche Auswirkungen eine Änderung in der Art und Weise der Paketzustellung in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht hätte.

Umweltfreundlich und günstiger: Pakete per Lastenrad

Von Tilman Matteis und Lei Zhang

Beim Einsatz von Lastenrädern mit einer Gesamtmasse von 370 Kilogramm wird die Paketauslieferung um rund 28 Prozent günstiger. Die gefahrenen Kilometer der Lieferwagen, die nach wie vor gebraucht werden, um die Pakete zu den Verteilstationen zu bringen, sinken um 22 Prozent. Das volle Potenzial der Lastenräder ist damit jedoch nicht ausgeschöpft. Die Anzahl und Platzierung der Umladepunkte kann noch immer optimiert werden. Dadurch lassen sich Kosten und Emissionen weiter reduzieren.

Schnelle Ergebnisse durch Simulation

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie wurden in einer Simulation erarbeitet. Mit Simulationsstudien können vor allem neue Belieferungskonzepte in einem größeren Stadtgebiet umfassend untersucht werden. Sie liefern schnelle Ergebnisse und erlauben es, die Effekte verschiedener Maßnahmen abzuschätzen. In weiteren Schritten können dann erfolgversprechende Lösungen im städtischen Raum vor Ort eingehender untersucht werden.

In der Simulationsstudie wurden die Effekte einer Umstellung der Paketbelieferung auf Lastenfahräder für einen Prognoseraum im Berliner Ortsteil Wilmersdorf untersucht. Aus öffentlich zugänglichen Daten wurde die Nachfrage nach Paketen an einem repräsentativen Wochentag synthetisiert. Die einzelnen Nachfrager wurden in Privathaushalte und gewerbliche Empfänger unterteilt. Gewerbliche Kunden waren Einzelhandel, Gastronomie, Verwaltung und Industrie. Einzelne Paketsendungen an diese Empfänger wurden den jeweiligen Paketdienstleistern zufällig gemäß deren Marktanteil zugeordnet.

Der Prognoseraum Wilmersdorf ist ein vergleichsweise dicht bebautes Berliner Stadtviertel mit einer Fläche von 5,6 Quadratkilometern und 80.416 Einwohnern. Dort sollte der größte Anbieter am KEP-Markt sich partiell auf Lastenfahräder umstellen. Bei diesem Unternehmen fallen an einem typischen Werktag 1.188 Pakete an Privathaushalte und 2.519 Pakete an gewerbliche Empfänger an.

Im Ausgangsszenario wurden alle Pakete mit Lieferwagen zugestellt. Alle Touren starten und enden an einem innerstädtischen Verteilzentrum des Paketdienstleisters. Pakete, die an Privathaushalte gehen, können teilweise nicht ausgeliefert werden und werden am Ende der Tour bei der nächstgelegenen Postagentur oder Packstation abgegeben.

Umladepunkte sind notwendig

Im Alternativszenario wurden Pakete in zwei verschiedenen Lieferkanälen ausgeliefert. Privathaushalte wurden weiterhin per Lieferwagen angefahren, Pakete an gewerbliche Kunden per Lastenrad zugestellt. Das liegt daran, dass tagsüber ein nicht zu vernachlässigender Anteil an Empfängern nicht zu Hause ist und deshalb keine Pakete annehmen kann. Die Sendungen, die nicht schon im Voraus von den Empfängern an eine Packstation umgeleitet wurden, müssen vom Zusteller wieder mitgenommen werden, was bei der begrenzten Ladekapazität von Lastenrädern zu Problemen führt.

Die Auslieferung per Lastenrad erfolgt zweistufig. In der ersten Stufe werden die Pakete vom Distributionszentrum per Lieferwagen zu Mikro-Umladestationen gebracht, wo sie auf Fahrräder verteilt werden. Kleinere Umladepunkte im Zustellbereich sind notwendig, da die Fahrräder mehrmals per Schicht neu beladen werden müssen und der Weg zum Distributionszentrum zu lang wäre.



Zur Warenverteilung in Städten eignen sich unterschiedliche Verkehrsmittel – sie müssen nicht immer vier Räder haben ...

Die Simulationen zeigen, dass der Kostenersparnis Grenzen gesetzt sind. Die Pakete müssen in allen Fällen vom Fahrzeug zur Türe des Empfängers gebracht werden. Hierfür stehen sowohl Lieferwagen als auch Lastenfahräder für längere Zeit am selben Punkt und der Fahrer entnimmt mehrfach Pakete. So gesehen sind ausschließlich seine Lohnkosten ausschlaggebend.

Trotz Kostenvorteil noch selten im Einsatz

Die Simulationen zeigen auch, dass Lastenräder – bei entsprechender Planung des Logistik-Netzwerks – eine sinnvolle Alternative zum Lieferwagen sind. Speziell in dicht besiedelten Gebieten, in denen eine Rückkehr zum Umladepunkt eine schnelle Wiederbeladung gewährleistet, kann das Lastenrad bei der Paketauslieferung an Gewerbegebiete das Verkehrssystem entlasten.

Überraschend ist dennoch, dass Lastenräder trotz ihrer ökonomischen und ökologischen Vorteile bisher nur in geringem Umfang genutzt werden. Die Förderung der Nutzerakzeptanz ist daher ein wichtiges Ziel des derzeit laufenden Großversuchs im Rahmen des Projekts „Ich entlaste Städte“, bei dem Nutzererfahrungen aus verschiedenen Branchen ausgewertet werden.

Tilman Matteis leitet im DLR-Institut für Verkehrsforschung das DFG-Projekt KEP-City. Lei Zhang befasst sich als Doktorandin im DLR mit der Güterverkehrsnachfrage in Berlin.



Unter welchen Umständen lassen sich Waren statt mit dem Auto besser per Lastenrad transportieren?

„Ich entlaste Städte“

Im Projekt „Ich entlaste Städte“ können Unternehmen und Einrichtungen Lastenräder testen und sich bundesweit für eine Testteilnahme bewerben. Durch das Angebot soll bei einem breiten Kreis von gewerblichen Nutzern ein Bewusstsein für das Lastenrad als alternatives Transportmittel geschaffen werden. Hierfür stehen mindestens 150 Lastenräder und mehr als 15 verschiedene Modelle zur Verfügung. Während der zweijährigen Testphase erfolgt eine Begleitforschung zur Nutzerakzeptanz und zur Abschätzung von Umwelt- und verkehrlichen Wirkungen. Weitere Informationen: www.lastenradtest.de



Lage der Kunden, Umladestellen und des Distributionszentrums im Prognoseraum Wilmersdorf

UMWELTSATELLIT SENTINEL-5P WACHT ÜBER UNSERE ATMOSPHÄRE

Bild: ESA/Stephane Corvaja, 2017



Sentinel-5P ist der erste Copernicus-Satellit, der die Atmosphäre beobachtet. Das Messinstrument TROPOMI untersucht zahlreiche Spurengase und ihre Auswirkungen auf die Luftqualität und unser Klima.

Sentinel-5P ist der erste Satellit des europäischen Copernicus-Erdbeobachtungsprogramms, der potenziell gefährliche Spurengase in der Erdatmosphäre (wie Stickstoffoxid, Ozon, Formaldehyd, Schwefeldioxid, Methan und Kohlenmonoxid) über einen langen Zeitraum nachweist und dokumentiert. Der europäische Erdbeobachtungssatellit startete am 13. Oktober 2017 vom nordrussischen Raumfahrtzentrum Plesetsk an Bord einer Rockot-Trägerrakete ins All. Weitere Fragen, die er beantworten soll, gelten globalen und regionalen Feinstaubkonzentrationen, den Ursachen von Veränderungen der Atmosphäre und deren Auswirkungen auf Klima, Luftqualität und Gesundheit der Menschen. Sentinel-5P schließt bei der Messung von Spurengasen die Lücke zwischen dem europäischen Umweltsatelliten ENVISAT und Sentinel-5. Sentinel-5P – das P steht dabei für „Precursor“, also Vorläufer. Bis 2030 soll das Umweltüberwachungsprogramm 20 Erdbeobachtungssatelliten umfassen.

Der rund 820 Kilogramm schwere Satellit arbeitet in 824 Kilometer Höhe. Mit einem Sichtfeld von 2.600 Kilometern, knapp 1.000 hochauflösenden Spektralkanälen und einer hohen räumlichen Auflösung wird er unseren gesamten Planeten kartieren und setzt auch technisch neue Standards: Das Instrument TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument) misst im ultravioletten, sichtbaren, nahen und kurzwelligen infraroten Wellenlängenbereich. Die Produkte zu diesen Spurengasen werden im Copernicus-Atmosphärendienst eingesetzt, um auch Daten hinsichtlich regionaler Luftverschmutzung bereitzustellen.

s.DLR.de/1evb

ALTERNATIVES NAVIGATIONSSYSTEM MACHT SEEVERKEHR SICHERER



Ein geplantes Testfeld in der Ostsee umfasst mit 50.000 Quadratkilometern ein breites Spektrum anspruchsvoller Gebiete für den maritimen Verkehr. Auch der Fährverkehr in der Ostsee würde von dem alternativen Navigationssystem profitieren.

