

DLR / magazin

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt · Nr. 162 · Oktober 2019



AM GETEILTEN HIMMEL

SICHER IM SICH WANDELNDEN LUFTRAUM

Weitere Themen:

SCHNELLER ALS DER SCHATTEN

SELBSTDIAGNOSE IM LAUFENDEN BETRIEB

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Es betreibt Forschung und Entwicklung in den Schwerpunkten Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr sowie in den Querschnittsbereichen Sicherheit und Digitalisierung. 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.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 47 Forschungsinstitute, um Lösungen für diese gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen zu entwickeln. 8.600 Mitarbeitende im DLR haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Sonnensystem und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

Impressum

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

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

Redaktion: Nils Birschmann (V. i. S. d. P.), Cordula Tegen (Redaktionsleitung), Julia Heil

DLR-Politikbeziehungen und Kommunikation

Linder Höhe, 51147 Köln

Telefon 02203 601-2116

E-Mail info-DLR@dlr.de

Web DLR.de

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

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten

Gestaltung: B+D Agenturgruppe GmbH, 50935 Köln, Kitschburger Straße 1, www.bplust.de

ISSN 2190-0094

Online lesen:

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 Beiträge verantworten die Autoren.

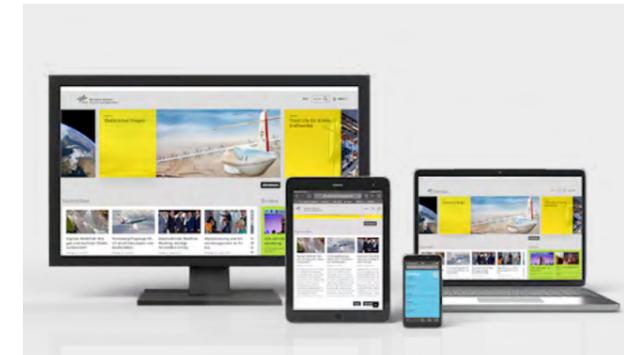
Bilder: DLR (CC-BY 3.0), sofern nicht anders angegeben.



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.



WEBSITE-RELAUNCH: DLR.DE NEU ENTDECKEN



Für Andrea Haag war der Sommer 2019 besonders heiß: Die Leiterin des Großprojekts DLR-Website-Relaunch bewies sich als eine wahre Allrounderin: Die Portalmanagerin (den Kolleginnen und Kollegen der DLR-Informations- und Kommunikationstechnik und ihren Vertragspartnern noch unter dem Namen Andrea Schaub präsent) analysierte, konzipierte, plante, schulte, telefonierte, diskutierte, kontrollierte, moderierte, rechnet und präsentierte: Schließlich kam für sie und ihr Team das ersehnte Finale: Die neue DLR-Website ging online – in einem völlig neuen Redaktionssystem. Der ganze Stolz des Teams ist neben dem Designkonzept – mit dem sich die responsive Website auch unterwegs via Handy oder Tablet bequem erkunden lässt – eine optimierte Suche. Diese nutzt Methoden der künstlichen Intelligenz, um DLR-Beiträge automatisch den Forschungsseiten Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Digitalisierung oder Sicherheit zuzuordnen. Den Besuchern beschert das ausgeklügelte Filterkonzept ein besseres Nutzererlebnis, für die DLR-Redakteurinnen und -Redakteure ist es eine große Arbeitserleichterung. Das interdisziplinäre Relaunch-Team hat in mehr als zwei Jahren neue Formate mit lebendigen Inhalten befüllt. Die vielfältigen Aktivitäten des DLR präsentieren sich in der neuen virtuellen Welt nun mit interaktiven Faktenboxen und Missionssseiten, Kurzporträts zu allen 47 DLR-Instituten und -Einrichtungen sowie mit Themensammlungen wie Dossiers und Überblicksseiten zu den mehr als 140 DLR-Großanlagen.

Zu unseren Neuigkeiten in diesem Herbst gehört auch der Nachname der Projektleiterin – dieser war allerdings beim Start des Website-Relaunchs noch nicht geplant; eine beflügelnde Wirkung kann aber unterstellt werden ... Glückwunsch!



Liebe Leserinnen und liebe Leser,

der Herbst beginnt mit viel Neuem. Vor dem Start in das Ausbildungsjahr 2019/20 trafen wir Thomas und Thomas, zwei im wahrsten Sinn des Wortes ausgezeichnete Ausbilder im DLR Stuttgart. Sie wissen um den Wert von Erfahrung, pädagogischem Geschick und einer topmodernen Ausstattung. Und sie handeln nach der Devise: Ein Beruf muss nicht nur handwerklich beherrscht werden, er darf auch Spaß machen.

Über den Herbst 2019 hinaus wird man von den sieben neuen DLR-Instituten hören: Deren Aufbau hat gerade erst begonnen. Wo sie ihre Standorte haben und womit sich deren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beschäftigen, zeigt eine Magazin-Doppelseite im Überblick.

Auch neu: das Virtual Product House in Bremen. Im dortigen ECOMAT fanden DLR-Luftfahrtforscher ein Domizil, in dem sie sich Tür an Tür mit Partnern aus der Industrie auf den Weg zur Verwirklichung ihrer Vision begeben können: ein neues Flugzeug ohne viele aufwändige Vorabtests unter realen Bedingungen einzuführen. Mit Simulationen an Hochleistungsrechnern bereiten sie den Weg zur virtuellen Zulassung.

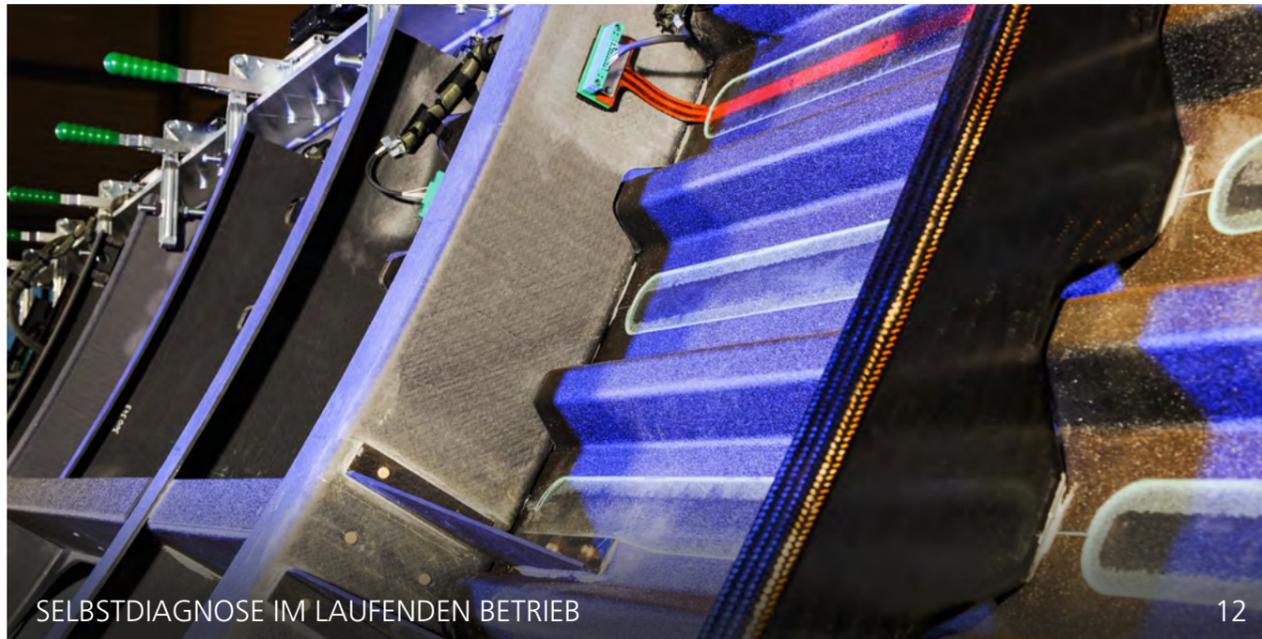
Neues Denken ist auch gefragt, wenn unbemannt geflogen und automatisiert gefahren wird. Wie dann Sicherheit gewährleistet werden kann, ist eine anspruchsvolle und sehr komplexe Fragestellung. Darauf wollen DLR-Forscherinnen und -Forscher aus dem Luftverkehrsmanagement und der Straßenverkehrsforschung Antworten finden.

Wer in diesen Tagen das DLR-Magazin online ansteuert, den empfängt eine von Grund auf neue DLR-Website. Ein modernes Designkonzept, vielfältige Formate wie Dossiers oder Themengalerien und selbst hier neue Technologien: Die optimierte Suchfunktion wird von einem eigens für das DLR entwickelten Lexikon unterstützt. Das neue Internetportal des DLR mit seinen 8.600 Beschäftigten in 47 Instituten und Einrichtungen zu planen, zu entwerfen und zu realisieren, war eine Mega-Aufgabe. Schauen Sie auf DLR.de, ob sie gut gelöst wurde.

Und zu guter Letzt: Auch dem DLR-Magazin haben wir ein neues, farbenfrohes Kleid angelegt. Schreiben Sie uns, was Sie davon halten: Magazin@DLR.de

Und nun freuen Sie sich auf die Neuentdeckungen dieses Herbstes!

Ihre Redaktion



SELBSTDIAGNOSE IM LAUFENDEN BETRIEB

12



KOMMENTAR

06



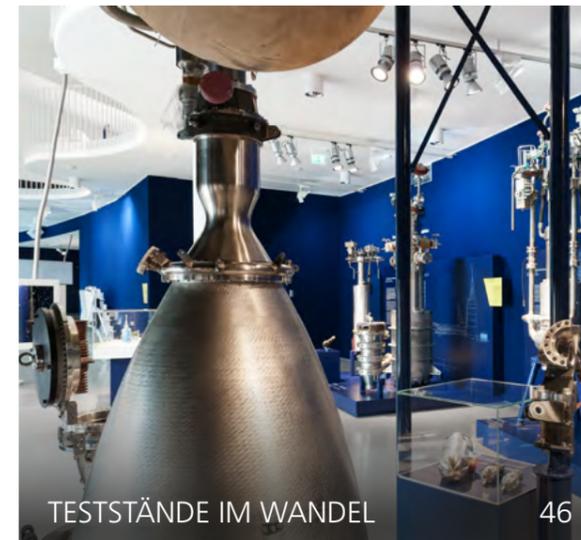
AM GETEILTEN HIMMEL

20



SAFETY FIRST – AUCH AUTOMATISIERT

34



TESTSTÄNDE IM WANDEL

46



TECHNIK-CHARME IM GOTTESHAUS

56



LERNEN VON THOMAS & THOMAS

40



WENN DER BODEN WANKT

26

KOMMENTAR	6
Karrieresprung für Quanten	
MELDUNGEN	7
SIEBEN MAL FORTSCHRITT	8
DLR gründet Institute für Zukunftstechnologien	
KURZMELDUNGEN	10
SELBSTDIAGNOSE IM LAUFENDEN BETRIEB	12
Querschnittsprojekt zur frühen Schadenserkennung	
EIN DOMIZIL FÜR VISIONÄRE	16
Projektstart für das Virtual Product House	
AM GETEILTEN HIMMEL	20
Bemannt und unbemannt sicher fliegen	
CHEOPS PRÜFT PLANETEN-KANDIDATEN	24
Vermessung extrasolarer Himmelskörper	
IM BILDE, WENN DER BODEN WANKT	26
Monitoring von Georisiken aus dem All	
SCHNELLER ALS DER SCHATTEN	30
Wolkenkameras für die Sonnenscheinvorhersage	
ENERGIEMELDUNGEN	33
SAFETY FIRST	34
Interview: automatisiert und sicher unterwegs	
LERNEN VOM DOPPELTEN THOMAS	40
DLR-Ausbilder im Kurzporträt	
NACHHALTIGER SCHUB FÜR JUNGE KARRIEREN	43
Zehn Jahre German Trainee Programme	
ENGAGEMENT FÜR UMWELT GEWINNT	44
Förderung internationaler „Green Talents“	
TESTSTÄNDE IM WANDEL	46
60 Jahre DLR Lampoldshausen	
WOHIN DES WEGS?	52
Die DLR-Großanlage MovingLab	
TECHNIK-CHARME IM GOTTESHAUS	56
Im Musée des Arts et Métiers in Paris	
FEUILLETON	60

KARRIERESPRUNG FÜR QUANTEN

Von Dr. Robert Axmann

Quantentechnologien werden seit ein paar Jahren in der Forschung intensiv diskutiert. Es scheint, als sei ein neues Themenfeld gefunden. Die Nutzung von Quanteneffekten, also dem Phänomen der Überlagerung von Zuständen in der Welt von Atomen, Photonen und Elektronen, ist jedoch kein neues Forschungsfeld. Mit der Entwicklung und Nutzung von Lasern sind schon vor Jahrzehnten Anwendungen entstanden, welche heute viele Lebensbereiche durchdringen – denken wir nur an Laserskalpelle, -mikroskope, -waagen oder die Lasershow.

Mittlerweile allerdings eröffnet die Forschung auch die Möglichkeit einer gezielten Kontrolle und Manipulation von Quantenzuständen. Dies wird mit dem Begriff Quantentechnologien der zweiten Generation verbunden. Neue Forschungsfelder entstehen: Quantensensorik, Quantenmetrologie und Quantenkommunikation. Diese sind für die DLR-Forschung besonders relevant. Die Erwartungen an die Technologien sind hoch. Im Bereich der Sensorik beispielsweise wird von signifikant höheren Messgenauigkeiten ausgegangen.

Das DLR hat in diesem Bereich bereits geforscht. Aktuell wird eine optische Atomuhr entwickelt, welche eine noch höhere Genauigkeit bei der Zeitmessung verspricht – nicht nur für die Satellitentechnik eine hochinteressante Option. Unser Ziel ist, diese Uhr in den nächsten Jahren erstmals auf einem Satelliten einzusetzen. Dazu muss das System vom Labormodell in einen kompakten Prototypen überführt werden, der den Raketenstart übersteht und unter den harten Temperatur- und Strahlungsbedingungen des Weltraums zuverlässig funktioniert. Eine für das DLR typische Herausforderung: die Weiterentwicklung von Technologien mit geringem Reifegrad hin zu Prototypen.

Für neue Quantentechnologien werden mit Beschluss des Senats und durch besondere Unterstützung seitens des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie im DLR derzeit drei neue Institute aufgebaut: in Hannover das Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik, in Ulm das Institut für Quantentechnologien und in Oberpfaffenhofen das Galileo Kompetenzzentrum. Der Fokus in Ulm wird auf der Entwicklung von neuen Instrumenten zur Präzisionsmessung in enger Kooperation mit der Industrie liegen, das Institut in Hannover wird sich wiederum insbesondere auf die Thematik Entwicklungen für die Satellitengeodäsie konzentrieren. Mit dem Kompetenzzentrum wird in Oberpfaffenhofen der Schwerpunkt auf Entwicklungen für aktuelle und zukünftige Satellitennavigationssysteme gelegt.