Für mehr Sicherheit auf See startete im Oktober 2017 das Projekt R-Mode Baltic. Unter Federführung des DLR entwickeln Experten ein bodengebundenes maritimes Positionierungssystem. Es ist als Alternative zu den globalen Satellitennavigationssystemen gedacht, wenn es bei diesen zu Störungen oder gar Ausfällen kommt. Mit dem Aufbau eines R-Mode-Testfelds im südlichen Teil der Ostsee soll die technologische Realisierbarkeit demonstriert werden. In dem Projekt arbeiten Industrie, maritime Administrationen und Forschungseinrichtungen zusammen.

Mit Hilfe von Satelliten können Schiffe auf hoher See ihren Standort auf wenige Meter genau bestimmen. Insbesondere im küstennahen Bereich, in Häfen und in der Nähe von Offshore-Windanlagen und Ölplattformen ist es wichtig, dass genaue Positionsinformationen permanent zur Verfügung stehen. Eine Störung oder gar ein Ausfall des verwendeten Navigationssystems, beispielsweise infolge von Veränderungen der Signalausbreitung in der Ionosphäre, wie sie etwa bei erhöhter Sonnenaktivität auftreten, aber auch vom Menschen verursachte Interferenzen mit globalen Satellitennavigationssystemen (GNSS) können schwere Folgen haben. Um diese zu vermeiden, modifizieren die Experten an der Ostseeküste von Deutschland, Polen, Schweden und Dänemark vorhandene differenzielle GNSS-Referenzstationen (DGNSS) sowie Basisstationen, die auf dem Funksystem AIS (Automatisches Identifikationssystem) beruhen. Dadurch sind die Funkstationen in der Lage, zusätzlich zu den abgestrahlten Kommunikationssignalen das neue R-Mode-Signal auszusenden. Eine Herausforderung wird die zeitliche Synchronisation über große Distanzen hinweg. In einem abschließenden Demonstrationsversuch müssen mehrere, mehr als 100 Kilometer entfernte R-Mode-Sendestationen zeitlich aufeinander abgestimmt werden.

s.DLR.de/4581

DLR-KNOW-HOW FÜR DIGITALE PRODUKTENTWICKLUNG

Computergestützte Modelle und Simulationen sind aus der Produktentwicklung nicht mehr wegzudenken. Um speziell kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bei der Digitalisierung und virtuellen Entwicklung neuer Produkte zu unterstützen, hat das DLR-Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik das „Systems and Control Innovation Lab“ (SCIL) gegründet. Hier bekommen die Betriebe Zugang zu den neuen Entwurfstechnologien und Software-Tools für die Modellierung, Steuerung und Regelung komplexer mechatronischer Systeme. Durch die Anwendung von nicht standardmäßig verfügbaren nichtlinearen und robusten Regelkonzepten, wie sie am Institut entwickelt werden, können technische Systeme verschiedenster Art effizienter, sicherer und kostengünstiger betrieben werden. Die Verfügbarkeit von Experten in den diversen Gebieten der Systemdynamik und Mechatronik ermöglicht den Partnern Zugang zum aktuellsten Wissen.

Die STREICHER Gruppe, ein international agierendes Unternehmen im Bereich Bauwesen, Maschinen- und Anlagenbau, nutzt das SCIL bereits als Plattform für die gemeinsame Forschung und Entwicklung. Die Themen reichen von simulativen Machbarkeitsstudien bis hin zur Entwicklung von Trainingssimulatoren sowie der digitalen Analyse der Produkte. Dabei hilft ihnen beispielsweise ein digitaler Zwilling, die Auswirkungen von verschiedenen Design-Alternativen zu erforschen und Simulationen und Tests durchzuführen. Der digitale Zwilling ist ein rechnerbasiertes Abbild der realen Maschine, das gleichzeitig mit dieser erstellt und erweitert wird. So lässt sich sicherstellen, dass die Produktentwürfe die Anforderung erfüllen.



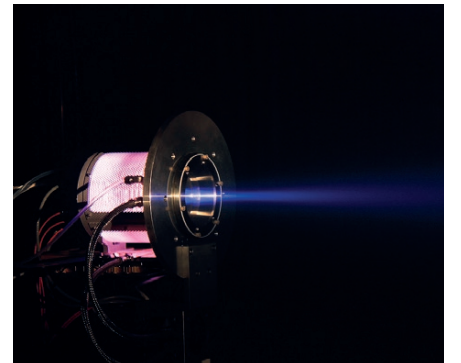
Das DLR-Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik gründete in Oberpfaffenhofen das „Systems and Control Innovation Lab“, kurz SCIL.

s.DLR.de/2j1b

ELEKTRISCHE RAUMFAHRT- ANTRIEBE MADE IN GERMANY

Elektrische Antriebe gelten als besonders zukunftssträchtige Raumfahrttechnologie. Sie haben zwar weniger Schubkraft, dafür aber eine deutlich höhere Treibstoff-Effizienz als herkömmliche chemische Triebwerke. Deshalb fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) deren Entwicklung über das Raumfahrtmanagement im DLR, nun auch mit kommerziellem Erfolg: Die ArianeGroup hat einen ersten Produktionsauftrag für Flugsätze des elektrischen Antriebssystems RIT 2X für Boeing Telekommunikations-Satelliten erhalten. Die Antriebssysteme werden von der ArianeGroup in Lampoldshausen entwickelt, gefertigt und getestet. Satelliten können damit erheblich leichter und langlebiger werden. Andererseits lassen sich die Nutzlasten bei weniger Treibstoffmasse steigern. Elektrische Triebwerke sind also besonders für interplanetare Langzeitmissionen oder für leistungsfähige Kommunikationssatelliten von Interesse.

Anders als bei chemischen Antrieben, bei denen die Energie im Treibstoff gespeichert ist, stammt bei elektrischen Antrieben die Energie aus den Solarzellen des Satelliten. Radio-Ionen-Triebwerke, kurz RIT, nutzen elektromagnetische Wellen im Radiofrequenz-Bereich, um das Antriebsgas (Xenon) zu ionisieren, also elektrisch aufzuladen. Anschließend wird das ionisierte Gas durch ein unter hoher elektrischer Spannung stehendes Gitter beschleunigt. Dadurch erfährt der Satellit einen Stoß und wird in die gewünschte Richtung angetrieben. Für diesen Vorgang benötigen die Triebwerke eine anspruchsvolle Kombination aus hohen Spannungen und hohen Strömen, die von der Stromversorgungseinheit zur Verfügung gestellt wird.

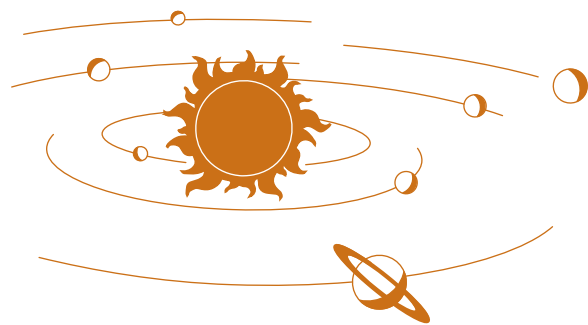


Test eines Radiofrequenz-Ionen-Triebwerks (RIT) beim DLR

s.DLR.de/uens

EINSEN UND NULLEN FÜR „WOW“-MOMENTE

Bilder, Karten, Atlanten, Globen und detaillierte Informationen zu den meisten Planetenmissionen: Das bietet das Institut für Planetenforschung mit dem Fundus der Regional Planetary Image Facility (RPIF). Die RPIF ist eine Einrichtung der NASA für den deutschsprachigen Raum. Was in ihr schlummert, ist gewissermaßen exorbitant: Bilder aus Raumfahrt und Planetenforschung in Nullen und Einsen für jedermann.



Die Regional Planetary Image Facility (RPIF) – eine etwas andere wissenschaftliche Einrichtung

Von Ulrich Köhler

Raumfahrt ist Gegenwart und Zukunft zugleich, so heißt es. Freilich hat sie längst auch Geschichte geschrieben. Eben erst jährte sich der Flug des ersten menschengemachten Satelliten, Sputnik 1, zum sechzigsten Mal. Bald wird es fünfzig Jahre her sein, dass Bewohner dieses Planeten erstmals ihren Fuß auf den Mond und damit auf einen anderen Himmelskörper setzten, 1969 war das. Zu diesem Ereignis hat jeder mindestens ein, zwei Fotos vor Augen. Sie sind zeitgeschichtliche Dokumente der Extraklasse, Legende, Ikone, Mythos. Nur mit einiger Anstrengung allerdings gelingt es uns, für die Zukunft Bilder zu entwerfen: In unserem Kopf ist die Zukunft noch imaginär. Aber selbst da steckt bereits „imago“, das Bild, im Wort. Die Gegenwart jedoch flutet Augen und Gehirn mit Bildern, jede Stunde des Tages, in der wir wach sind. Visual overkill, 7/24. Und die Vergangenheit? In unseren Köpfen spielt sie sich in einer Kombination aus Gedanken und Schrift ab – und vor allem: als Bild. Archive, oder wie gleich gezeigt, die Planetare Bildbibliothek des DLR, sind das Gegenteil des Hamsterrads der heutigen visuellen Reizüberflutung. Hier ruht das Bild und wartet, von interessierten Zeitgenossen angefordert zu werden. Der mit der Materie Befasste weiß: Es ist da, wenn es gebraucht wird.

Wer weiß, welchen Kurznachrichtendienst Neil Armstrong heute nutzen würde, um direkt von der Leiter des Mondlandemoduls nahezu in Echtzeit einen „gewaltigen Sprung“ seinen Followern zu vermelden. Sicher ist nur, dass wie bei jedem zeitgeschichtlichen Ereignis Bilder eine Hauptrolle spielen. Sie werden aufgehoben, gesammelt, archiviert – damals in der Schublade, im Stahlschrank, in säurefreier Umgebung, heute im Datenschränk, in der „Wolke“ oder wenigstens auf dem Smartphone oder PC ...

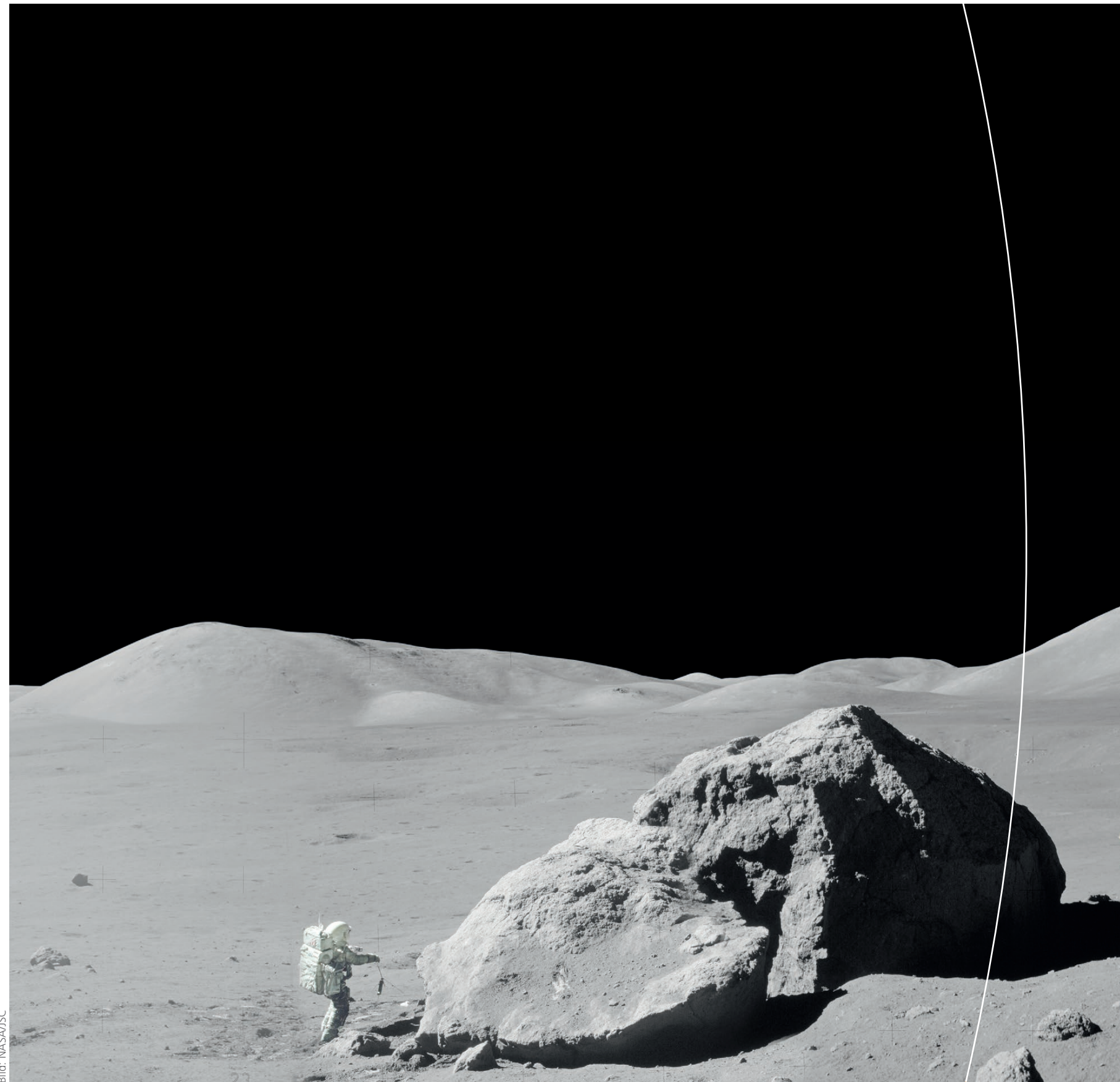


Bild: NASA/JSC

Raumfahrt, Mensch und Wissenschaft – es sind immer wieder diese weltberühmten Bilder der Apollo-Mondlandungen, die bei der Planetaren Bildbibliothek im DLR angefragt werden. Eines der berühmtesten zeigt den Geologen und Astronauten Jack Schmitt am Felsen „Tracy's Rock“ nahe der Apollo-17-Landestelle.

Data Manager und Diplom-Bibliothekarin Susanne Pieth mit RPIF-Direktor Professor Ralf Jaumann – sie hüten in der Planetaren Bildbibliothek einen Schatz an historischen Bilddokumenten aus den Pionierzeiten der Exploration des Sonnensystems, wie zum Beispiel mehrere hundert Erstkopien der Mondaufnahmen der fünf Lunar-Orbiter-Sonden aus den Sechzigerjahren



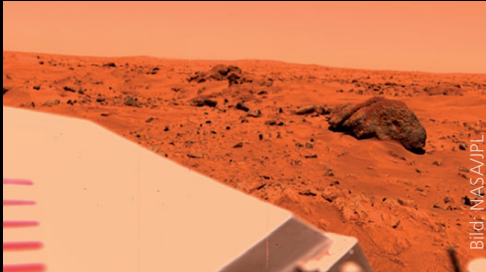
Globensammlung: vom Merkur bis zu den Jupitermonden



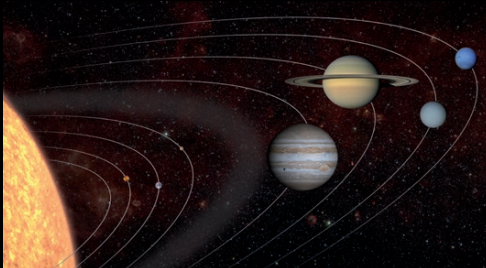
Die Voyager-Zeit: Jupiters Großer Roter Fleck



Bildsensation des Jahres 1976: Viking landet auf dem Mars



Alle Bilder, vom Merkur bis zum Neptun – und Pluto



Fotodokumente intensiven Experimentierens auf dem Mond: 360-Grad-Panoramen von den Landestellen



Als das Sonnensystem ein Gesicht bekam

Bilder der Planeten und vieler anderer Körper des Sonnensystems sammeln und dokumentieren die raumfahrenden Nationen in professionellen Archiven. Sie bieten damit der Wissenschaft über Jahrhunderte eine umfangreiche Datengrundlage zu jeder einzelnen Mission. Doch von diesen Datenmengen der Raumfahrt, die wohl schon immer mit dem Begriff der Big Data verbunden ist, sehen wir allgemein hin wenig bis nichts. Die Ergebnisse dieser Forschung indes werden heute mehr denn je einem breiten Publikum zugänglich gemacht. Die Schnittstelle der Daten zur deutschsprachigen Öffentlichkeit befindet sich in drei Büroräumen im dritten Stock des Instituts für Planetenforschung des DLR in Berlin-Adlershof.

Bilder haben uns das Raumfahrtzeitalter ins Wohnzimmer gebracht, damals, in den Pionierzeiten der Sechziger- und Siebzigerjahre. Anfangs nur eine Sache für Spezialisten, fanden in jenen Jahren auch die ersten Missionen zu unseren Nachbarplaneten statt, zur Venus und zum Mars. Wir Menschen sahen dort dann auf einmal viel mehr als beim stark begrenzten Blick durchs Teleskop. Der damaligen UdSSR gelang es 1959 als erste, den Mond von „hinten“ zu fotografieren, mit überraschenden Ein-Sichten. Aber das waren alles keine großen Medienereignisse. Technisch bedingt waren die Bilder noch grob, von dürrtiger Auflösung, nicht wirklich Hingucker.