Diese äußerst anspruchsvolle Technologieentwicklung im DLR anzusiedeln, hat gute Gründe. Einerseits haben wir als Großforschungseinrichtung die notwendigen Entwicklungskompetenzen, und zwar sowohl wissenschaftlich als auch in Form exzellenter Großanlagen. Wir können beispielsweise gemeinsam mit der Industrie Satelliten entwickeln und betreiben und so die gesamte Entwicklung bis zum Prototypen voranbringen. Das stärkt den Raumfahrtstandort Deutschland. Andererseits sind im DLR auch entsprechende Kenntnisse sowie die Vernetzung in der nationalen und internationalen Forschungsgemeinschaft gegeben. Diese internationale Einbindung ist unerlässlich, wenn wir künftig Missionen zur Schwerefeldmessung der Erde, Forschungen zu Bose-Einstein-Kondensaten auf der Internationalen Raumstation ISS oder Missionen zur Gravitationswellenforschung mit internationalen Partnern durchführen möchten.

Mit den neuen Instituten betreten wir überaus spannende und zukunftsrelevante Forschungs- und Entwicklungsfelder. Der Aufbau der Institute wird einige Jahre benötigen. Doch für die Zukunft sind von ihnen wissenschaftliche Leistungen zu erwarten, die Forschung und Industrie in Deutschland technologisch voranbringen, insbesondere auch in der Raumfahrt.



Dr. Robert Axmann leitet im DLR die Programmstrategie Raumfahrt

ERSTER EIGENER SATELLIT FÜR EUROPAS DATENAUTOBAHN

Am 6. August 2019 startete der Kommunikationssatellit EDRS-C erfolgreich zu seiner Mission. Er ist Kernbestandteil des Europäischen Datenrelais Systems (EDRS) – der „Datenautobahn im All“. EDRS kann mit Hilfe von Satelliten-Laserterminals riesige Datenmengen innerhalb kürzester Zeit vom Weltraum zur Erde übertragen. Zwei geostationäre Satelliten agieren dabei als Verteiler und übertragen Daten von Erdbeobachtungssatelliten aus dem niedrigen Erdorbit zu Bodenstationen in Europa. EDRS ist die erste kommerzielle Anwendung optischer Satellitenkommunikation im Weltraum und ermöglicht Bandbreiten von bis zu 1,8 Gigabit.

2016 hatte der erste Verteilerknoten (EDRS-A) seinen Orbit erreicht – 36.000 Kilometer von der Erde entfernt. Dort realisierte er bereits mehr als 23.000 Intersatellite Links. Während EDRS-A als Gastnutzlast auf dem Satelliten Eutelsat 9B betrieben wird, besitzt EDRS-C einen eigenen Satelliten. Insgesamt soll das System aus vier optischen Kommunikationssatelliten bestehen.

EDRS wird im Rahmen einer öffentlich-privaten Partnerschaft zwischen der Europäischen Weltraumorganisation ESA und der Firma Airbus Defence and Space betrieben. Für die Steuerung der Nutzlasten sowie für die Kontrolle der EDRS-Satelliten ist das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen zuständig.



© Arianespace

Bilderbuchstart der Ariane 5 mit dem EDRS-Satelliten

„GRÜNER“ WASSERSTOFF FÜR DIE REGION UND DEN WEG INS ALL

Lampoldshausen bringt zwei große Akteure im Bereich Wasserstoffforschung zusammen: Das DLR-Institut für Raumfahrtantriebe entwickelt und betreibt Prüfstände für Raketentriebwerke und ist ein wichtiger Partner der europäischen Raumfahrt – und gleichzeitig einer der größten Wasserstoffnutzer in Europa. In direkter Nachbarschaft befindet sich der derzeit größte Windpark im Südwesten, der vom Energieversorger ZEAG Energie betrieben wird. Auf Basis dieser einmaligen Kompetenzen und der Infrastruktur bauen DLR und ZEAG gemeinsam ein wasserstoffbasiertes, vernetztes Energiesystem auf: Mittels Elektrolyse und Strom aus Windkraft soll nachhaltiger „grüner“ Wasserstoff erzeugt werden. Geplant ist, diesen dann vor Ort zur Energieversorgung des DLR-Standorts und als Raketentreibstoff in den Prüfständen einzusetzen. Darüber hinaus kann der Wasserstoff für Anwendungen im Mobilitätssektor und der Industrie bereitgestellt werden – dazu stehen DLR und ZEAG bereits mit Unternehmen aus der Region in Kontakt.

Für das Zukunftsprojekt an der Schnittstelle von Raumfahrt, Energie und Mobilität interessierten sich die baden-württembergische Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut und die Landtagsabgeordnete Isabell Huber. Bei einem Besuch im DLR Lampoldshausen am 7. August 2019 informierten sich die Politikerinnen zum Thema nachhaltiger Wasserstoff, das im Mittelpunkt des Projekts „H₂ORIZON“ steht, sowie zu den Testanlagen für die europäischen Raumfahrtantriebe.

Das DLR in Lampoldshausen blickt auf 60 Jahre Erfahrung zurück und wird als europäisches Forschungs- und Testzentrum künftig Testkampagnen für Flüssigantriebe der Ariane durchführen, von der Entwicklung über die Qualifikation bis hin zu Abnahmetests.

Lesen Sie unser Standortporträt ab Seite 46.

SIEBEN MAL FORTSCHRITT

In Köln, Oberpfaffenhofen oder Braunschweig prägt das DLR seit Jahrzehnten die wissenschaftlich-technische Strahlkraft der Region. Mit Görlitz, Hannover oder Cottbus beziehungsweise Zittau wurde es bisher nicht in Verbindung gebracht. 2019 hat sich das geändert. Die Städte gehören zu den Standorten, an denen sich derzeit insgesamt sieben neue DLR-Institute in Gründung befinden. Dort werden Kapazitäten aufgebaut, mit denen das DLR an Zukunftstechnologien arbeitet. In interdisziplinärer Forschung treibt es so die Entwicklung der fünf strategischen Themen Mobilität, Digitalisierung, Sicherheit und Nachhaltigkeit sowie die Stärkung des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Deutschland voran und stärkt zugleich die Regionen um die neuen Standorte.

GEFAHR ERKANNT – GEFAHR GEBANNT

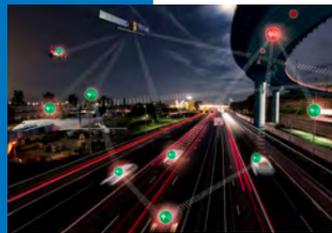
Lebenswichtig, nicht nur für Industrieanlagen, ist es, dass zentrale Versorgungssysteme wie das für Elektrizität oder für Wasser uneingeschränkt und zuverlässig funktionieren. Das neue Institut erforscht, wie diese kritischen Infrastrukturen geschützt werden können. Seine Fachleute entwickeln Methoden und Instrumente, um Gefährdungen frühzeitig erkennen, bewerten und abwehren zu können. Dazu arbeiten sie mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus allen DLR-Forschungsbereichen zusammen.

Institut für den Schutz terrestrischer Infrastrukturen Sankt Augustin und Rheinbach

Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt

Geplantes Personal:
50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Website:
DLR.de/pi



GRÜNES LICHT FÜR UNBEMANNTES FLIEGEN

Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS) erlangen im zivilen Bereich zunehmend an Bedeutung – die Branche wächst rasant. In dem europaweit einmaligen Testzentrum des DLR werden relevante Fähigkeiten und Kompetenzen in der UAS-Entwicklung gebündelt. Hier entsteht ein engmaschiges und hochinnovatives Forschungsnetzwerk für alle relevanten Akteure. Mit weiterentwickelten Technologien will es eine Vorreiterrolle für den Ausbau des wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Fortschritts im Bereich UAS einnehmen.

Nationales Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme Cochstedt

Gründungsdirektor:
Dr. Werner Etzenbach

Geplantes Personal:
30 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Website:
DLR.de/ux



PUSH FÜR ENERGIEWENDE

Ziel des Instituts ist es, die Kohlenstoffdioxid- und Schadstoffemissionen industrieller Prozesse und Kraftwerke im kommenden Jahrzehnt deutlich zu reduzieren. Die Forschung konzentriert sich darauf, energieintensive Industriebereiche von fossilen Energieträgern unabhängig zu machen, sowie auf die nachhaltige Stromerzeugung und -speicherung. Dazu zählt die Entwicklung von Hochtemperatur-Wärmepumpen – einschließlich der Option, konventionelle Kraftwerke in kohlenstoffarme Energielieferanten umzuwandeln (Stichwort: „Third Life für Kohlekraftwerke“). Ein weiterer Arbeitsbereich ist die Bereitstellung von Hochtemperaturwärme auf Basis erneuerbarer Energien.

Institut für Dekarbonisierte Industrieprozesse Cottbus und Zittau

Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Uwe Riedel

Geplantes Personal:
60 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Website:
DLR.de/di



MEHR WISSEN ÜBERS WELTRAUMWETTER

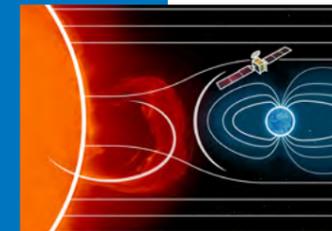
Die solar-terrestrische Physik beschäftigt sich mit den Wechselwirkungen zwischen der solaren Aktivität und dem Erdsystem. Sonnenstürme können die Kommunikations- und Navigationssatelliten in unserem Orbit beschädigen oder sogar ausfallen lassen. Dieses Phänomen wird als Weltraumwetter bezeichnet. Das Institut widmet sich der Erforschung des komplexen Themas. Ziel ist es, diese physikalischen Phänomene zeitnah, genau und zuverlässig zu beobachten und schließlich vorherzusagen. Dies kommt der Sicherheit potenziell gefährdeter Infrastrukturen wie Satelliten im All, aber auch von Stromnetzen auf der Erde zugute.

Institut für Solar-Terrestrische Physik Neustrelitz

Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Markus Rapp

Geplantes Personal:
30 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Website:
DLR.de/so



BESSERE SATELLITENKOMMUNIKATION

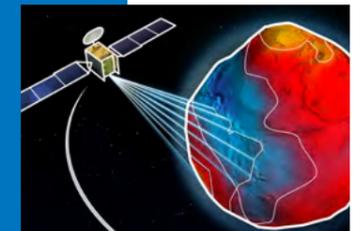
Das Institut erforscht im Kontext moderner Quantentechnologien neuartige Quantensensoren für terrestrische Anwendungen und Satellitenmissionen. Quantenbasierte Inertialsensoren werden durch Gravitationsmessungen neue Erkenntnisse zu relevanten Prozessen im Erdsystem, beispielsweise zum Wasserhaushalt, ermöglichen oder in Explorationsmissionen zu anderen Planeten das Verständnis unseres Universums erweitern. Neuartige Atomuhren, auf Satelliten im All oder mittels Glasfaser auf der Erde miteinander verbunden, ermöglichen neue Navigationssysteme oder ein zentimetergenaues geodätisches Höhennetz.

Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik Hannover

Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Wolfgang Ertmer

Geplantes Personal:
50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Website:
DLR.de/si



PRÄZISE INSTRUMENTE UND SICHERE SIGNALE

Der Einsatz von Quantentechnologien hat für viele Anwendungsfelder großes Innovationspotenzial, zum Beispiel durch Quantencomputer oder in der modernen Satellitennavigation und -kommunikation. In Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt das neue Institut in Ulm Messinstrumente für die Raumfahrt, die auf quantenmechanischen Effekten beruhen. Sie sollen herkömmliche Technologien in ihrer Genauigkeit weit übertreffen. Außerdem wird Quantenkommunikation und Quantenkryptographie auf Satelliten eingesetzt, um die globale Kommunikation sicherer zu machen.

Institut für Quantentechnologien Ulm

Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Wolfgang Schleich

Geplantes Personal:
50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Website:
DLR.de/qt



NEUE IDEEN FÜR GALILEO

Das Galileo Kompetenzzentrum soll den Betrieb des heutigen Galileo-Satellitensystems sowie dessen Weiterentwicklung unterstützen und die Entwicklung künftiger Galileo-Generationen vorantreiben. Gemeinsam mit den wissenschaftlichen Instituten und Einrichtungen des DLR werden unter anderem die Performance von Galileo-Satelliten analysiert, neue Ideen und vielversprechende Technologien entwickelt, getestet und validiert sowie in enger Kooperation mit deutschen und europäischen Industrieunternehmen zur Einsatzreife geführt.

Galileo Kompetenzzentrum Oberpfaffenhofen

Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Felix Huber

Geplantes Personal:
80 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Website:
DLR.de/gk



DIGITALE STRASSENKARTE FÜR DÜSSELDORF

In Düsseldorf wurde zwei Jahre lang ein Testfeld für automatisiertes und vernetztes Fahren aufgebaut. Dank vernetzter Technologien soll der Verkehr in der Stadt dort zukünftig besser fließen und das Auto soll den Fahrer in Echtzeit über Störungen auf seiner Route informieren. Das DLR entwickelte dafür eine hochgenaue digitale Karte. Sie enthält Informationen über die Infrastruktur, also Ampeln, Parkleitsysteme sowie elektronische Warn- und Geschwindigkeitshinweise von dynamischen Anzeigetafeln.

Solche Karten sind einerseits wichtiger Bestandteil hochautomatisierter Fahrmanöver, andererseits unterstützen sie eine vorausschauende Streckenplanung. Das DLR-Forschungsfahrzeug befuhr die Teststrecke, um zu demonstrieren, wie sich ein automatisiertes Fahrzeug zukünftig mit vernetzten Technologien durch den urbanen Raum bewegen wird. Das Testfeld bleibt auch nach Abschluss des Projekts (Kooperative Mobilität im digitalen Testfeld Düsseldorf – KoMoD) bestehen und soll demnächst durch Projekte in den Bereichen Automation und 5G-Technologie weiterfinanziert werden.



Die Fahrzeugflotte des Düsseldorfer Mobilitätsprojekts

KAMERASCHWARM SUCHT WALDBRÄNDE

Ein autonom arbeitender Schwarm von unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) kann auch zur Waldbranderkennung eingesetzt werden. Das zeigte ein Team des Instituts für Kommunikation und Navigation im Projekt HEIMDALL mit Flugexperimenten. Die mit Kameras und Wärmebildsensoren ausgestatteten Fluggeräte erkundeten selbstständig eine Region und tauschten Daten aus. Sie erfassten bereits kleine Waldbrand-Hotspots von 15 Zentimeter Durchmesser. Insgesamt analysierten die Drohnen bei 19 Flügen erfolgreich 37 verschiedene Hotspots aus Höhen zwischen 30 und 130 Metern über dem Boden. Zukünftig sollen autonome Roboterschwärme kooperativ eine Umgebungskarte erzeugen – ohne menschliche Interaktion. Dafür entwickeln die DLR-Fachleute neue Algorithmen und Methoden zur Schwarmexploration und erproben diese unter realistischen Bedingungen mit Robotern.



Eines der drei unbemannten Fluggeräte aus dem Projekt HEIMDALL, ausgerüstet mit visuellen und Wärmebildkameras

MASCOT-MISSION ZEIGT FRAGILES ASTEROIDEN-MATERIAL

Die Auswertung der Bilddaten der DLR-Kamera MASCam im Rahmen der MASCOT-Mission ergab Erstaunliches: Sie zeigt einen fragilen „Schutthaufen“ aus zwei verschiedenen, fast schwarzen Gesteinstypen mit geringem inneren Zusammenhalt. Die Ergebnisse wurden in der aktuellen Ausgabe der Zeitschrift SCIENCE veröffentlicht. Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass ein großer Teil des Asteroiden-Volumens von Hohlräumen durchzogen sein muss, die den diamantförmigen Körper extrem zerbrechlich machen. Auch die Messungen der Oberflächentemperatur mit dem DLR-Radiometer MARA bestätigen die Porosität des Asteroiden-Materials. Ryugu ist mit einer durchschnittlichen Dichte von nur 1,2 Gramm pro Kubikzentimeter wohl kaum „schwerer“ als Wassereis und ähnelt kohlenstoffhaltigen, 4,5 Milliarden Jahre alten Meteoriten irdischer Sammlungen.

Der deutsch-französische Lander MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout) war am 3. Oktober 2018 im Rahmen der japanischen Hayabusa2-Mission auf dem knapp einen Kilometer großen Asteroiden Ryugu gelandet und sandte spektakuläre Bilder und physikalische Messwerte von dessen Oberfläche zur Erde.



Die Asteroiden-Oberfläche, aufgenommen aus wenigen Metern Entfernung mit der Kamera MASCam des MASCOT-Landers

BODENPLATTEN MINDERN WIRBEL BEIM LANDEANFLUG



Ein A380 im Landeanflug über den Flughafen Wien

Rund zehn Kilometer Sicherheitsabstand müssen kleine und mittlere Flugzeuge derzeit zu vorausfliegenden schwereren Maschinen einhalten. Der Grund sind Luftverwirbelungen und damit Turbulenzen, die für ein nachfolgendes Flugzeug insbesondere kurz vor dem Aufsetzen gefährlich werden können. Eine patentierte DLR-Konfiguration parallel angeordneter Bodenplatten lässt diese Wirbelschleppen auf der Landebahn schneller zerfallen.

Auf dem Flughafen Wien installierte das DLR zusammen mit dem österreichischen Unternehmen Austro Control ein System solcher parallel hintereinander angeordneter Platten – jede neun Meter lang und viereinhalb Meter hoch. Mit einem Lasermessgerät (Lidar) zeichneten die Forscher das Verhalten der Wirbelschleppen auf, um es zu analysieren und so die Wirksamkeit der Platten auf einem stark frequentierten Flughafen bei Vollbetrieb nachzuweisen.

SCHLAUE STRUKTUREN REDUZIEREN UNFALLSCHÄDEN



Visualisierung des Crash-Absorbers: Bei einem Zusammenstoß wird das teleskopartige Rohr (blau) im Vorderwagen mit einem ringförmigen Schneider (rot) zerspannt und nimmt damit einen Großteil der Bewegungsenergie auf

Ein Kleinwagen, der mit einem SUV (Sport Utility Vehicle) zusammenstößt, hat aufgrund der kleineren „Knautschzone“ oft das Nachsehen. Eine „schlaue“ Crash-Struktur soll die Sicherheit der Beteiligten in solchen Situationen zukünftig erhöhen. Sensoren erfassen eine unvermeidbare Unfallsituation innerhalb einer Zehntelsekunde, die Struktur passt sich an und vermindert die Kollisionsenergie. Der aktive Energieabsorber nutzt die Möglichkeiten von Digitalisierung, Vernetzung und künstlicher Intelligenz: Mit Hilfe von Bilderkennung und umfangreicher Sensorik stellt das System im Bruchteil einer Sekunde Fahrzeugtyp und Gewicht fest und ermittelt, an welchen Stellen das andere Fahrzeug über Strukturen verfügt, die der Energie beim Crash am besten standhalten können. Im Notfall greift das System auf den letzten Metern in die Lenkung ein, um auf Basis dieser Informationen einen möglichst glimpflichen Unfallausgang herbeizuführen. Dass diese Technologie funktioniert, haben Stuttgarter DLR-Forscher auf dem Prüfstand nachweisen können.

REGIONALMELDUNGEN

NEUSTRELITZ: Mit AURORA besitzt das DLR das erste Mehrzweckmessboot. Unter anderem nutzen es Forscherinnen und Forscher des Instituts für Kommunikation und Navigation in Neustrelitz, um neue oder verbesserte Verfahren zur zuverlässigen Navigation und Positionierung unter realen Bedingungen zu testen. Der Name steht für Aquatic Unique Research and Operating platform for Radio Applications.

KÖLN: Der Sonnenofen des DLR feiert dieses Jahr sein 25-jähriges Bestehen. Mit Hilfe der Anlage untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien oder den Einsatz von konzentrierter Solarenergie in industriellen Fertigungsprozessen, beispielsweise beim Recycling von Aluminiumschrott oder bei der Zementherstellung.

OBERPFAFFENHOFEN: In der europäischen Studie AVIATOR wird das DLR zusammen mit 16 Organisationen aus den Bereichen Luftfahrt und Umwelt über drei Jahre neue Daten zu Flugzeugemissionen sammeln. Ziel des Projekts ist ein tieferes Verständnis für Luftverkehrsemissionen und ihren Einfluss auf die Luftqualität in und um Flughäfen.

LAMPOLDSHAUSEN: Beim siebten Wasserstofftag diskutierten Vertreter aus Politik, Forschung und Industrie über aktuelle und zukünftige Entwicklungen in der Wasserstofftechnologie. Regenerativ erzeugter Wasserstoff kann einen wesentlichen Beitrag zu einer kohlenstoffarmen Energiepolitik leisten.

OLDENBURG: Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK), die auf Brennstoffzellen basieren, können Strom und Wärme emissionsfrei liefern. Bislang ist die Kombination beider Technologien jedoch kaum verbreitet. Damit künftig mehr Servicekräfte die Anlagen betreiben können, entwickelt das DLR im Forschungsprojekt D2Service vereinfachte Lösungen für deren Installation und Wartung.

STUTTGART: Am 5. November 2019 findet im Haus der Wirtschaft die Raumfahrtkonferenz statt. Dort diskutieren deutsche und internationale Fachleute über aktuelle Themen und Projekte. Anlässlich des fünfzigjährigen Jubiläums der Mondlandung sind die beiden Apollo-Astronauten Michael Collins und Harrison „Jack“ Schmitt zu Gast.

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

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

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

SELBSTDIAGNOSE IM LAUFENDEN BETRIEB

Flugzeugstruktur mit Sensoren:
Sie signalisieren, wenn ein Schaden droht

DLR-Querschnittsprojekt zum Condition Monitoring:
Algorithmen erkennen Schäden, bevor sie entstehen

Von Dr. Daniel Krause

Abgeschlagenheit, Ruhebedürfnis, Konzentrationsschwierigkeiten – schon bevor eine Krankheit ausbricht, signalisiert uns der Körper, dass etwas nicht stimmt. Unser Nervensystem kann Veränderungen im Körper frühzeitig erkennen. Was wäre, wenn Maschinen und Anlagen mit solchen Wahrnehmungssystemen ausgestattet wären?

Die Zustandsüberwachung von Anlagen – genannt Condition Monitoring – ist so alt wie die Industrialisierung. Ende des 19. Jahrhunderts begann der neu gegründete TÜV, Dampfkessel regelmäßig zu überprüfen. Schwere Unfälle durch explodierende Kessel gehörten damit weitestgehend der Vergangenheit an. Seither sind regelmäßige Inspektionen bei sicherheitsrelevanten Strukturen weltweit üblich. Diese Kontrollen sind teuer und aufwändig. Außerdem können sie umfangreiche Reparaturen nicht immer verhindern. Wenn Anlagen rechtzeitig aus dem Betrieb genommen werden, vermindert sich ihr Reparaturaufwand. Genau hier setzt Condition Monitoring im engeren Sinne an: Sensoren überwachen die Anlagen kontinuierlich und erkennen Veränderungen unabhängig von Inspektionen. Solche Systeme können Fehler vorhersagen, erkennen und diagnostizieren. Inspektionen fallen dadurch idealerweise ganz weg. Der Mensch muss Wartungsarbeiten nur dann durchführen, wenn das System Fehler erkannt oder prognostiziert hat, nicht mehr turnusmäßig. Und die Anlagen werden im Betrieb wirtschaftlicher.

Allgemeingültige Systeme

„Wer ein Condition-Monitoring-System entwickeln und betreiben möchte, muss einige Hürden überwinden. Das sind die Komplexität des Systems, der Investitionsbedarf und das durch zusätzliche Sensoren mitunter etwas höhere Gewicht der Anlage“, sagt Prof. Dr. Martin Wiedemann, Direktor des DLR-Instituts für Faserverbundleichtbau und Adaptronik. „Wir können an zwei Stellschrauben drehen, um das System entscheidend zu verbessern: an den Daten, auf denen es basiert, und an den Algorithmen, die die Daten bewerten.“

Wiedemann ist der Koordinator des DLR-Querschnittsprojekts Condition Monitoring of Safety Relevant Structures. Darin arbeitet ein Team von über 30 Forscherinnen und Forschern aus 15 DLR-Instituten und -Einrichtungen an neuen Diagnoseverfahren für den sicheren Betrieb von komplexen Anlagen. Angesichts zunehmend digitalisierter und vernetzter Produktionsprozesse sind Daten ihre wichtigste Arbeitsgrundlage.

Daten – der Rohstoff des 21. Jahrhunderts

Inzwischen trägt ein Großteil der Menschen in seinen Smartphones mehr Sensoren mit sich herum, als sich Techniker vor 20 Jahren haben träumen lassen. Studien der Politecnico di Torino in Italien zeigten bereits 2012, dass Smartphones Schlaglöcher in Straßen detektieren oder Informationen zur Luftqualität liefern können. Die Verfügbarkeit und Bandbreite an Sensoren in jeder Preisklasse sind so hoch wie nie zuvor. Forscherinnen und Forscher des DLR-Instituts für Aeroelastik, die bisher besonders für zulassungsrelevante Schwingungstests auf hochpreisige und kalibrierte Spezialmesstechnik zurückgreifen mussten, stellten Ähnliches fest: „Unsere Vision ist ein Messsystem, das durchgängig aus handelsüblicher Industriemassenware besteht und dabei dennoch brauchbare Ergebnisse liefert“, erklärt Dr. Yves Govers, stellvertretender Abteilungsleiter für Strukturmechanik und Systemidentifikation. Erste Tests mit Standard-Industriesensoren zeigen vielversprechende Ergebnisse. Der Trend ist klar, aber der Weg noch weit: „Erst wenn die

DAS DLR-QUERSCHNITTSPROJEKT CONDITION MONITORING OF SAFETY RELEVANT STRUCTURES:

Laufzeit: 4 Jahre

Budget gesamt: 15,6 Millionen Euro

Beteiligte DLR-Institute und -Einrichtungen:

Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik (Koord.)

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

Institut für Aeroelastik

Institut für Flugsystemtechnik

Institut für Instandhaltung und Modifikation

Institut für Optische Sensorsysteme

Institut für Raumfahrtsysteme

Institut für Solarforschung

Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik

Institut für Technische Physik

Institut für Verkehrssystemtechnik

Institut für Werkstoffforschung

Flugexperimente

Raumflugbetrieb und Astronautentraining

Simulations- und Softwaretechnik

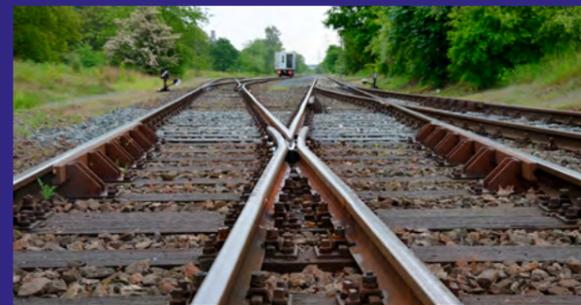
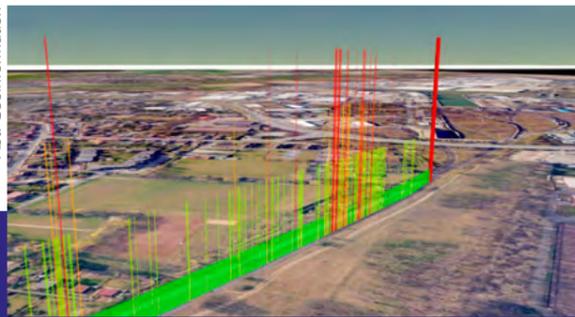
Messtechnik preiswert genug ist, werden die Hersteller sie auch in ihre Systeme einbauen“, so Govers. Ist die Zuverlässigkeit des Systems nachgewiesen, können mit verhältnismäßig geringen Investitionsaufwänden völlig neue Geschäftsfelder erschlossen werden. In vielen Anlagen sind bereits Sensoren integriert. Deren Daten fanden allerdings bislang wenig Beachtung.

Algorithmen, die Unregelmäßigkeiten erkennen

Hoffnung geben verbesserte Algorithmen zur Datenauswertung. Sie sortieren die Informationen und identifizieren Unregelmäßigkeiten. Das gleicht der Suche nach der Nadel im Heuhaufen. Denn: Einerseits muss die Datengrundlage möglichst groß sein, um statistisch relevante Ergebnisse zu liefern, andererseits müssen die Algorithmen der Komplexität gewachsen sein. Angenommen, auf einem Satelliten misst jeweils ein Sensor Strom und Temperatur: „Ein Condition-Monitoring-System muss anschlagen, wenn entweder eine der beiden Größen oder die Verknüpfung beider Datenverläufe abweicht, also beispielsweise die Temperatur nach Einschalten des Systems sinkt, denn normalerweise steigt diese mit dem Stromfluss“, erklärt Leonard Schlag, Forscher im DLR-Raumflugbetrieb und beteiligt am Projekt ATHMoS, einem System zur automatisierten Überwachung von Satellitendaten. Gelingt dies zuverlässig, erschließen sich mit entsprechenden Überwachungssystemen neue Geschäftsmodelle. Ein Beispiel ist das „Power-by-the-Hour“-Prinzip von Rolls-Royce. Der Triebwerks-



Die Bilder zeigen die Fernwärmeleitung des Heizkraftwerks BTB in Berlin-Adlershof sowie den Wärmespeicher (hinten rechts). Mit Hilfe des Integrated Positioning Systems IPS (Beitrag im DLR-Magazin 161) werden mittels optisch abbildender Sensorik digitale Datenprodukte für die energetische Untersuchung von Gebäuden und Industrieanlagen erzeugt. Mit dem Thermalbild können die Wissenschaftler den Zustand der Anlage bewerten. Tritt Wärme an einer undichten Stelle aus? Gibt es Schwachstellen in der thermischen Isolierung? IPS versteht das Thermalbild zusätzlich mit Ortsinformationen. So wissen die Forscher genau, wo sich die Schadstelle befindet.