Das änderte sich 1976. Die NASA landete mit zwei Raumsonden namens Viking auf dem Mars und beobachtete den Planeten mehrere Jahre mit den gleichnamigen Orbitern aus der Umlaufbahn. In hoher Auflösung, in Farbe. Gestochen scharfe Bilder aus einer „Neuen Welt“. Tausende „Wow!“-Momente. Die NASA hielt mit den Bildern keineswegs hinterm Berg. Es war die Zeit der Magazine und Journale, das gedruckte Bild war neben dem zunächst nur langsam bedeutender werdenden Fernsehen das Kommunikationsmittel der Wahl: LIFE, Time Magazine, Paris Match, Stern – und für alles Geografische und die Natur das berühmte gelbe Monatsheft der National Geographic Society, später fast dasselbe in Grün hierzulande: GEO.

Die Macht der Bilder – auch im Weltraum

Raumfahrt übte in diesen Jahren eine unglaubliche Faszination aus. Die NASA feierte große Erfolge. Die UdSSR anfangs auch, vor allem an der Venus. Dort gelangen ihr unter dem für Kameras undurchdringlichen Wolkenschleier sogar mehrere Landungen. Die sensationellen Bilder konnte man allerdings gewissermaßen an zwei Händen abzählen, zu restriktiv wurde zu diesen Zeiten dort damit umgegangen. Vor allem aber waren es die sechs Apollo-Flüge zum Mond, die uns in ihren Bann zogen. Die NASA wusste um die Kraft der Bilder und schnallte all ihren Moonwalkern eine schwedische Hasselblad vor die Brust (mit deutscher Optik, von Zeiss); den beratenden Geologen brachten die Bilder reiche wissenschaftliche Beute.

Hunderte von brillanten Aufnahmen der zwölf Astronauten zeigten, wie es auf unserem Trabanten aussieht. Ikonen der Menschheitsgeschichte sind darunter, wie Buzz Aldrins berühmter Fußabdruck im Mondstaub. Diese Fotos, die erwähnten Farbbilder vom Mars, bald übertroffen von den ersten Nahaufnahmen des Jupiter (Pioneer 11 und 12, vor allem aber

Weltweit 16 planetare Bildbibliotheken

Heute gibt es 16 RPIFs, davon befinden sich neun in den USA, vier in Europa und je eine in Kanada, Japan und Israel. Direktor der deutschen RPIF ist Professor Ralf Jaumann vom DLR-Institut für Planetenforschung, betreut wird die Einrichtung von Susanne Pieth und Marianne Weiland. Die einzelnen Bildbibliotheken sind über das Planetary Data System (PDS) der NASA vernetzt und bieten umfangreiche Recherchemöglichkeiten in dessen Datenbanken. Doch trotz Internet, Big Data und digitaler Archive können viele Aufgaben nach wie vor nur durch „echte“ Personen vor Ort und nicht nur virtuelle Präsenz bewältigt werden. Denn nur sie wissen, wo die wahren historischen Schätze in den Tiefen ihrer Bestände zu finden sind ... Und fast alles, was die RPIF vermittelt, kostet nichts, allenfalls eine Aufwandsentschädigung für Druck oder Vervielfältigung.

Voyager 1 und 2 im Jahre 1979) und der Welt des Saturn (Pioneer 11 und wiederum die beiden Voyager, 1980 und 1981), – sie prägten eine kleine Epoche, in der die Menschheit keine Grenzen zu kennen schien.

Doch wo gibt es diese Bilder und wer pflegt sie?

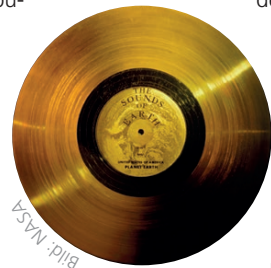
Die NASA wurde Ende der Siebzigerjahre immer stärker von Anfragen der Medien, der Schulen, der Universitäten, der breiten, interessierten Öffentlichkeit, der Planetarien und Museen bedrängt. Und so gründete sie zunächst in den USA einige regionale Bildbibliotheken und Datenzentren, in denen solche Anfragen schnell und unbürokratisch bearbeitet wurden. Die NASA wusste um ihre Verpflichtung, die Bevölkerung am Abenteuer Raumfahrt teilhaben zu lassen – denn es ist ja immer auch „taxpayer's money“, Steuergeld, das sich mit jeder Rakete auf die Millionen Kilometer langen Reisen durchs Sonnensystem aufmacht. Das System der Data Center erfuhr großen Zulauf. Schließlich wollte die NASA sich nicht auf die heimische Bevölkerung beschränken, sondern erkannte: Die Produkte der NASA sind irgendwie auch ein Exportschlager.

Bilder von Mars, Jupiter, Saturn ... ein Exportschlager der NASA

Die Amerikaner suchten Partner für ihr System von Bildbibliotheken und fanden sie – in Europa, in Japan, in Israel und in Kanada. Verträge wurden geschlossen, ein Netzwerk geknüpft. Jeweils für eine bestimmte Region zuständig, nannten sie die Datenzentren nun RPIF: Regional Planetary Image Facility. Auch in Deutschland sollte es eine RPIF (ausgesprochen „Arpiff“) geben. Im Herbst 1985 wurde ein Abkommen zwischen NASA und DLR geschlossen. Die Gründung der deutschen RPIF fand damals in der winzigen Abteilung Planetare Erkundung am ehemaligen Institut für Optoelektronik in Oberpfaffenhofen statt.

Aus der Abteilung, geleitet vom charismatischen Planetenforscher Gerhard Neukum, die in Oberpfaffenhofen teilweise in zugigen Containern so erfolgreiche Experimente wie die High Resolution Stereo Camera für die Mission Mars Express entwickelte, ist inzwischen ein Institut mit fast 150 Mitarbeitern geworden. Und die kleine RPIF ist mitgewachsen und bedient in vier großzügigen Räumen auf 200 Quadratmetern den gesamten deutschsprachigen Raum. Als aktivste RPIF außerhalb der USA, beantwortet sie längst auch Anfragen aus ganz Europa und von anderen Kontinenten. Für die Besucher und Mitarbeiter vor Ort verfügt sie über eine ordentlich bestückte Präsenzbibliothek.

Ein besonderer Schatz der Bildbibliothek sind Bildmosaiken, wie topografische und thematische Kartenwerke aller Planeten und Monde des Sonnensystems, für die meisten Körper gibt es auch Globen. Wissenschaftshistorisch hervorzuheben sind beispielsweise ein kompletter Satz von mehreren tausend Erstkopien der Viking-Missionen zum Mars und vor allem die großformatigen Lunar Orbiter-Aufnahmen, mit denen 1967 bis 1969 die Landungen des Apollo-Projekts geplant wurden. Alles analog. Einzigartig war auch die Sammlung an Kleinbild Dias, die in der prähistorischen Vor-Powerpoint-Zeit ein halbes Dutzend Schränke füllten. Dann kam die Digitalisierung und all die Bilder der Viking- und Voyagerzeit wurden in Einsen und Nullen gewandelt und in eine Bilddatenbank eingespeist. Dafür gibt es jetzt in der RPIF deutlich mehr Platz für Tische, um auf ihnen einen der mächtigen Atlanten des Sonnensystems zu wälzen.



Sternstunden für Ausstellungsbesucher und Betrachter von Bildbänden

Vor allem ist die RPIF alles andere als ein passives Archiv, das nur auf Interessierte wartet. Sie sieht sich vielmehr als Multiplikator des umfangreichen Wissens um Planeten, Monde, Asteroiden und Kometen im DLR und trägt dies in Wort und Bild auch nach außen. Jedes Jahr lassen sich Schüler von Vorträgen der DLR-Wissenschaftler in den Räumen der RPIF begeistern. Für das „Jahr der Astronomie“ 2009 wurde die vom Gasometer Oberhausen gemeinsam mit dem DLR gestaltete Ausstellung „Sternstunden – Wunder des Sonnensystems“ von der RPIF bebildert. Nahezu eine Million Menschen staunten über diese nicht nur wissenschaftlich wichtigen, sondern auch ästhetisch wertvollen Motive. Im vergangenen Jahr war es die Ausstellung „Kometen – Die Mission Rosetta“ im Museum für Naturkunde Berlin; wieder viele hunderttausend Besucher. Unübertroffen aber „Das neue Bild vom Nachbarn Mars“: Die DLR-Ausstellung wurde seit 2005 von mehr als drei Millionen Menschen auf der ganzen Welt gesehen, mit 3D-Brillen auf der Nase und dem Mars fast zum Greifen nah. Didaktisch das wertvollste Produkt ist jedoch die mittlerweile 120-seitige Broschüre „Unser Sonnensystem“, die bald in vierter Auflage erscheint, kostenlos bei DLR-Veranstaltungen verteilt wird und im Astronomie-Unterricht an deutschen Schulen ein Renner ist. Jedes Jahr beim Jahrestreffen der RPIFs in den USA können die Berliner also der NASA vermelden: mission accomplished!