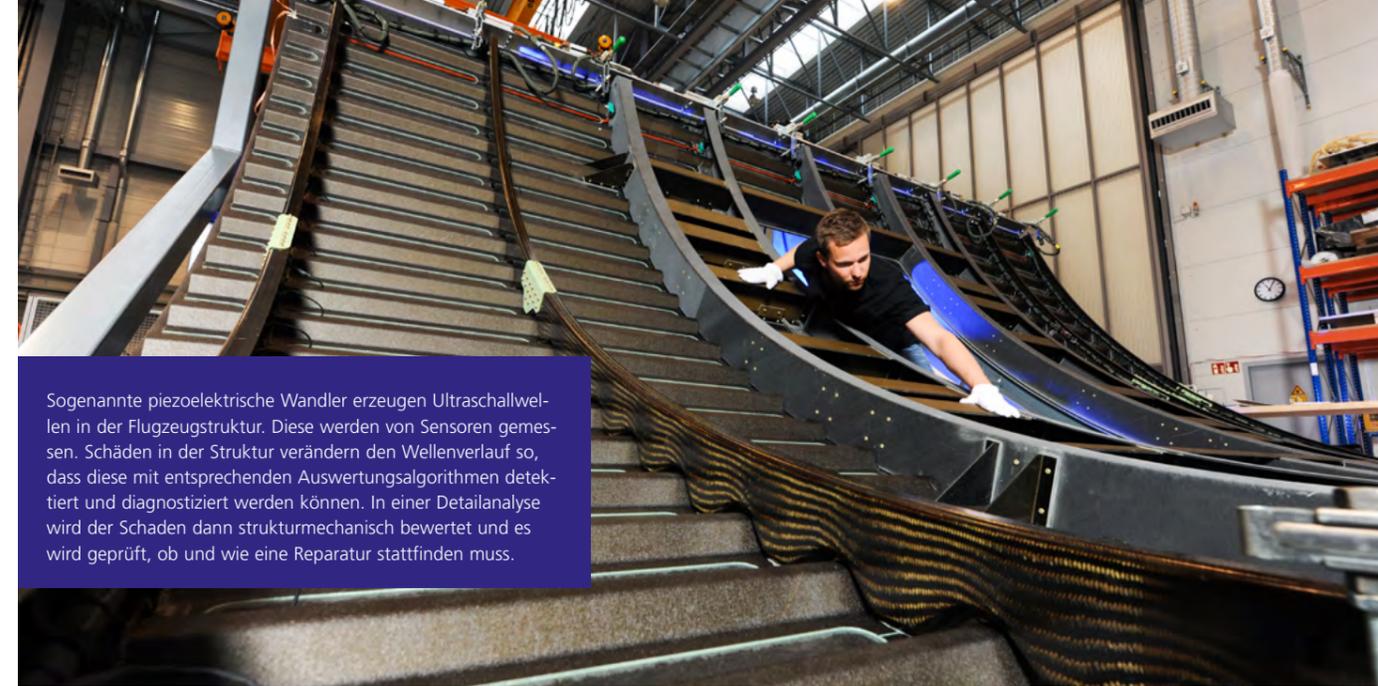
Condition-Monitoring-Systeme können auch zur Überwachung der Bahninfrastruktur eingesetzt werden, wie hier bei einer Rangierlok im Braunschweiger Hafen. Sensoren in den Achslagern des Fahrzeugs messen kontinuierlich Vibrationen. Diese Informationen lassen auf den Zustand der Strecke schließen.

hersteller „verleiht“ Triebwerke, inklusive Überwachung, Wartung und Reparatur, an Fluglinien. Bezahlt wird, wenn das Triebwerk tatsächlich im Einsatz ist. Ein solches Geschäftsmodell steht und fällt mit der Zuverlässigkeit des Zustandsüberwachungssystems. Falsche positive Meldungen führen zu zusätzlichen Wartungsterminen und hohen Kosten, beispielsweise beim Schadenersatz nach Ausfällen bei Airlines oder für die Wartung. Unterbleiben Meldungen bei abnormalem Verhalten, so ist dies eine unzulässige Gefährdung. Die Algorithmen müssen daher einerseits ausreichend zuverlässig sein, ohne andererseits Fehlalarme auszulösen.

Forschungsbereiche greifen ineinander

Die Komplexität der Auswertung steigt schon mit wenigen verknüpften Messgrößen massiv. Im DLR-Querschnittsprojekt tauschen Fachleute unterschiedlicher Institute in der Arbeitsgruppe „Anomaliedetektion“ ihre Erfahrungen mit solchen Prozessen aus und entwickeln sie weiter. Perspektivisch können beispielsweise Auswertungsmethoden aus der Raumfahrt auch in Überwachungssystemen für Verkehrsinfrastrukturen angewendet werden. „Da Condition-Monitoring-Systeme sehr vielschichtig und häufig auf eine Fachrichtung zugeschnitten sind, haben wir uns das Ziel gesetzt, unsere Ergebnisse über alle Forschungsbereiche hinweg miteinander zu verzahnen und universelle Verfahren und Technologien zu entwickeln“, fasst Wiedemann das Vorhaben zusammen.

Während einige Partner an nahezu vollständigen Szenarien forschen, stellen andere Bausteine bereit: Fachleute aus den DLR-Instituten für Solarforschung, Optische Sensorsysteme und Technische Physik erforschen zusammen, wie mit 3D-Vermessungsdaten frühzeitig Schäden in Gebäuden erkannt werden können; ein Team des traditionell luftfahrtzugewandten Instituts für Aeroelastik untersucht mit dem Institut für Verkehrssystemtechnik, inwiefern sich Schwingungsanalyse-Methoden aus der Luftfahrt zur Zustandsüberwachung bei Schienen-

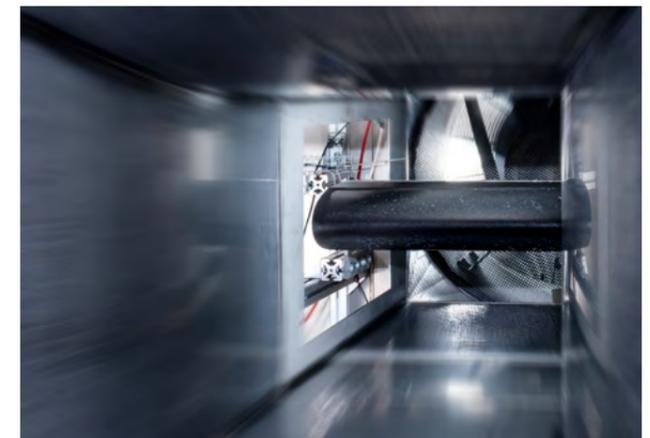


Sogenannte piezoelektrische Wandler erzeugen Ultraschallwellen in der Flugzeugstruktur. Diese werden von Sensoren gemessen. Schäden in der Struktur verändern den Wellenverlauf so, dass diese mit entsprechenden Auswertungsalgorithmen detektiert und diagnostiziert werden können. In einer Detailanalyse wird der Schaden dann strukturmechanisch bewertet und es wird geprüft, ob und wie eine Reparatur stattfinden muss.

fahrzeugen eignen. In diversen Flugversuchen – sowohl mit Forschungsraketen als auch mit Luftfahrzeugen – werden Daten gesammelt, die ebenso als Grundlage für die Entwicklung neuer Technologien dienen wie zu deren Qualifikation und Zertifizierung. Beispielsweise wird ein System erprobt, das gefährliche Vereisungszustände am Flugzeug erkennt. Der Pilot wird rechtzeitig gewarnt und kann Gegenmaßnahmen einleiten. Darüber hinaus arbeitet das DLR-Team daran, Schäden in Faserverbundstrukturen von Flugzeugen zu überwachen und zu bewerten oder Anomalien in Satellitendaten zu detektieren. Neben den Prozessen beschäftigen sich die Forscherinnen und Forscher auch mit Einzeltechnologien, die perspektivisch Teil eines Condition-Monitoring-Systems sein können. Dazu gehören Sensoren, die Energie aus ihrer Umgebung ziehen und deshalb keine weitere Energieversorgung benötigen, oder auch Sensoren zur Detektion von Mikrometeoriteneinschlägen in Raumfahrzeugen.

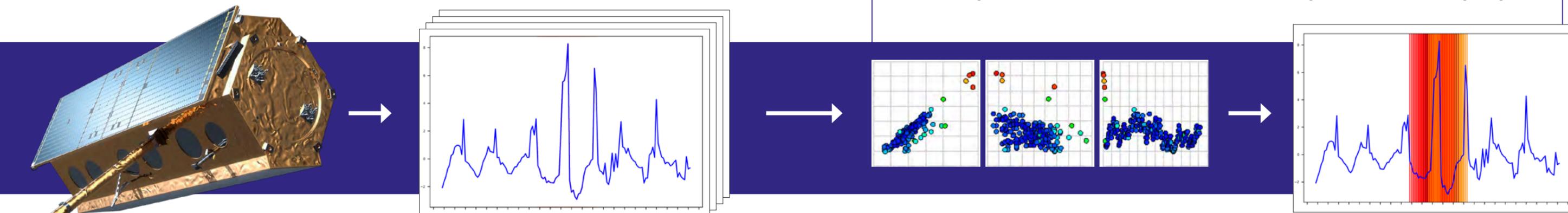
Technik, auf die wir uns verlassen können, sagt Funktionsausfälle verlässlich voraus – eine Zukunftsaussicht, die für eine Fülle von Industrie- und Lebensbereichen interessant ist. Im DLR arbeiten kluge Köpfe aus den verschiedensten Fachbereichen daran.

Dr. Daniel Krause ist Luft- und Raumfahrtingenieur. Er arbeitet als Wissenschaftler am DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik und leitet das Querschnittsprojekt Condition Monitoring of Safety Relevant Structures.



Eine neue Technologie erkennt und bekämpft Vereisungen an Flugzeugflügeln, bevor sie zum Problem werden. Nachdem der Test im Labor-Eiswindkanal erfolgreich war, erproben die Wissenschaftler die Technik nun unter Realbedingungen im Flugversuch.

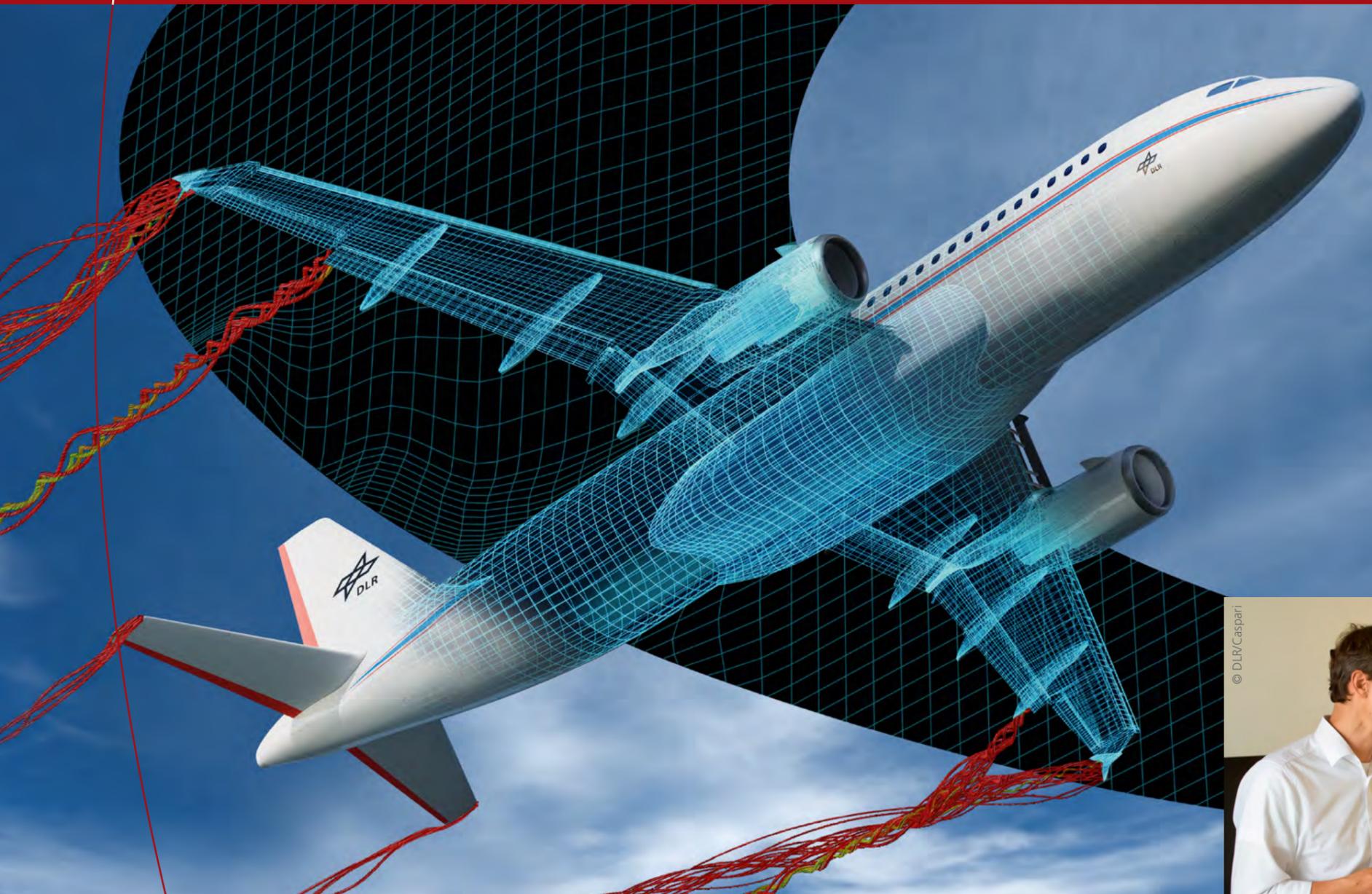
Das System ATHMoS unterstützt die Überwachung von Satelliten, indem es für alle Messgrößen und Sensoren am Satelliten eine Vielzahl statistischer Parameter ermittelt und permanent mit dem vorher erlernten Verhalten des Satelliten vergleicht. Neben einfachen Grenzwertüberschreitungen werden Kurz- und Langzeittrends ausgewertet und im Anschluss visuell so aufbereitet, dass der Zustand des Satelliten auf den ersten Blick erkennbar ist. Somit bleibt dem Ingenieur an der Betriebskonsole auch bei Tausenden zu überwachender Messgrößen keine unerwartete Änderung verborgen.