Ulrich Köhler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am DLR-Institut für Planetenforschung und für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig – und nicht zuletzt deshalb der „beste Kunde“ der RPIF im eigenen Haus.

KATHEDRALE DER KOSMONAUTIK

Nostalgie und Moderne im Raumfahrtmuseum in Moskau

Von Manuela Braun



Es ist, als ob man einen Kirchenraum betritt. Geradeaus, im Halbdunkeln steht, von weichem Licht umstrahlt, Yuri Gagarin. Mit sechs Metern überlebensgroß, die Arme raumgreifend ausgestreckt, den Kosmonauten-Helm auf dem Kopf. Hinter der mächtigen Bronzestatue leuchten farbige Glasmalereien. Fast übersieht man bei diesem Anblick, was da so rechts und links – ebenfalls wirkungsvoll angestrahlt – noch ausgestellt wird. Das Raumfahrt-Museum in Moskau ist nicht einfach nur ein Museum – nein, es verkörpert den Stolz der Russen auf ihre Pioniertaten in der Raumfahrt: Das erste Piepen eines Satelliten im All 1957 stammte vom russischen Sputnik. Mit den Hunden Belka und Strelka kehrten 1960 erstmals Lebewesen lebendig von einem Flug in der Erdumlaufbahn zurück. Und schließlich gelang es Russland 1961, mit Yuri Gagarin den ersten Menschen im Weltall einmal um die Erde zu schicken.

Eröffnet wurde das „Memorialmuseum der Kosmonautik“, wie die Russen es nennen, 1981 zum 20. Jubiläum dieses ersten bemannten Fluges ins All. Damals gab es nur einen Ausstellungssaal auf 800 Quadratmetern mit gut 100 Exponaten. Ziemlich klein für so eine große Raumfahrtation – 2006 schloss das Museum daher für einen Umbau und eröffnete 2009 seine Schau neu. Diesmal mit einer Ausstellungsfläche von beeindruckenden 4.000 Quadratmetern und mehreren tausend Exponaten. Das Ziel, die Großartigkeit des Weltraums nachzuzeichnen, sei erreicht, sagte der damalige Bürgermeister Moskaus, Juri Luschkow, zur feierlichen Wiedereröffnung. Wobei das Raumfahrt-Museum dann doch weniger den Weltraum an sich als großartig darstellt, sondern vielmehr die russischen Errungenschaften würdigt.

Mit dem Audio Guide durch eine ganz eigene Welt

Und so werden im ersten Ausstellungssaal unter den Augen Gagarins auch ausgiebig – und zu Recht – die „Anfänge des Raumfahrt-Zeitalters“ ins Licht gerückt. Mit Stolz und etwas pathetisch klingt die deutsche Stimme aus dem tragbaren Kopfhörer, den man sich am Eingang unbedingt für 150 Rubel, also rund zwei Euro, leisten sollte. Einige Exponate haben zwar eine englische Beschriftung, doch fällt diese meist kürzer aus als die russische Erläuterung – und oftmals fehlt sie ganz. Auch der Audio Guide flüstert dem Besucher nur zu ausgewählten Exponaten Informationen ins Ohr, doch kann man so immerhin die wichtigsten Ausstellungsstücke einordnen. Die kleinen Vitrinen hingegen, in denen kleinteilig und liebevoll handgeschriebene Notizen, Schwarz-Weiß-Fotografien und beispielsweise historische Kameras ausgestellt werden, bleiben weiterhin ein Rätsel, sind aber nett anzuschauen.



Aufbruch ins All – auch als steinernes Monument auf dem Museumsdach



Landung in eisiger Einöde – mit Puppen im Kosmonautenanzug am künstlichen Feuer und einer Soyuz-Kapsel zeigt das Museum, dass Raumfahrer auf alles vorbereitet sein müssen

Rechts im ersten Saal schimmert in Augenhöhe das blankpolierte 1:1-Modul der ersten Mondsonde Luna-1. Eigentlich – aber das verraten weder Beschriftung noch Audio Guide – hätte sie zwei Tage nach dem Start 1959 auf dem Erdtrabanten aufschlagen sollen. Doch stattdessen rauschte Luna-1 in 6.000 Kilometer Entfernung am Mond vorbei und wurde so zur ersten Sonde, die in die Sonnenumlaufbahn einschwenkte. Ihr letztes Signal empfangen die Russen aus 600.000 Kilometer Entfernung. Auf der anderen Seite der abgedunkelten Halle leuchtet metallisch-silbern Sputnik 1. Auch ein Modell von Sputnik 2, der die Hündin Laika 1957 ins All brachte, ist vertreten. Der Text des Museums bleibt denkbar kurz und sachlich – dass eine Rückkehr der Hündin und somit ihr Überleben von vornherein nicht vorgesehen war, bleibt unerwähnt, ebenso wie der Flug verlief. Und so fehlen leider ein wenig die Geschichten zur Raumfahrt-Historie. Stattdessen setzt das Museum auf Fakten und technische Angaben. Es sei denn, es geht um die Pioniere wie Yuri Gagarin oder auch den Raketen- und Raumschiffkonstrukteur Sergei Pawlowitsch Koroljow.

Die tierischen Helden der Raumfahrt

Eine deutsche Schulgruppe drängelt sich um Sputnik 5, die Kapsel, in der die Hunde Belka und Strelka sowie Mäuse, Ratten und Pflanzen um die Erde kreisten. Neben dem verbeulten Original-Raumschiff sind in zwei Glasvitrinen die tierischen Kosmonauten ausgestellt. „Sind das Modelle?“ – Der Museumsführer fragt schnell beim Personal nach. Nein, die beiden Hunde wurden nach ihrem Tod ausgestopft und stehen nun als Ausstellungsstücke und Helden der Raumfahrt hinter Glas vor Staub geschützt im Raumfahrt-Museum. Immerhin erklärt die Beschriftung: Für die Hunde gab es einen kleinen Bereich mit automatischer Füttermaschine, Toilette und Ventilationssystem. Der Audio Guide erläutert noch, dass man die beiden Straßenhunde auch ausgewählt hatte, weil sie vor der eingebauten Kamera im Raumschiff aufgrund ihrer Fellfarbe gut erkennbar und einfach zu unterscheiden waren.

Ihr Flug und ihre weiche Landung waren die Nagelprobe für den ersten bemannten Raumflug und kamen somit Yuri Gagarin zu Gute. Strelka kam später erneut zu Ruhm und Ehre: Einer ihrer sechs Welpen wurde von Nikita Sergejewitsch Chruschtschow, dem einstigen Regierungschef der Sowjetunion, an die Tochter des US-Präsidenten John F. Kennedy verschenkt – und bekam selbst wiederum Nachwuchs.

Raumanzüge, Trainingsgeräte und Matroschkas

Schon die erste Halle hat so viele Exponate mit historischem Flair, dass man bei einem zu kurz geplanten Aufenthalt im Raumfahrt-Museum jetzt in Unruhe verfallen müsste. Auf den nächsten Raum könnte man noch am ehesten verzichten – die Hauptattraktion ist dort das nachgebaute Büro von Raketenkonstrukteur Koroljow. Ein alter Schreibtisch vor einer Wandtafel, darauf zwei Telefonapparate und die Hauptfigur im schicken Anzug mit energischer Geste. Doch spätestens wenn man den nächsten Raum betritt und auf einer Empore ankommt, geht der Blick auf Vitrinen, Raumanzüge, Trainingsgeräte für den Flug ins All, ein Modell von zwei andockenden Soyuz-Raumschiffen, Experimente wie die Matroschka-Puppe, mit der das DLR die Strahlungsbelastung der Astronauten auf der ISS untersucht, und – eine Etage tiefer gelegen – Raketen wie die Saturn V oder das Buran-Raumschiff. Aus dem fast schon sakral anmutenden dunklen Hauptraum mit den Reliquien der Pionierzeit der Kosmonautik geht es nun im hell ausgeleuchteten Bereich weiter.

Die verschiedenen Ebenen sind wichtig und notwendig: Auf der oberen Etage blickt man in das Wohnmodul einer Soyuz-Rakete, auf der unteren Etage ist das Landemodul zu besichtigen. Der obere Teil diente einst zu Trainingszwecken, das Lande-Modul mit seiner angebrannten Oberfläche war sogar tatsächlich im Weltraum. Der Clou daran: Es ist noch funktionsfähig und könnte, entsprechend vorbereitet, wieder ins All reisen. Mehrere Meter hoch ist das gesamte Raumschiff, mit einem Durchmesser von etwa 2,70 Metern.



Einige Ausstellungsmeter weiter ist eine kleine Szene aufgebaut, in der sich drei Kosmonauten-Puppen nach einer Landung im Schnee am Feuer wärmen. Hinter ihnen liegt die Landekapsel. Im Raumfahrer-Museum vermischt sich dies immer wieder: historische Stücke in Originalgröße, beeindruckende Modelle und schließlich etwas altmodisch aufgebaute Szenen mit Puppen, die man in einem modernen Museum nicht mehr erwartet. Gerade das verleiht dem „Memorialmuseum für Kosmonautik“ aber auch seinen ganz eigenen Charme.

Wohnen wie die Kosmonauten

Ein Highlight der Ausstellung auf dieser oberen Ebene ist sicherlich der Basisblock der russischen Raumstation MIR. Wie sieht eigentlich eine richtige Weltraum-Toilette aus? An welchem Tisch schweben die Kosmonauten beim Essen und wo ist ihr Schlafzimmer? Über einen Steg geht es ins Innere der Kosmonauten-Wohnung, deren Original von 1986 bis 2001 um die Erde kreiste, bevor sie schließlich beim Wiedereintritt in die Atmosphäre verglühte.

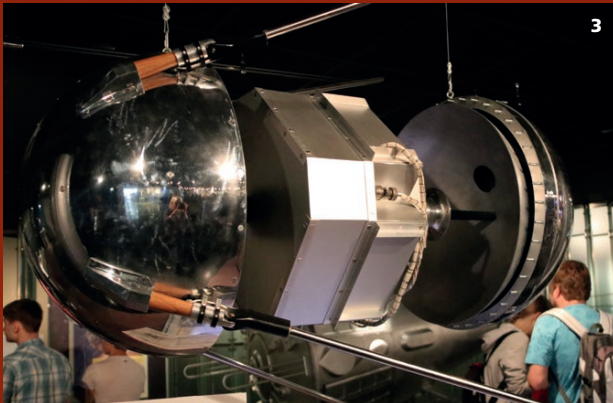
Bei den übrigen Ausstellungsstücken bleibt einem kaum etwas anderes übrig, als fürs nähere Betrachten eine Auswahl zu treffen. Die englischen Beschriftungen fehlen gerade bei den kleinteiligen Exponaten, der Audio Guide schweigt ebenfalls häufig. Weltraumnahrung in Tuben, fein säuberlich aufgereiht, Operationsbesteck für den medizinischen Notfall oder gruselig anmutende Geräte für die Zahnbehandlung liegen in den Vitrinen, ergänzt um Fotos der Kosmonauten. Zwei Zertifikate des „Guinness-Buch der Rekorde“ bestätigen, dass Kosmonaut Sergei Krikalev in der Schwerelosigkeit zum ersten Mal Pflanzen züchtete, die wiederum Samen produzierten, und auch als „Gärtner“ für ein kosmisches Zitronenbäumchen im Einsatz war.

Von Roboterarmen bis zu Zimmertüren

Das deutsch-russische Experiment ROKVISS ist zu sehen, bei dem das DLR vom Boden aus einen Roboterarm an der Außenseite des russischen ISS-Moduls steuerte. Auf einem Original-Drehstuhl, der eindeutig schon etliche Jahre alt ist, sitzt eine schwarze Stoffpuppe im Trainingsanzug. Früher mussten auf diesem Trainingsgerät die Kosmonauten ihren Gleichgewichtssinn auf die Probe stellen. Mit Unterschrift versehene Astronauten-Handschuhe, Meteoritensteine zum Anfassen oder auch die Kopie einer Zimmertür des Kosmonautenhotels in Baikonor – die Bandbreite der ausgestellten Gegenstände ist enorm.

Atmosphärisch angestrahlt in einer Explorationsumgebung stehen die Modelle der Mondproben-Rückholmission Luna-16 und der erste unbemannte Mondrover Lunochod-1, der an 318 Tagen etwas mehr als zehn Kilometer über den Mond fuhr, über 20.000 Bilder und Panoramen zur Erde sendete und damit die Untersuchung von 80.000 Quadratmetern Mondoberfläche ermöglichte. Ein ganzer Raum ist der Raumfahrtmedizin gewidmet – spätestens beim Anblick der fast schon historischen Geräte und Apparaturen aus der Anfangszeit der bemannten Raumfahrt schwant dem Besucher, dass die ersten Astronauten wahre Pioniere waren. Schließlich, in einem kleinen abgetrennten Teil warten ein paar Kuriositäten auf den Besucher. Was könnte russischer sein als eine Matroschka, die ineinander schachtelbaren Holzfiguren, die üblicherweise eine Bauersfrau mit Kopftuch und Schürze zeigen? Im Raumfahrtzeitalter wurde die Bäuerin zur Rakete, aus der die Weltraumhunde blicken, oder auch der Kosmonaut German Titov, der die ersten Fotoaufnahmen von der Erde machte und als Erster im Weltall aß und schlief.

Es ist schon ein Sammelsurium, was in Moskaus Raumfahrtmuseum zusammengestellt wurde. Und zugegeben: Es überfordert den Besucher auch ein wenig. Zu Manchem hätte man sich mehr Informationen gewünscht, anderes Wissen wahrscheinlich nur die Kosmonauten zu schätzen, die diese Dinge genutzt haben. Die Unterschiede der verschiedenen Raumfahrtanzüge beispielsweise weiß der Laie kaum zu erkennen. Dennoch: Das Gefühl, ganz dicht an der Historie der Raumfahrt zu sein, verlässt einen vor allem dank der originalen Exponate nie. Das begeistert, macht ehrfürchtig und zuweilen sogar Gänsehaut.



1 Skulptur von Yuri Gagarin 2 Blick auf die Mondsonde und Rover 3 Pioniersatellit Sputnik 1
4 Hunde im Weltall: Belka und Strelka 5 Drehstuhl aus dem Kosmonautentraining
6 Vitrine mit Originalhandschuhen

Museum der Kosmonautik

Anschrift	111 Prospekt Mira Moskau
Metrostation	VDNKh
Öffnungszeiten	täglich 10–19 Uhr donnerstags 10–21 Uhr montags geschlossen
Eintritt	250 Rubel
Foto-Pass	230 Rubel
Video-Pass	230 Rubel
Audio Guide	150 Rubel

www.kosmo-museum.ru/?locale=en



EINE HYMNE AUF DAS NOTIZBUCH

Ein fester Einband, dickes Papier, ein Buchrücken aus Stoff und ein ungewöhnliches Format – schon bevor man die erste Seite aufschlägt, ist klar: Mit dem **Kosmos großer Entdecker. Leben, Skizzen und Notizen (Sieveking Verlag)** hält man ein Buch in den Händen, das dem Schreiben auf Papier huldigt, dem Beständigen, der Begeisterung fürs Detail. Huw Lewis-Jones und Kari Herbert haben 75 Forscherinnen und Forscher ausgewählt, die ihre Entdeckungen mit Tinte, Bleistift, Aquarellfarben festhielten, in Notizbüchern, die als stete Begleiter auf Reisen durch das schwül-feuchte Amazonasgebiet, durch das ewige Eis der Polarregionen oder die Hitze der Wüsten verbogen, abgeschabt und abgestoßen wieder mit in die Heimat zurückgebracht wurden.

Wunderschön gezeichnete Tier- und Pflanzenarten, akribisch erstellte Landkarten, eng beschriebene Seiten oder auch schnell skizzierte Porträts sind dabei entstanden, die nun auf 320 Seiten versammelt sind. „Das Schreiben dieses Buches war selbst eine Entdeckungsreise, eine Schatzsuche nach diesen seltenen Objekten der Erinnerung“, beschreiben die Autoren die Entstehungsgeschichte. Man habe „in düsteren Bibliotheken, öffentlichen Archiven, Privatsammlungen oder auf staubigen Speichern“ gesucht. Maria Sibylla Merians sorgfältige und farbig gezeichnete Zeichnungen von Pflanzen, Früchten und Tieren mag man schon einmal gesehen haben, auch Ed Hillary, den Erstbesteiger des Mount Everest, oder Charles Darwin und seine Reise an Bord der „Beagle“ wird man kennen. Andere Entdecker wie Hector Horeau oder Olivia Tonge hingegen gerieten im Laufe der Zeit in Vergessenheit.

Die Autoren haben in ihrem Buch niemandem den Vorzug gegeben: Alle Entdecker und ihre Notizbücher werden in alphabetischer Ordnung präsentiert, jedem wird exakt eine Seite gewidmet, bevor dann manchmal nur zwei, mal sechs Seiten für ihre Skizzen und Notizen eingeräumt werden. Bei der Entscheidung über den Raum für Notizen scheinen die Autoren dann aber ganz strikt einem Kriterium zu gehorchen – dem des Gefallens. Reiseautor Bruce Chatwin, der mit seinen Berichten zum Klassiker wurde, hat gerade einmal zwei Seiten abbekommen. Jan Brandes, ein Gelehrter und Pastor, ist über sechs Seiten hinweg vertreten. Mal werden ganze Seiten aus dem Inneren der Notizbücher gezeigt, mal muss das Foto eines liebevoll zusammengebundenen Stapels zerfledderter Heftchen genügen.