EIN DOMIZIL FÜR VISIONÄRE

Im Virtual Product House arbeiten Industrie, Forschung und Zulassungsbehörden an der virtuellen Flugzeugentwicklung

Von Uli Bobinger



Telefonkonferenzen, Mail- und WhatsApp-Gruppen, kommunizieren in der Cloud – Teamwork ist schon lange virtualisiert. In Bremen hat man jetzt den Charme wiederentdeckt, die Zukunft der Luftfahrt bei einer gemeinsamen Tasse Kaffee zu planen.

Filtergröße 4, Farbe weiß, Baujahr unbekannt. Kosten bei Neuanschaffung (die lange her sein muss): keine 30 Euro. Doch der Wert dieses Geräts im neuen Virtual Product House (VPH) in Bremen bemisst sich nicht nach seinem Preis. Um diese analoge Kaffeemaschine herum versammeln sich DLR-Wissenschaftler, Airbus-Ingenieure, Flugzeugtester der IABG und andere Partner einer neuen Forschungsplattform. Im Bremer „Center for Eco-efficient Materials & Technologies“, kurz EcoMaT, hat das vom DLR geleitete Virtual Product House (VPH) sein Domizil gefunden. Dr. Kristof Risse, im DLR verantwortlich für das neue Projekt: „Es ist einfach praktisch, wenn man nur mal über den Flur rufen muss, um sich für eine Besprechung bei einer Tasse Kaffee zu verabreden.“ Und auch wenn das wenig spektakulär klingt: Jeden Tag mit verschiedenen Forschungs- und Industriepartnern am Flugzeug der Zukunft zu arbeiten, und das unter einem Dach, ist etwas Besonderes.

Zu besprechen gibt es genug. Auf die Frage, wie sich neue Entwicklungen im Flugzeugbau so präzise simulieren lassen, dass am Ende ein komplettes neues Fluggerät virtuell zertifiziert werden kann, gibt es keine einfachen Antworten. Mit am Tisch im VPH sitzen Industriepartner wie Airbus, Liebherr-Aerospace Lindenberg, FFT Produktionssysteme und die Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft IABG. Dazu Partner der Universität Bremen und natürlich die mit diesen Themen ohnehin befassten DLR-Forschungsinstitute. „Die Digitalisierung der Luftfahrt bietet enorme Möglichkeiten, sie ist aber auch eine enorme Herausforderung für die Forschung. Daran wird das DLR gemeinsam mit Partnern im Virtual Product House arbeiten“, sagt DLR-Luftfahrtvorstand Prof. Rolf Henke. „Das DLR übernimmt dabei im VPH die Rolle des Integrators.“

Der Weg zum Flugzeug der Zukunft führt mehr und mehr über Simulationen am Rechner: Luftströmungen erfassen, die Belastbarkeit des Materials ermitteln, Auswirkungen von Strukturänderungen auf das Flugverhalten untersuchen – das DLR forscht mit seinen Partnern am „virtuellen Produkt“.



Daniel Reckzeh aus der Forschungs- und Entwicklungsabteilung bei Airbus in Bremen (links) und Dr. Kristof Risse, seitens des DLR verantwortlich für das Virtual Product House, schätzen die kurzen Wege in dem Bremer Neubau





„Forschungskeimzelle“ oder „Wissenschafts-WG“: Das EcoMaT (Center for Eco-efficient Materials & Technologies) in der Bremer Airport-Stadt hat schon so manchen Spitznamen erhalten. In einer sonst stark diversifizierten Forschungslandschaft gemeinsam unter einem Dach Luftfahrtforschung betreiben, das war die Grundidee für den Bau des Hauses. Hauptmieter in dem 22.000 Quadratmeter großen Domizil ist der Flugzeughersteller Airbus. Das EcoMaT ist ein Projekt der Stadt Bremen und bietet Platz für 500 Expertinnen und Experten. Das DLR ist mit dem Start des Projekts Virtual Product House Ende Juni 2019 offiziell ins EcoMaT eingezogen.

Vor dem ersten Testflug wissen, was funktioniert

Wer Flugzeuge nicht nur zuverlässiger, sondern auch effizienter und damit kostengünstiger entwickeln und bauen kann als die Konkurrenz, hat im Wettbewerb Vorteile. Das war schon immer so, wird angesichts härter werdender Bedingungen am Markt aber noch wichtiger. Dieser einfache Gedanke war ein nicht unwichtiges Motiv, um Anfang 2019 in Bremen das EcoMaT zu gründen. Hier forschen rund 500 Frauen und Männer an den Schlüsseltechnologien, die im Flugzeugbau (aber nicht nur dort) künftig von großer Bedeutung sein werden.

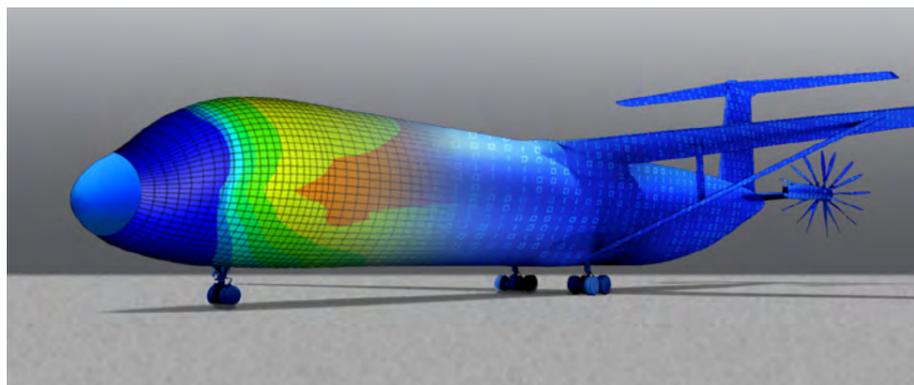
Der Flugzeugbau befindet sich weltweit im Umbruch, und dabei geht es nicht nur um den Wandel weg von der klassischen Fertigung hin zu einem immer stärkeren Einsatz von Verbundwerkstoffen (der Flugzeugrumpf sowohl der Boeing 787 als auch des Airbus A350 XWB bestehen schon heute komplett aus Kohlefaser-Verbundwerkstoffen). Erste Überlegungen zu völlig neuen Flugzeugkonzepten für die zweite Hälfte des Jahrhunderts gehen noch viel weiter. Diskutiert werden zum Beispiel Designs mit umgekehrter Ausrichtung („Pfeilung“) der Tragflügel oder Ideen, den Rumpf und die Flügel zu einer Einheit zu machen („Blended Wing Body“).

Klar ist: Beim Einsatz jeder neuen Technologie gibt es Risiken. Deshalb wird es immer wichtiger, bereits vor den ersten Testflügen zu erkennen, was funktioniert und was nicht. Um neue Technologien für einen noch sichereren, umweltfreundlicheren und wirtschaftlicheren Luftver-

kehr zu identifizieren, deren Einführung zu beschleunigen und um technologische Risiken zu reduzieren, sollen alle Prozesse, vom Entwurf über die Tests und anschließende Serienfertigung bis hin zum Betrieb und sogar der Außerdienststellung, zukünftig im Computer simuliert werden. Dies im großen Umfang zu tun und nicht nur bei einigen kleinen Komponenten, wird erst jetzt mit einer neuen Generation von Hochleistungsrechnern möglich.

Hier setzt die Arbeit im VPH an. Die Vision der virtuellen – das heißt simulationsbasierten – Zertifizierung eines Gesamtflugzeugs steht allerdings erst ganz am Ende der Kette. Willy Sigl von der Europäischen Agentur für Flugsicherheit EASA: „Derzeit ist das nicht möglich. Aber für die ferne Zukunft kann und soll man dieses sehr ambitionierte Ziel nicht ausschließen. Die EASA ist bemüht, einen agilen rechtlichen Rahmen aufrechtzuerhalten, der virtuelle Zulassungsmethoden nach dem letzten Stand der Technik ermöglicht.“

Zunächst aber geht es um einzelne Komponenten. Das auf drei Jahre angelegte Startprojekt des Virtual Product House, das vom Land Bremen und dem Europäischen Förderfonds für regionale Entwicklung (EFRE) unterstützt wird, konzentriert sich auf die multifunktionale Steuerfläche eines Flugzeugflügels. Projektleiter Dr. Kristof Risse: „Unser konkreter Anwendungsfall ist die Steuerfläche beziehungsweise die Landeklappen eines Flugzeugflügels mit dem Kernziel der virtuellen Zulassung. Hierzu wollen wir digitale Entwurfsmethoden enger mit virtuellen Tests und der virtuellen Fertigung verknüpfen und hinsichtlich ihrer industriellen Anwendbarkeit weiterentwickeln.“



Hochgenaue Simulationen und virtuelle Tests sparen Zeit und Kosten von physischen Tests. Das macht den Zulassungsprozess effizienter.

Und gerade deshalb ist Bremen auch so ein guter Standort für das Virtual Product House: Hier baut Airbus alle Klappen für die Hochauftriebssysteme und integriert dazu auch den kompletten Tragflügel mit diesen Systemen für die Airbus-Langstreckenmodelle. Im Flugbetrieb sind diese Steuerflächen klassischerweise meist eingefahren. So sollte der Flügel während des Reiseflugs einen möglichst geringen Reibungswiderstand haben und damit für eine maximale aerodynamische Effizienz sorgen. Nun bekommen die Flügel aber auch im Reiseflug neue Funktionen zugewiesen.

Im Reiseflug mit variabler Flügelwölbung

Mit dem Langstreckenflugzeug A350 XWB hat Airbus beim Thema multifunktionaler Flügel schon vorgelegt, denn bei diesem Modell werden die Steuerflächen am Tragflügel adaptiv genutzt. Die Form des Flügels kann den jeweils herrschenden Bedingungen angepasst werden. Alle Steuerflächen lassen sich unabhängig voneinander und gezielt ausschlagen (daher nennt man sie auch „Moveables“), um die strukturelle Belastung, zum Beispiel bei Turbulenzen oder Flugmanövern, zu verringern. Die Moveables verändern das Flügelprofil des Flugzeugs während des Reiseflugs, sodass die Umströmung und damit die Druckverteilung am Flügel steuerbar sind. Sie können auch eingefahren um wenige Grad in beide Richtungen ausgeschlagen werden, um die Flügelwölbung zu verändern. In der frühen Flugphase wird die Auftriebskraft für das Flugzeug Richtung Rumpf verlagert, um das Biegemoment um die Flügelwurzel zu verringern. Folge: Man kann die Tragflügelstruktur leichter auslegen. In späteren Flugphasen greift die Auftriebskraft des Flugzeugs weiter außen am Flügel an im Sinne des aerodynamischen Optimums. Das Klappensystem trägt so dazu bei, die Flügelform und damit die Auftriebsverteilung den Flugbedingungen anzupassen und auf diese Weise Kraftstoffverbrauch und Emissionen signifikant zu senken.

Daniel Reckzeh, Leiter der Forschungs- und Entwicklungsabteilung bei Airbus in Bremen, ist sich sicher: „Künftig werden wir bei Tragflügelentwürfen nicht mehr unterscheiden zwischen verschiedenen Zielfunktionen wie Flugleistung, Steuerbarkeit, Lastenausgleich oder Redundanz.“ Die heutige Vorabzuordnung einer Funktion zu einem Klappenelement sei bald schon überflüssig. Reckzeh: „Es geht darum, einzelne Bausteine im Gesamtsystem so zusammensetzen, dass komplett neue Lösungen entstehen.“

Nachweisführung schon während des Entwicklungsprozesses

So ist der multifunktionale Flügel in Bremen ein ideales Testobjekt, um die Themen virtueller Entwurf, virtuelle Fertigung sowie virtuelle Testverfahren bis hin zur Zertifizierung zu verknüpfen, und das in Gemeinschaftsarbeit mit den DLR-Instituten und Projektpartnern. Die Tendenz ist klar: „Wir bewegen uns weg von einer Nachweisführung erst am Ende des Konstruktions- und Fertigungsprozesses“, sagt Daniel Reckzeh. Wenn man physische Nachweise über die Tauglichkeit von Flugzeugkomponenten nicht erst am Ende der Entwicklung, sondern durch virtuelle Testmethoden schon eher führt, kann ein validiertes digitales Design eben viel schneller im Entwicklungsprozess für belastbare Tests genutzt werden – auch deshalb, weil im VPH die verschiedenen Fachdisziplinen in den Simulationen integriert sind.

Alle Partner im Virtual Product House arbeiten auf der Basis einer „Common Source“-Softwarearchitektur, das heißt einer geschützten Simulationsumgebung – eine wichtige Voraussetzung für die gemeinsame Entwicklung völlig neuer Verfahren, bei der der Input aus ganz verschiedenen Häusern kommt.



Der intelligente Tragflügel mit multifunktionalen Klappen ist das Startprojekt im Virtual Product House. Dafür entwickeln die DLR-Forscher gemeinsam mit ihren Partnern virtuelle Entwurfs-, Fertigungs- und Testverfahren, um so auch neue Technologien besser in das gesamte Flugzeug integrieren und anschließend bewerten zu können.

Physische Tests sind damit aber noch nicht am Ende. Die Industrieanlagen Betriebsgesellschaft, kurz IABG, ebenfalls Partner im Virtual Product House, betreibt an drei Standorten in Deutschland Teststände auf insgesamt 18.000 Quadratmetern. Dort verfolgt man seit Längerem den komplementären Ansatz physischer und virtueller Tests. Dr. Gerhard Hilfer von der IABG: „Physische Tests führen zu (be-)greifbaren Ergebnissen, während virtuelle Tests Vorhersagen sind. Ihre Zuverlässigkeit muss begreifbar gemacht werden, damit die hohen Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen der Luftfahrt erfüllt werden. Virtuelle Tests werden uns aber in immer größerem Umfang dabei helfen, neue Technologien erfolgreicher zu implementieren.“

Erfolgreicher – und schneller. Und schnell muss man sein, wenn man in diesem Markt bestehen will – gerade in der bevorstehenden Phase des Umbruchs: Die etablierten Flugzeughersteller Airbus und Boeing müssen sich neue Konzepte für ihre Flugzeuge der Zukunft ausdenken, während im wachstumsstärksten chinesischen Markt derzeit schon die Post abgeht. In den kommenden 15 Monaten werden in China voraussichtlich 200 neue Flughäfen für die allgemeine Luftfahrt entstehen, sodass das Land insgesamt bald 500 Flughäfen haben wird. Und mit eigenen neuen Flugzeugtypen wie der C919 des staatlichen Flugzeugbauers Comac – die dem A320 allerdings noch sehr stark ähnelt – drängt China in hohem Tempo auf den Markt. Allein für den chinesischen Inlandsverkehr schätzen Experten den Bedarf bis 2035 auf mindestens 6.000 neue Flugzeuge.