Die Einführungstexte zu den jeweiligen Entdeckern sind eigen und charmant, konzentrieren sich auf deren ungewöhnliche Persönlichkeit, ihren Mut und Forschungsdrang. Hier und da wäre ein Foto des Notizbuchinhabers schön gewesen, doch für die Autoren Lewis-Jones und Herbert war letztendlich nur einer der Star: das Notizbuch. „Der Inhalt dieser Seiten besaß die Macht, die Welt zu verändern“, predigen die beiden. Und empfehlen: „Füllen Sie die Seiten Ihrer Notizbücher mit Abenteuern und Erlebnissen.“

Manuela Braun

INVASOREN VOM MARS IN ATMOSPHÄRISCHER DICHT

Der Engländer H.G. Wells schrieb über 60 Romane. Zur Science-Fiction-Ikone wurde er durch „Die Zeitmaschine“ und eben durch „Der Krieg der Welten“. Seine Werke dienten Filmemachern und Autoren immer wieder als Vorlage und Inspiration. Seit einem Jahr nimmt die Menge der Adaptionen allerdings deutlich zu. Der Grund: 1946 verstarb Wells und der urheberrechtliche Schutz bis 70 Jahre nach dem Tod endete 2016. Nach einer gelungenen Umsetzung von **Der Krieg der Welten** als Graphic Novel liegt nun die Vertonung des Werks von **Titania Medien** vor.

Für die Reihe „Gruselkabinett“ wurde die Invasion feindseliger Außerirdischer als zweiteiliges Hörspiel inszeniert. Werkgetreu. Die Story wurde nicht in die Gegenwart verlegt, der Wissenszuwachs in der Marsforschung, die heute weit über die astronomische Beobachtung von der Erde aus hinausgeht, spielt keine Rolle. Es bleibt beim Originalschauplatz des viktorianischen Englands um 1900 und bei intelligenten Invasoren vom Mars. Über 107 Minuten wird der Angriff aus dem All von vielen bekannten Sprechern erzählt, unterstützt durch einen reduzierten Musik- und Geräuscheinsatz. Ein subtiles Wabern erzeugt die unheilvolle Stimmung. Die Tripoden surren und quietschen metallisch. Keine bass-dröhnenden Effekte. Dieser „Krieg der Welten“ tobt nicht wild. Das Hörspiel widersetzt sich dem Trend zum klanglich überbordenden Bombast anderer Hörspielreihen. Das ist dem berühmten Klassiker angemessen, angenehm unaufgeregt beim Hören und dennoch atmosphärisch dicht – das Gegenteil von langweilig.

Philipp Burtscheidt



PSYCHOLOGISCHE STUDIE IN DER ANTARKTIS

Fast einhundert Jahre liegen zwischen den beiden Expeditionen zur antarktischen Insel Everland – damals, 1913, mit einfachen Mitteln, 2012 dann mit moderner Ausrüstung. Rebecca Hunts Roman **Everland (Luchterhand)** zeigt im Wechsel zwischen beiden Zeitebenen vor allem eines: Es kommt nicht allein auf die Ausrüstung an, sondern auf die Menschen, die von der lebensfeindlichen Natur auf die Probe gestellt werden. Bereits vor dem Start der Expedition mit jeweils drei Teilnehmern ist das Verhältnis unter den Forschern nicht harmonisch und von Misstrauen und Abneigung geprägt, bei beiden gefährdet ein Neuling die Unternehmung. Schon auf den ersten Seiten des Romans ist klar, dass von der Expedition 1913 niemand überlebt. Was tatsächlich geschah und wer wen im Stich gelassen hat, ist hingegen offen. Und so liest man auch über die Expedition von 2012 mit Skepsis, wenn zunehmend Spannungen im Team zutage treten.

Rebecca Hunt macht es dem Leser nicht leicht, sie springt nicht nur zwischen den beiden Expeditionen hin und her, sie erzählt auch innerhalb der Zeitebenen nicht chronologisch. Daher ist es nicht immer einfach, die Abfolge der Ereignisse mitzuverfolgen. Oftmals bleiben Dinge unausgesprochen, fast schemenhaft – das trägt zur mystischen Stimmung bei, lässt den Leser aber auch zeitweise etwas verloren zurück, zumal es etliche falsche Spuren gibt, um zu klären, was während der ersten Expedition geschehen ist. Ein Roman, der – auch wenn der Klappentext eine „Abenteuer Geschichte, einen spannenden Thriller und ein psychologisches Drama“ verspricht –, nicht von Anfang an fesselt, sondern vom Leser Zeit und Sorgfalt fordert.

Manuela Braun



Bild: Photography Martin Hartley/Art Direction
Huw Lewis-Jones/Sammlung Fuchs



Vivian Fuchs: Notiz- und Skizzenbücher von der Trans-Antarktis-Expedition 1957–58

Bild: The Trustees of the Natural History Museum, London



Olivia Tonge: Schmuck, ein Frosch und eine Kröte



ÜBERBLICK MIT AHA-EFFEKT

Der Bildband **Overview. Faszinierende Bilder unserer Erde aus dem All (Dorling Kindersley Verlag)** verdankt seine Entstehung einem Zufall: Benjamin Grant wollte eigentlich eine Ansicht der gesamten Erde am Computer aufrufen. Einmal „Earth“ im Kartenprogramm eingetippt – und schon zoomte das Programm auf den Ort Earth in Texas, der dank eines Bewässerungssystems in einem geometrischen Muster aus grünen und braunen Kreisen lag. Der Zufallstreffer hatte Grant gezeigt, wie ungewöhnlich, offenbarend oder auch überraschend die gestochen scharfen Satellitenaufnahmen der Erde sein können. Über 200 Satellitenbilder hat er für den Bildband zusammengestellt und nach eigenen Kategorien angeordnet: „Wo wir ernten“ gibt es ebenso wie „Wo wir spielen“, „Wo wir fahren“, „Wo wir entsorgen“ oder auch „Wo wir nicht sind“. Zu jedem Bild werden zu den jeweiligen Koordinaten auch kurz einige Informationen vermerkt, die helfen, das Gesehene einzuordnen.

Der Überblick aus dem All lässt dabei Bekanntes zu einer Anordnung von Strukturen und Farben werden. Mal ist es der Gegensatz, der die Bilder reizvoll macht: Die strikt linear ausgerichteten, extrem dicht bebauten Stadtteile von Delhi finden beispielsweise ihren Kontrast in den ringförmig angelegten Siedlungen einer Kommune nahe Kopenhagen. Ein anderes Mal ist es die Ähnlichkeit von acht Satellitenaufnahmen, die Wohngebiete in geometrischen Strukturen zeigen, die sich zwar in der Form unterscheiden, in der Zusammenstellung aber vor allem die Linientreue ihrer Ausrichtung erkennen lassen. Die Entwicklung von Landschaften zeigt die Gegenüberstellung von Satellitenaufnahmen desselben Gebiets aus unterschiedlichen Jahren. Nicht immer, aber oft ergibt sich so ein Aha-Effekt, den nur der Blick aus dem All auf das große Ganze ermöglicht. Wer über den Bildband hinaus noch weitere Satellitenbilder zum Staunen sehen möchte, wird auf den Internet-Seiten des Autors fündig: www.dailyoverview.com.

Manuela Braun

DIE DUNKLEN SEITEN DES ISAAC NEWTON

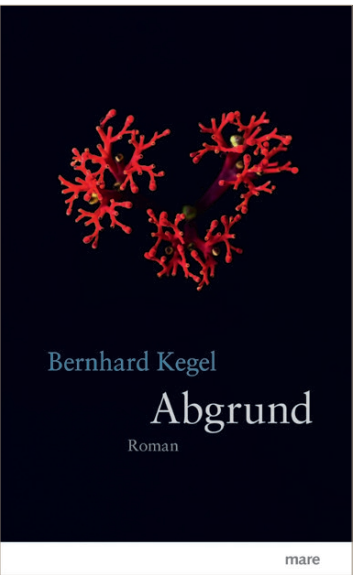
Newton war ein Arschloch. Das zumindest behauptet Florian Freistetter in seiner etwas anderen Biografie über Isaac Newton. Der vielgepriesene englische Naturforscher, dem nachgesagt wird, er habe die Gravitation aufgrund eines Apfels entdeckt, der ihm auf den Kopf gefallen war, ist also gar nicht ein so heldenhafter Wissenschaftler? Vielmehr ein Größenwahnsinniger Grobian, ein Egoist und intriganter Einzelgänger, der so ziemlich alle schlechten Eigenschaften verkörpert hat, die ein Mensch haben kann?

Freistetter zeichnet das Bild eines Misanthropen, der seine wissenschaftlichen Zeitgenossen abgründig hasste. Vor allem zu Robert Hooke baute Newton eine innige Feindschaft auf. Als Universalgelehrter und Mitglied der Royal Society wagte er es doch tatsächlich, Newtons „Neue Theorie über Farben und Licht“ zu kritisieren, für die der Naturforscher sich selbst mit Nadeln in die Augen gestochen hatte, um zu erfahren, wie Licht vom Körper aufgenommen wird. Newton, beleidigt, wie er war, entschied sich, seine Erkenntnisse fortan für sich zu behalten, und so wurden nur wenige seiner Arbeiten öffentlich.