Die Konzentration auf die Tragflügel in der dreijährigen Startphase des VPH sind daher auch nur ein Anfang. Wenn ein standardisierter Prozess für virtuelle Tests und die Zulassung einer Flügelklappe etabliert ist, dann kann man das auf andere Komponenten, zum Beispiel das Fahrwerk, anwenden. Das Virtual Product House soll so Testzentrum und Netzwerkplattform zugleich sein – auf dem Weg zu einem komplett virtuellen Jungfernflug.

Solch eine gänzlich virtuelle Zertifizierung eines Gesamtflugzeugs ist noch eine Vision – aber die Richtung ist klar. Und deshalb ist es gut, wenn sich Dr. Kristof Risse, Daniel Reckzeh und die anderen DLR-Partner im neuen Virtual Product House an der alten Kaffeemaschine zum Gedankenaustausch treffen – vielleicht ist ja nach der dreijährigen Startphase auch mal eine moderne Espressomaschine drin.

Uli Bobinger arbeitet seit vielen Jahren als Luft- und Raumfahrtjournalist für verschiedene deutsche Fernsehsender. In der Branche ist er auch bekannt als Moderator von Fachkongressen.



AM GETEILTEN HIMMEL

Das DLR forscht für Sicherheit in einem sich rasant verändernden Luftraum

Von Dr. Dagi Geister

Eine Paketdrohne liefert eine Warensendung im Vorgarten eines Einfamilienhauses ab. Weiter oben bringen autonome Lufttaxi Pender zu ihren Arbeitsplätzen in der Stadt. Über den Straßenkreuzungen der Innenstadt schweben kleine unbemannte Fluggeräte. Sie erkennen das Verkehrsaufkommen oder Störungen und speisen die Informationen interaktiv in eine zentrale Verkehrsregelung ein. Dieses Szenario scheint einem Science-Fiction-Film entnommen, dabei ist dieses Zukunftsbild teilweise schon real. In Singapur werden im Projekt „Skyways“ per Drohne Arbeitsmaterialien zu Schiffen transportiert, in Städten wie Dubai, Wien und Ingolstadt werden derzeit Vorbereitungen zum Transport von Menschen per Lufttaxi getroffen. Doch ganz gleich, was technisch realisierbar und wirtschaftlich zu vertreten ist, zuerst muss eine zentrale Frage geklärt werden: Wie kann in einem Luftraum, in dem unbemannte und bemannte Luftfahrzeuge gemeinsam operieren, die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer in der Luft und am Boden gewährleistet werden?

Die Integration von unbemannten Luftfahrzeugen (Unmanned Aircraft Systems, kurz: UAS) in den Flugverkehr ist ein Thema von zunehmender Bedeutung. Immer wieder berichten Medien von Gefahrensituationen zwischen UAS und bemannten Flugzeugen oder Hubschraubern. Auch an Flughäfen wurden bereits mehrere solcher Vorkommnisse registriert. Deshalb gab es schon 2017 erste nationale Initiativen zur Regulierung, wie die Drohnen-Verordnung der Bundesregierung (§ 21a/§ 21b LuftVO). Diese verbietet, dass UAS in sensible Zonen fliegen – in die Nähe von Flughäfen oder Einsatzorten von Polizei und Feuerwehr. Doch diese Maßnahmen sind begrenzt und decken nicht den Regelbedarf eines wachsenden Luftverkehrs. Vor allem für Betreiber von kleinen bis mittleren unbemannten Luftfahrzeugen ist das Interesse an einer Aufstiegs-erlaubnis groß. Die Einsatzszenarien reichen von Hobbyflügen über verschiedene kommerzielle Bereiche (Infrastrukturüberwachung, Paketzustellung, landwirtschaftliche Unterstützung) bis hin zu behördlichen Einsätzen (Zivilschutz, Rettungsaktionen). Derzeit gibt es jedoch weder einen vollends definierten, (luft-)rechtlichen Rahmen noch eine etablierte Infrastruktur, um UAS im allgemeinen Luftraum zu nutzen und sicher zu verwalten.

Im Hinblick auf verschiedene Missionsanforderungen und Einsatzzwecke variieren heutige UAS-Systeme hinsichtlich ihrer Größe (von Quadcoptern über mittlere unbemannte Hubschrauber bis hin zu größeren Starrflüglern), ihrer Leistung (Manövrier- und Ausweichfähigkeit) und ihrer technischen Ausstattung (Sensorik und Grad der Autonomie). Die Herausforderung besteht darin, die Flugbewegungen von UAS mit unterschiedlichen Charakteristiken zusammen mit anderen Luftverkehrsteilnehmern, wie Hubschraubern, Segelflugzeugen und Fallschirmspringern, in einem Luftraum sicher zu planen und zu überwachen.

Blicken wir in die ferne Zukunft, so wird die Dringlichkeit intelligenter Regeln noch klarer. Eine Studie von SESAR Joint Undertaking (SESAR: Single European Sky ATM Research Programme) vom November 2016 prognostiziert für das Jahr 2050 mehr als sieben Millionen unbemannte Fluggeräte allein im privaten Bereich. Weitere 400.000 UAS werden für den kommerziellen und behördlichen Bereich erwartet. Einen wesentlichen Anteil daran werden die Drohnenflotten für Paketdienstleistungen und Infrastrukturüberwachung haben. Aber auch das Interesse an Lufttaxi steigt. Das alles erfordert besondere Sicherheitsmaßnahmen.

Eine umfassende Lösung zur Integration von UAS in den Luftraum ist also notwendig. Sie muss langfristig einen sicheren und effizienten Betrieb auch bei den verschiedensten Luftverkehrsteilnehmern und hohem Verkehrsaufkommen gewährleisten. Der jeweils zu betrachtende Luftraum definiert, je nach Luftraumkategorie und Flugbereich, zusätzliche Anforderungen an die Luftraumakteure: Flugregeln und Mindestabstände sind einzuhalten und die Luftfahrzeuge müssen je nach Luftraumkategorie zusätzlich mit Transpondern ausgestattet sein. Bei Flügen in urbanen Bereichen sind viele weitere Aspekte zu betrachten. So stellen zum einen komplexe Hinderniskulissen hohe Anforderungen an Detektionssysteme und an die Fliegbarkeit der UAS. Zum anderen gibt es zusätzliche Risikofaktoren wie



Menschenansammlungen, kritische Infrastrukturen, Bereiche hoher Signalabschottung oder Fallwinde, bei denen eine Einflugbeschränkung oder sogar ein Einflugverbot erhoben werden muss.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Datenschutz. UAS sind mit Kameras ausgestattet, deren Daten missbraucht werden könnten: eine potenzielle Gefährdung, die ein Akzeptanzproblem bei der Bevölkerung birgt. Auch Lärm, Emissionen und Umweltschutz spielen eine wesentliche Rolle. All diese Aspekte müssen berücksichtigt und zu einem tragfähigen Konzept gebündelt werden, das neben Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und technischer Realisierbarkeit auch gesellschaftliche Belange nicht vergisst.

LUFTVERKEHR MIT UNBEMANNTEN FLUGGERÄTEN – WAS IST NÖTIG?

Die Aufgaben eines klassischen Flugverkehrsmanagements (Air Traffic Management, ATM) finden sich auch in einem UTM (Unmanned Traffic Management) wieder. Es umfasst die optimale Ausnutzung des verfügbaren Luftraums (Air Space Management, ASM), eine Verkehrsflussregelung (Air Traffic Flow Management, ATFM) und Dienste für die operative Durchführung des Luftverkehrs (Air Traffic Services, ATS). Damit soll das UTM sichere und effiziente UAS-Operationen – mittelfristig im unteren Luftraum (unter 500 Fuß) und langfristig ebenfalls im kontrollierten Luftraum – ermöglichen. Dazu müssen Dienstleistungen bereitgestellt werden wie

- Luftraumorganisation und -management inklusive Geo-awareness (Bekanntgabe verbotener oder mit Auflage versehener Luftraumbereiche),
- Planung und Freigabe von UAS-Flügen,
- dynamische Kapazitätssteuerung,
- Routenplanung und Routenänderungen,
- Contingency-Management,
- Separationsmanagement sowie Konflikt- und Notfallmanagement,
- Wetter- und Windrestriktionen sowie
- Gelände- und Hinderniskarten.

DLR-Expertise für ein künftiges Luftverkehrsmanagement

Das DLR-Institut für Flugführung forscht seit vielen Jahren an Konzepten und Technologien für eine Integration von UAS in den Luftraum. Anfang 2018 stellte es ein Konzept für ein flexibles, europaweites Luftraummanagementsystem (U-space) vor. Dieses öffnet den Luftraum sowohl für UAS auf niedrigem als auch für solche auf hohem technischen Ausstattungsniveau. Gleichzeitig bietet es Anreize für UAS-Hersteller und -Betreiber, in die neue Technologie zu investieren, schließt jedoch nicht aus, dass minimal ausgerüstete und weniger leistungsfähige Luftraumnutzer in den U-space-Luftraum einfliegen. Das Konzept beruht auf effizienter Luftraumsegmentierung und auf Modellen für die UAS-Performance. Anhand von Luftraummerkmalen (Bevölkerungsdichte, Bodennutzung, Geofences, Verfügbarkeit von U-space-Diensten oder Auftreten von Sichtflugverkehr) wird der Luftraum in Zellen mit ähnlichen Anforderungen an die Luftraumnutzung aufgeteilt.

Je geringer die Gesamtleistungsfähigkeit des Luftraumteilnehmers ist, desto mehr Sicherheitsabstand und damit größeren Luftraumbereich zur alleinigen Nutzung würde er nach dem DLR-Konzept benötigen. Das bedeutet, dass ein Luftraumbereich gleichzeitig entweder von wenigen Luftfahrzeugen mit geringer Gesamtleistung oder aber von mehreren mit hoher Gesamtleistung genutzt werden kann. Das sich daraus ergebende Luftraummanagement würde viel Freiheit bei geringem Verkehrsaufkommen, aber wenig bei einem hohen Aufkommen bieten. So könnte der U-space-Luftraum sicher und effizient organisiert werden. Auch in dichten Verkehrsszenarien ließen sich so konfliktfreie Routen und Missionen strategisch planen und überwachen.

In dem nationalen Projekt City-ATM (Demonstration of Traffic Management in Urban Airspace) arbeitet das DLR an einem Konzept für ein Management im urbanen Luftraum. Es soll eine sichere und effiziente Integration von neuen Verkehrsteilnehmern, wie unbemannte Luftfahrzeugsysteme und Lufttaxis, ermöglichen. Dazu gehören die Definition und das Überprüfen von operationellen und technischen Konzepten für ein Luftraummanagement und das Bereitstellen von Informationen. Ebenso zu berücksichtigen sind das Steuern des Verkehrsflusses und das Überwachen des Verkehrs bezüglich möglicher Konflikte sowie grundlegende Konzepte für eine Kommunikations-, Navigations- und Überwachungsinfrastruktur. Darauf aufbauend wird eine Simulations- und Demonstrationsplattform für ein urbanes ATM ausgearbeitet. Diese hilft, ein unbemanntes Luftfahrzeug zu betrachten und zu realisieren, das unter diesen Umgebungsbedingungen und nach den neuen geltenden Regularien sicher operieren kann. Ziel des Projekts ist es, zahlreiche Stakeholder wie UAS-Hersteller, UTM-Systemprovider, Luftverkehrsbehörden und Anwender zusammenzubringen, um eine Gesamtlösung für die Integration von (teil-)automatisierten Luftfahrzeugen in den Luftraum zu erarbeiten.

Das Projekt City-ATM begann am 1. Januar 2018 und hat eine Laufzeit von drei Jahren. Es orientiert sich am europäischen SESAR-U-space-Programm. Letztendlich soll mit City-ATM ein umfassender Lösungsansatz für einen zukünftigen U-space demonstriert werden.

Dr. Dagı Geister leitet die Forschungsgruppe für unbemannte Luftfahrzeugsysteme am Institut für Flugführung in Braunschweig. Sie beschäftigt sich mit Forschungsfragen zur Integration von UAS und Lufttaxis in den Luftraum und ist in zahlreichen europäischen Gremien und Initiativen zur Ausgestaltung von U-space und Urban Air Mobility vertreten.



Entwurf einer bemannten sowie unbemannten Luftraumnutzung (SESAR-U-space-Blueprint)

Flugdemonstration des City-ATM-Systems

Das Projekt City-ATM hat im Mai 2019 die erste Demonstrationsphase in Hamburg erfolgreich absolviert. Es demonstrierte, wie mit Hilfe von vernetzter Flugplanung, Registrierung und Identifikation bis zur Flugüberwachung, Konflikterkennung und Konfliktvermeidung automatisch fliegende UAS gemeinsam sicher in einem städtischen Luftraum agieren können.



REGULARIEN FÜR DEN U-SPACE

Am 11. Juni 2019 veröffentlichte die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA; European Aviation Safety Agency) neue Verordnungen (DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2019/945), mit denen die Regularien für Drohnenflüge europaweit vereinheitlicht werden sollen. Diese sollen bis Juni 2020 in nationales Recht überführt werden. Insbesondere die in der derzeitigen Form geltenden Regeln für den Betrieb von unbemannten Fluggeräten unter § 21a/§ 21b LuftVO werden dann abgelöst. Wesentliche Änderungen betreffen speziell die Untergliederung von UAS-Missionen nach den Kategorien OPEN, SPECIFIC und CERTIFIED. Während in der sogenannten OPEN-Kategorie UAS dann europaweit genehmigungsfrei mit strengen betrieblichen Beschränkungen in den vorgesehenen Luftraumbereichen fliegen dürfen, gelten für SPECIFIC und CERTIFIED ihrem Missionsrisiko entsprechende operationelle und technische Anforderungen an einen Betrieb, der grundsätzlich genehmigungsbedürftig ist. Zudem müssen nach einer Übergangszeit von zwei Jahren alle UAS ein CE-Zeichen aufweisen.

Weitere Regularien beziehen sich auf die künftige Nutzung des U-space, also des für unbemanntes Fliegen erlaubten Luftraums (bis 500 Fuß über Grund). Enthalten ist die Ausgestaltung des Luftraums, der verschiedenen Luftraumkategorien und der unter verschiedenen Randbedingungen erlaubten UAS-Flüge. Dabei sollen auch grundlegende Services (Informationen und Fähigkeiten) bereitgestellt werden, um große Mengen von UAS in einem Luftraum sicher und effizient managen zu können.

Ein erster Entwurf der U-space-Regularien liegt vor und soll im vierten Quartal 2019 durch die EASA vorgestellt werden. Grundsätzlich sieht die Idee von U-space langfristig eine Integration von bemanntem und unbemanntem Luftverkehr vor. Damit wird sie sich auch irgendwann auf den derzeit noch für den bemannten Luftverkehr reservierten Luftraum auswirken. Die Ausgestaltung des zukünftigen Luftraums muss also bereits jetzt sorgfältig betrachtet werden.



CHEOPS PRÜFT PLANETEN-KANDIDATEN

Das kleine ESA-Weltraumteleskop CHEOPS erlaubt große Wissenschaft. Beim Vermessen extrasolarer Planeten ist das DLR dabei.

Von Ulrich Köhler

Es ist eine Mission der „S-Klasse“, die von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) im Herbst dieses Jahres ins Weltall befördert wird. Das „S“ steht in diesem Fall jedoch nicht für besondere Größe oder Superstärke, sondern für „small“: CHEOPS ist eine kleine Mission, ihr Name ein Kunstwort aus Characterising Exoplanet Satellite. Die Mission soll in erster Linie bereits bekannte, zumeist mit erdgestützten Teleskopen und der sogenannten Radialgeschwindigkeitsmethode entdeckte Exoplaneten untersuchen.

Mit der Radialgeschwindigkeitsmethode werden winzige Veränderungen im Lichtspektrum eines Sterns gemessen, die durch die Bewegung eines Sterns und eines oder mehrerer Planeten um den gemeinsamen Schwerpunkt verursacht werden. Diese Oszillation drückt sich in einer Dehnung (Rotverschiebung) oder Stauchung (Blauverschiebung) der Wellenlängen des Sternenlichts aus, dem nach dem österreichischen Physiker Christian Doppler (1803–1853) benannten „Dopplereffekt“.

Untersuchung verheißungsvoller Bewerber

Als 1995 – 40 Lichtjahre von der Erde entfernt – erstmals ein Planet entdeckt wurde, der einen sonnenähnlichen Stern umkreist, war dies eine astronomische Sensation. Gleichzeitig war es der Auftakt für eine neue Disziplin in der ältesten aller Wissenschaften: Prof. Didier Queloz von der Universität Genf, einer der beiden Entdecker von 51 Pegasi b – so die Bezeichnung für den planetaren Begleiter des Sterns Helvetios im Sternbild des Pegasus –, nennt sie „Exoplanetologie“. Das Wort ist wiederum eine Zusammensetzung, und zwar aus den Begriffen Planetologie, die bis zu diesem Zeitpunkt auf das Sonnensystem beschränkt war, und den extrasolaren Planeten oder kurz Exoplaneten. Sie sind die neuen Mitglieder im astronomischen „Zoo“.

Heute sind schon über 4.000 Exoplaneten bekannt, entdeckt von Teleskopen auf der Erde oder von Weltraumteleskopen wie Kepler, TESS und CoRoT. Vor allem die Kepler-Mission hat viele Planetenkandidaten ausgemacht, die aber noch zu überprüfen und zu bestätigen sind. Die Hauptaufgabe von CHEOPS ist es daher, über das Vermessen der Lichtkurven von hellen Sternen bei sogenannten Transits (also den Passagen von Exoplaneten vor ihrem Stern) und deren damit verbundener minimaler Verdunklung, Planeten hinsichtlich ihrer Größe, Umlaufzeit und physikalischer Parameter zu beurteilen.

Der Schlüssel liegt in der Dichte

Das Hauptziel der 2012 ausgewählten Mission ist die Untersuchung der Struktur von Exoplaneten, die größer als die Erde und kleiner als Neptun sind, also Durchmesser zwischen etwa 10.000 und 50.000 Kilometern haben. Dabei wird eine Technik verwendet, die als hochpräzise gilt: die Transitphotometrie. Voraussetzung dafür ist eine günstige Beobachtungsgeometrie. Der mit dem Dopplereffekt identifizierte Planet muss in der Beobachtungsebene des CHEOPS-Teleskops vor seinem Stern vorbeiziehen. Erst dann ist eine Lichtkurvenaufzeichnung mit der Transitmethode möglich.

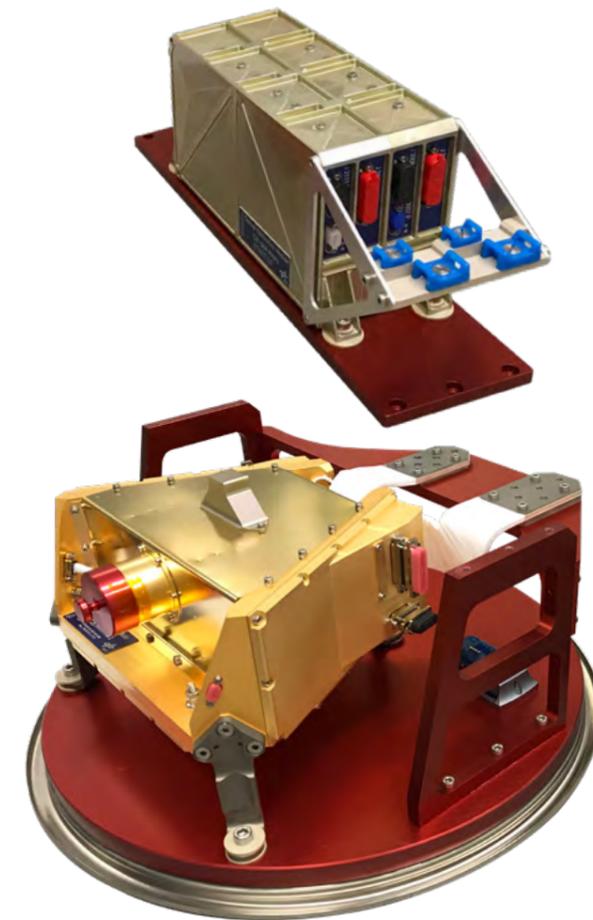
Durch das Beobachten der Abdunklung des Sternenlichts während eines Transits ist es möglich, die Größe des Planeten zu bestimmen. Sie liefert in Kombination mit der Masse – die aus den Radialgeschwindigkeitsmessungen bekannt ist – ein Maß für die Dichte des Planeten. Diese ist einer der wichtigsten Parameter, um den Stern zu charakterisieren und um die Natur dieser Planeten zu erkennen. So lassen sich zum Beispiel erdähnliche Planeten mit festen Gesteinsoberflächen von Gasplaneten oder Ozeanwelten unterscheiden. Der Sensor des Teleskops ist in den Wellenlängen des sichtbaren Lichts bis ins nahe Infrarot empfindlich, also von 400 bis 1.100 Nanometer.

CHEOPS wird die Planeten außerdem beobachten, während sie sich auf ihrem Orbit um ihren Zentralstern herum bewegen und von dessen Licht beschienen werden. Daraus wollen die Forscherinnen und Forscher Rückschlüsse auf die Existenz einer Atmosphäre ziehen, vielleicht sogar herausfinden, ob der beobachtete Exoplanet Wolken hat. Anders als frühere Missionen ist CHEOPS also keine „Entdeckungsmaschine“, sondern eine Folgemission, die sich auf einzelne Sterne konzentriert, von denen bereits bekannt ist, dass sie einen oder mehrere Planeten beherbergen. Neue, vor allem erdähnliche Exoplaneten finden soll ab 2026 die wesentlich größere ESA-Mission PLATO, bei der 26 einzelne Teleskope und Kameras zum Einsatz kommen.

Kleines Teleskop auf großer Mission

Das 120 Zentimeter lange CHEOPS-Teleskop hat eine Öffnung von 30 Zentimetern und eine Masse von knapp 60 Kilogramm. Zusammen mit der Plattform wiegt es gerade einmal 300 Kilogramm. Deshalb benötigt das Weltraumteleskop für die Reise ins All keine eigene Startrakete, sondern wird als „Trittbrettfahrer“ zusammen mit einer weiteren Nutzlast vom ESA-Weltraumbahnhof in Kourou (Französisch-Guayana) bis Ende November auf einem Sojus-Träger in seinen Orbit gebracht werden. Die von Airbus Defence and Space bei Madrid gefertigte Teleskopplattform hat bei einer sechseckigen Grundstruktur nur eine Größe von insgesamt anderthalb Metern. Das DLR, das auch an der wissenschaftlichen Auswertung der Daten beteiligt ist, steuert mit seinen Instituten für Optische Sensorsysteme und für Planetenforschung (beide in Berlin-Adlershof angesiedelt) das Fokalebene-Modul für den Aufnahmesensor und das Modul mit der Sensorsteuerelektronik für die dahinter befindliche Front-End-Elektronik bei. Das Fokalebene-Modul stellt eine besondere Herausforderung für das Gesamtsystem dar, sowohl im Hinblick auf die Systemperformance als auch wegen der kurzen Entwicklungszeit. CHEOPS ist eine gemeinsame Mission der ESA und der Schweiz, die das Konsortium von elf an der Mission beteiligten ESA-Mitgliedsstaaten, darunter auch Deutschland, anführt.

Ulrich Köhler ist Geologe am DLR-Institut für Planetenforschung und wagt nach 30 Jahren Forschung zu Mond, Merkur und Mars nun den großen Schritt zu den Planeten an den Millionen Sternen der Milchstraße.



Das CHEOPS-Fokalebene-Modul (unten, Durchmesser der Bodenplatte etwa 40 Zentimeter) und darüber das Modul für die Sensorsteuerelektronik. Beide Module wurden zu wesentlichen Anteilen am DLR-Institut für Optische Sensorsysteme in Berlin-Adlershof entwickelt und gebaut.

DETAILS DER MISSION

CHEOPS beobachtet aus einer niederen sonnensynchronen Erdumlaufbahn in 700 Kilometer Höhe und wird zunächst dreieinhalb Jahre im Einsatz sein, mit der Option für eine Verlängerung auf fünf Jahre. Gesteuert wird die Mission vom CHEOPS-Missionsbetriebszentrum im spanischen Torrejón de Ardoz, das Kontakt zum Teleskop hat, wenn es über die spanischen ESA-Bodenstationen fliegt. Pro Tag gibt es fünf bis sechs Übertragungsphasen, bei denen etwa 1,2 Gigabit Beobachtungsdaten auf die Erde gelangen. Das wissenschaftliche Operationszentrum befindet sich an der Universität Bern in der Schweiz.

Eine der herausragenden Eigenschaften des Teleskops ist die Möglichkeit, über lange Zeiträume eine extrem hohe Zielgenauigkeit von idealerweise einer Bogensekunde beibehalten zu können. Orientierung und Rotation des Weltraumteleskops wurden so gewählt, dass nahezu jeder Punkt im All angepeilt werden kann. Ein gewöhnlicher Beobachtungszyklus beträgt 48 Stunden. Die hohe Empfindlichkeit und Stabilität, die durch das vom DLR entwickelte Fokalebene-Modul gewährleistet werden, sind für den Erfolg der Mission ausschlaggebend. Neben den Beobachtungen durch das CHEOPS-Team wurde ein Fünftel der Einsatzzeit des Instruments für externe Wissenschaftler reserviert.

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

[ESA: sci.esa.int/cheops](https://sci.esa.int/cheops)

[Universität Bern: cheops.unibe.ch](https://cheops.unibe.ch)

IM BILDE, WENN DER BODEN WANKT

Smarter Prozess mit Big Data:
Monitoring von Georisiken aus dem All

Von Bernadette Jung

Er hat viele Gesichter und offenbart sich in verschiedenen Lebenswelten: der globale Wandel. Mit unterschiedlichsten Folgen für die Umwelt ist er samt seinen Wechselwirkungen kaum übersehbar bei den Menschen angekommen. So ist zum Beispiel in den letzten Jahrzehnten das Risiko gestiegen, von Naturgefahren betroffen zu sein. Zum einen treten durch den Klimawandel mehr und mehr extreme Wetterereignisse auf. Zum anderen leben die Menschen weltweit zunehmend in Städten, besiedeln Regionen immer dichter und nähern sich dabei dem Wirkungsbereich von Vulkanen, Tsunami-Flutwellen oder massiven Erdbewegungen. Ein einzelnes lokales Ereignis kann dabei unmittelbare Folgen auch für andere Regionen unserer mobilen Welt haben. Der Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull 2010 und das darauf folgende Flugverbot über Europa zeigte das eindrücklich. Um Georisiken besser vorhersagen und vorbeugen zu können, muss man ihre Entstehung und die komplexen Veränderungsprozesse noch besser verstehen. Hochentwickelte Fernerkundungssatelliten und -technologien sind dabei unverzichtbare Helfer. Spezialisten am Earth Observation Center des DLR haben daher einen besonderen Datenservice eingerichtet – abrufbar über die „Geohazards Exploitation Platform“, kurz GEP.

Die Geohazards Exploitation Platform

GEP ist ein cloudbasiertes Webportal. Es liefert Datenprodukte rund um das Thema Georisiken. Entwickelt wurde es von Terradue Srl im Auftrag der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Das Earth Observation Center (EOC) bietet hier zwei Dienste an: aktuelle Kartierungen der weltweit gefährlichsten Erdbebengebiete und die Überwachung von 22 Vulkanen. Der erste Dienst ist der „Sentinel-1 Medium-Resolution InSAR Browse Service“. Er arbeitet mit einer Auflösung von 100 Metern. Insgesamt 40 Prozent aller aktiven seismischen Gebiete der Welt stehen unter seiner ständigen Beobachtung. Die Auswertungen sind über das Datenportal frei zugänglich. Der zweite Dienst hat mit einer höheren Auflösung von 50 Metern die weltweit gefährlichsten aktiven Vulkane im Blick. Auch bei großen Erdbeben wird der hochauflösende „Sentinel-1 High-Resolution InSAR Browse Service“ für Expertenanalysen herangezogen.

Wie der Name verrät, werden die Radardaten der Sentinel-1-Mission verarbeitet. Die Wächtersatelliten Sentinel-1A und Sentinel-1B sind seit 2014 und 2016 im Orbit. Sie können rund um die Uhr Aufnahmen erstellen, unabhängig von Tageszeit und Witterung. Aus rund 700 Kilometer Höhe machen sie kleinste Bodenbewegungen sichtbar. Ihre Radarsignale dringen durch die Vegetation bis zum Erdboden und erfassen Veränderungen im Zentimeter- und sogar Millimeterbereich. Die Sentinel-1-Satelliten liefern über Europa alle sechs Tage und weltweit alle zwölf Tage aktuelle Aufnahmen. „Sobald wir die Signale empfangen, verarbeitet unser Prozessor die SAR-Bilder (Synthetic Aperture Radar) des Satelliten automatisch zu verschiedenen Datenprodukten und lädt sie direkt in die Cloud. Dazu gehören Amplitudenbilder, Interferogramme und andere Radarbilder, die Deformationen an der Erdoberfläche sichtbar machen“, erklärt Dr. Ramon Brcic, Wissenschaftler am Earth Observation Center des DLR in Oberpfaffenhofen und Projektleiter des Sentinel-1 InSAR Browse Services auf GEP.

Die Radarprodukte ermöglichen Geophysikern, Vulkanologen, Seismologen und anderen Experten Rückschlüsse auf Veränderungen der Erdoberfläche – von Höhenänderungen über Bodenbeschaffen-



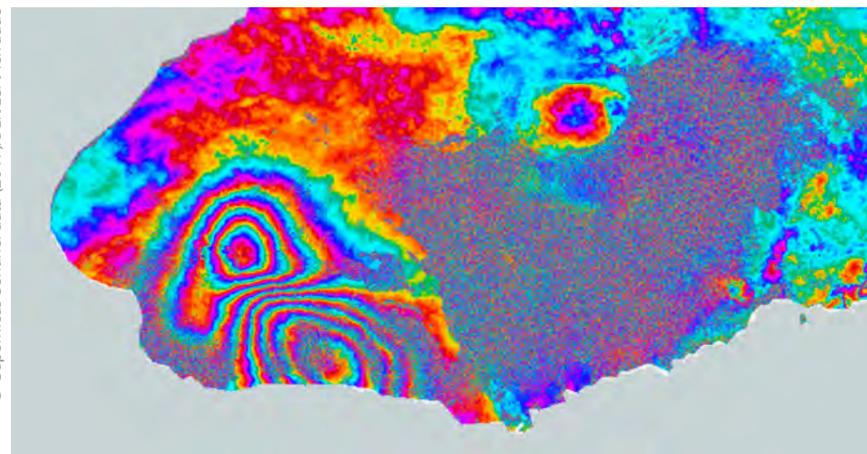
Experte für die Analyse von Erdbeobachtungsdaten und Projektleiter für den Sentinel-1 InSAR Browse Service auf GEP: Dr. Ramon Brcic

„Mit unserem Dienst sehen Experten gleich, welche Datensätze sie genauer untersuchen müssen. Nach ihren Analysen können sie Aussagen zum Risiko weiterer Beben und zu deren zu erwartenden Stärken treffen.“

Dr. Ramon Brcic

heit und Topografie bis hin zu kleinsten Bewegungen. Dies ist wichtig, um Vorhersagen zu treffen und Risiken zu kartieren. Anhand von Zeitreihenanalysen von hunderten Aufnahmen über mehrere Jahre hinweg kann man beispielsweise genau erkennen, wo es an den Grenzen tektonischer Platten zu Deformationen kommt und wie schnell sich die Platten bewegen. Aber auch akute Naturereignisse wie Erdbeben, Vulkanausbrüche und Überflutungen können besser und schneller bewertet werden. Daher nutzen Forschungsstationen, Messstationen und Monitoring-Dienste den Datenservice aus Oberpfaffenhofen. „Mit unserem

InSAR-Dienst auf GEP sehen Experten gleich, welche Datensätze sie genauer untersuchen müssen. Nach ihren Analysen können sie Aussagen zum Risiko weiterer Beben und zu deren zu erwartenden tektonischen Stärken treffen“, erläutert Brcic. „Normalerweise müssen solche Bruchstellen aufwändig mit GPS-Sensoren am Boden vermessen werden. Dank der Radarinterferometrie können wir aber schon mit einem Überflug riesige Gebiete detailliert kartieren.“



GEP-Ansicht Ansicht des Cerro Azul Vulkans auf der Galapagosinsel Isabela (Ecuador) im High-Resolution (50 Meter) InSAR Browse Service. Die interferometrische Phase zeigt die durch Magma verursachte Bodenbewegung im Zeitraum vom 8. bis zum 20. März 2017. Die Farbyklen zeigen eine Absenkung von 11 Zentimetern auf dem Gipfel und eine 14-Zentimeter-Erhöhung an der Südost-Flanke.

Status auf einen Klick

Die Sentinel-Mission ist Teil des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus, und die Satellitendaten sind somit frei verfügbar. Ob Privatperson, Forscher oder Dienstleister – jeder kann die Rohdaten nutzen, um sich zu informieren, zu forschen oder neue Anwendungen zu entwickeln. Doch zuvor türmt sich ein unüberschaubarer Datenberg auf, den es zu bezwingen gilt: Wo lohnt es sich zu suchen? Welche Informationen lassen sich aus den Daten ableiten? Welcher Datensatz muss genauer betrachtet werden?

„Damit die unterschiedlichen Nutzer schnell und gezielt auf die Sentinel-Daten zugreifen können, definierte die ESA sieben Themenbereiche, quasi erste Filter. Für jedes Thema gibt es ein eigenes Datenportal: Küstenumwelt, Forstwirtschaft, Hydrologie, Polarregionen, städtische Umwelt, Ernährungssicherheit – und eben Georisiken. Dafür sind wir im EOC zuständig“, fasst Brcic zusammen. Als Spezialist für SAR-Signalverarbeitung weiß er, wie mühevoll die Suche nach passenden Datensätzen ist.

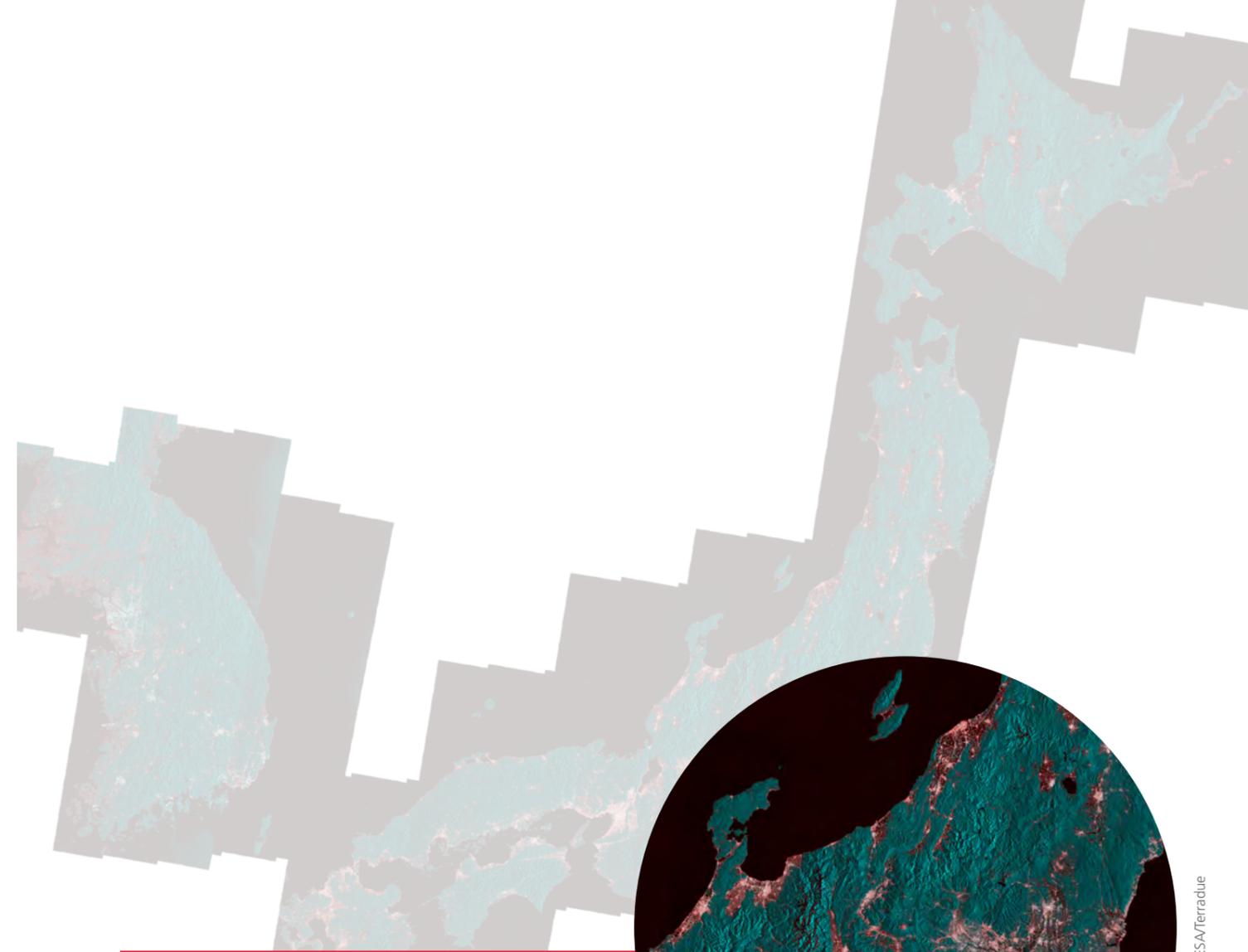
Das Besondere an der Geohazards Exploitation Platform ist die vollständig automatische Verarbeitungskette. Nutzerspezifische Datenprodukte stehen dort anwendungsbereit zur Verfügung. Dank der Suchmaske haben Besucher des Webportals auch alle wichtigen Vulkan- und Erdbebengebiete sofort im Blick. Bei Bedarf kann der vordefinierte Suchbereich manuell angepasst werden. „Wenn ich also Daten von einem bestimmten Erdbeben brauche, muss ich nur im GEP nachsehen, ob das Ereignis von den Satelliten aufgenommen wurde und ein entsprechendes Interferogramm vorhanden ist. Das kann ich sofort betrachten und weiß, ob es sinnvoll ist, den Datenstapel weiterzuverarbeiten. In der Regel gibt es von einem Erdbeben mehrere Interferogramme aus verschiedenen Blickrichtungen, zu verschiedenen Zeiten, sodass ich mir das beste für meine Analyse aussuchen kann“, beschreibt Brcic begeistert die Vorzüge. „Ich muss nicht extra etwas ansteuern, die Bilder liegen direkt vor mir“.

Automatisierte Datenverarbeitung

Der „Integrated Wide Area Processor“ (IWAP) erstellt aus den Radardaten fertige Bilder. Dieser Prozessor verarbeitet die Daten von Sensoren mehrerer Radarsatelliten mittels verschiedener Softwaremodule. Das System haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung vor rund 15 Jahren erarbeitet. Es wird stetig weiterentwickelt und an neue Anforderungen angepasst. Für die systematische Überwachung von Georisiken hat das Team um Brcic den bewährten DLR-Prozessor in das Portal-system der ESA integriert. IWAP bezieht die Rohdaten der Sentinel-1-Satelliten direkt aus dem „Copernicus Open Data Hub“, dem zentralen Datenarchiv des europäischen Erdbeobachtungsprogramms. Pro Bildpaar generiert der Prozessor sechs Endprodukte. Am Ende dieser interferometrischen Verarbeitungskette finden sich die aufbereiteten Radarbilder auf der Geohazards Exploitation Platform.

Für den „High-Resolution“-Service zur Beobachtung von 22 Vulkanen sind nur wenige Interferogramme pro Tag notwendig. Der „Medium-Resolution-Dienst“ für seismische Gebiete hingegen deckt insgesamt 15 Prozent der Landoberfläche der Erde ab. Im Zeitraum von 2017 bis 2018 wandelte das System dazu täglich ein Terrabyte Rohdaten in mehr als 100 Interferogramme um. So entstand durchschnittlich alle 15 Minuten ein Interferogramm. Alle stehen den Wissenschaftlern und anderen Nutzern seither zur Verfügung. Mit dieser systematischen Verarbeitung erzielte das System seine höchste Durchsatzleistung.

Die Geohazards Exploitation Platform ist seit Mitte 2016 online und hat ihre Erprobungsphase inzwischen erfolgreich abgeschlossen. Mit der Verarbeitung von Big Data im operationellen Betrieb hat das SAR-Team aus Oberpfaffenhofen die volle Leistungsfähigkeit ihres Systems eindrucksvoll demonstriert. Die technischen und technologischen Möglichkeiten enden damit aber nicht. In Zukunft könnte noch eine weitere Funktion des IWAP-Prozessors in den Datenservice



GEP-Ansicht von Japan/Korea im Medium-Resolution (100 Meter) InSAR Browse Service über dem Zeitraum Mai bis Juni 2017. Jedes der 33 Bilder ist eine Zusammenstellung von verschiedenen Ergebnissen – hier Amplitude und Kohärenz –, um bestimmte Details zum Vorschein zu bringen. Städtische Gebiete erscheinen weiß, stark bewachsene Gebiete cyan und Gebiete mit wenig oder ohne Bewuchs rötlich. Neben diesem Produkt werden ein Interferogramm und vier weitere spezialisierte Ansichten auf GEP zur Verfügung gestellt.

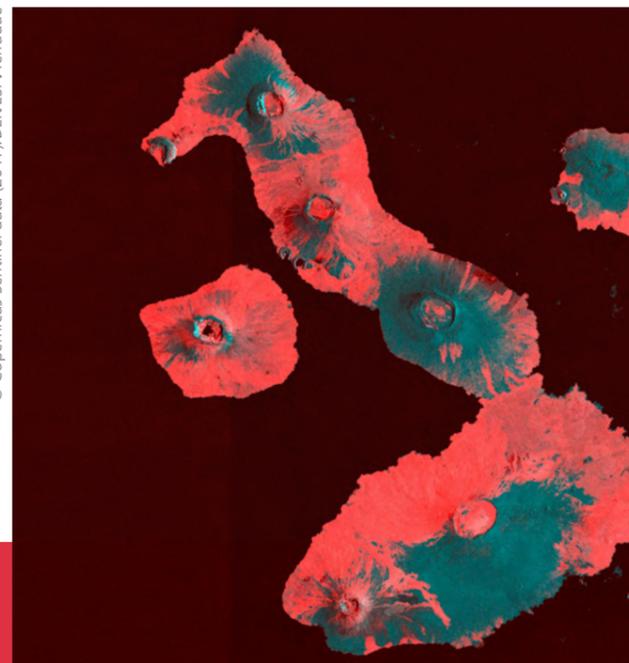
eingebunden werden. So ist es mittels der PSI-Verarbeitungskette (Persistente Streuer Interferometrie) möglich, aus den Radardaten automatisierte Zeitreihenanalysen zu gewinnen. Für die Risikobewertung von Erdbeben wird das Verfahren außerhalb von GEP bereits genutzt und weiterentwickelt. Auch die PSI-Stapelverarbeitung von sehr hohen Datenmengen mit hunderten Einzelbildern ist eine interessante Funktion. Mit ihr kann die Geschwindigkeit von Deformationen einfacher bestimmt werden.

Technologien und das