Wer die Bücher des Astronomen Florian Freistetter kennt, weiß, was ihn erwartet: amüsante Abhandlungen über die Wissenschaft, leicht verständlich und einprägsam. So auch die Biografie **Newton – Wie ein Arschloch das Universum neu erfand (Hanser)**. Dabei handelt es sich keineswegs um eine böswillige Abrechnung oder eine wüste Schimpftirade auf einen der größten Wissenschaftler aller Zeiten. Nein, die Biografie zeigt nur ziemlich schonungslos, dass auch das größte Genie durchaus Schwächen und schlechte Momente hat. Trotz der negativen Eigenschaften, mit denen der Leser Seite für Seite konfrontiert wird, entwickelt sich keine Ablehnung gegenüber Newton. Im Gegenteil: Mehr und mehr wird deutlich, wie genial Newton war und dass unser heutiger Kenntnisstand auch auf seinen bahnbrechenden Erkenntnissen in Mathematik und Physik beruht. Und wer weiß, ob Isaac Newton als „Everybody’s darling“ unser Universum quasi neu hätte erfinden können.

Insgesamt eine erfrischend andere Biografie, die sich nicht an die Regeln der Chronologie hält, sondern in der Lebenszeit von Isaac Newton umherspringt und kein Hehl aus Fehlritten und schlechten Charaktereigenschaften macht. Wahre Newton-Fans mögen die positiven Seiten des Naturforschers vermissen und die Biografie als einseitig ansehen. Letztendlich hat Newton die Wissenschaft revolutioniert und niemand wird ihn aus der Reihe der größten Genies aller Zeiten stoßen – ob er nun jedermanns Liebling oder ein Arschloch war.

Jana Wiedemeyer



ÄRGER IM PARADIES

Auf den Galapagos-Inseln brodeln es – die Inselwelt scheint zu klein für die einheimischen Fischer, die Touristenmassen und die Wissenschaftler der Charles-Darwin-Station. Bernhard Kegels **Abgrund (mare Verlag)** rückt die Probleme in den Mittelpunkt, die in dem Naturschutzgebiet für Unruhe sorgen: Zum einen leben die Einheimischen von den Touristen, zum anderen gibt es aber auch die Fischer, denen die strengen Auflagen das Geschäft verderben. Und dazwischen die Forscher, die die einzigartige Fauna und Flora vor Touristen und Fischern schützen wollen. Kegel verbindet dafür zwei Erzählstränge: Wissenschaftler Hermann ist mit dem Boot unterwegs, um eine bisher unbekannte, hybride Hai-Art zu erforschen, seine Freundin Anne, Leiterin der Kieler Mordkommission, bleibt an Land und beobachtet, dass Boote nachts in Brand gesetzt werden. Leider traut Kegel es seinen Lesern nicht zu, selbst die richtigen Schlüsse zu ziehen und lässt daher die Forscher ausführlich und überdeutlich in Gesprächen erläutern, welche Gefahr der Klimawandel darstellt und wie erhaltenswert die Natur ist. Dabei gerät die Auflösung des eigentlichen Kriminalfalls ziemlich in den Hintergrund.

Manuela Braun

VOM HOMO SAPIENS ZUM HOMO DEUS

Eigentlich geht es dem Menschen der Gegenwart ganz gut – zumindest dem größten Teil der Menschen in den Industrieländern. Im Vergleich zu den vergangenen Jahrhunderten haben Hunger, Krankheit und Krieg heute generell nicht mehr die flächendeckenden Auswirkungen. Aufbauend auf dieser These entwirft Yuval Noah Harari in **Homo Deus. Eine Geschichte von Morgen (C.H.Beck)** seine Vorstellung von der Zukunft. Vom Homo Sapiens, der die Welt erobert, über den Homo Sapiens, der der Welt einen Sinn gibt, bis hin zum Homo Sapiens, der die Kontrolle verliert, spannt Harari auf 575 Seiten den Bogen seiner Vision. Wie verändert sich der Mensch, der nach Glück und Unsterblichkeit strebt –, einfach nur, weil er es kann? Welche Auswirkungen werden Biotechnologie und künstliche Intelligenz haben? Der dicke Wälzer lässt sich leicht lesen, ist gefällig geschrieben und bietet dabei jede Menge Informationen und Denkanstöße. Das ist ein Vor- und Nachteil zugleich: So angenehm sich das Sachbuch lesen lässt, so schnell lullt Harari seine Leser mit seiner Weltsicht ein. Ganz so einfach sollte man es ihm allerdings nicht machen – wer ab und an mal pausiert und hinterfragt, was der Autor da manchmal so elegant voraussetzt, hat mehr vom Buch.

Manuela Braun

LINKTIPPS

LUFTFAHRTHISTORIE IM BILD

goo.gl/weJ8jU

Das NASA Armstrong Flight Research Center stellt Archivbilder historischer Flugexperimente online. Die bisher mehr als 300 Clips (200 weitere sind angekündigt) zeigen Flugversuche über der kalifornischen Wüste Mojave von 1946 bis heute. Neben Spaceshuttles, Lifting Bodies, frühen unbemannten Flugzeugen und mehr sind auch Tests des Stratosphären-Observatoriums für Infrarot-Astronomie, SOFIA, zu sehen.

SPIEL AUF ZEIT

<http://apple.co/2zAE2JY>

Wer etwas Action und Raketen mag, für den sollte das kostenlose Timing-Spiel Space Frontier genau das Richtige sein. Die Aufgabe: im richtigen Moment die Antriebsstufen einer Rakete abwerfen, um höher hinaus zu kommen. Aber Vorsicht: möglichst spät, aber nicht zu spät abwerfen, sonst – peng! Die App ist für mobile Geräte in den gängigen Stores erhältlich.

WIND KLUG NUTZEN

<http://bit.ly/1WIdqy9>

Die Agentur für Erneuerbare Energien bündelt auf ihrer Website Daten und Fakten im Bereich Energie und präsentiert sie gut verständlich. Ein Glossar und eine Mediathek machen komplexe Inhalte nachvollziehbar. Wie es zum Beispiel Bürgern gelingt, erneuerbare Energien in ihrem Landkreis klug zu nutzen, zeigt die Animation „Windkraft gemeinsam planen“.

DLR_GRADUATE_PROGRAM

<http://s.DLR.de/8ip3>

Das DLR-Programm richtet sich an den wissenschaftlichen Nachwuchs. Das Ziel: Doktorandinnen und Doktoranden systematisch und hochwertig qualifizieren, zum exzellenten wissenschaftlichen Arbeiten befähigen sowie Management- und Sozialkompetenzen vermitteln. Die neue Broschüre steht auf DLR.de zum Download bereit.

BLICK AUS DER CUPOLA

<http://bit.ly/2uEDunQ>

Aussichten, die sonst nur die Besatzung der Internationalen Raumstation hat, beschert Google jedermann. Ohne Ton, als wäre man selbst im All, lässt sich der Blick aus der Cupola der ISS mit Google Streetview genießen.

WARUM 30 TAGE INS BETT?

<http://s.DLR.de/o7d1>

DLR-Jung-Autorin Julia Heil berichtet im DLR-Blog über die VaPER-Studie (VIIP and Psychological :envihab Research Study), für die sich im Oktober/November 2017 zwölf Probandinnen und Probanden für 30 Tage in der DLR-Forschungsanlage :envihab ins Bett legten. Wozu das gut ist? – Selbst lesen, am besten im Bett!

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, Philipp Burtscheidt, Falk Dambowsky, Julia Heil, Bernadette Jung, Denise Nüsse und Miriam Poetter

DLR-Politikbeziehungen und Kommunikation

Linder Höhe, 51147 Köln

Telefon 02203 601-2116

E-Mail kommunikation@dlr.de

Web DLR.de

Twitter [@DLR_de](https://twitter.com/DLR_de)

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten

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

ISSN 2190-0094

Online:

DLR.de/dlr-magazin

Onlinebestellung:

DLR.de/magazin-abo

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

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellenangabe. Die fachliche Richtigkeit der Namensbeiträge verantworten die Autoren. Hinweis gemäß § 33 Bundesdatenschutzgesetz: Die Anschriften der Postbezieher des DLR-Magazins sind in einer Adressdatei gespeichert, die mit Hilfe der automatischen Datenverarbeitung geführt wird.

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

ClimatePartner°
klimateutral

Druck | ID 53106-1710-1003



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Titelbild

Dreidimensionales digitales Abbild von Poren in einer Nickelbasis-Superlegierung für hochbelastete Komponenten in Gasturbinen für Flugzeuge (Farbgebung computer-generiert), DLR-Institut für Werkstoff-Forschung



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages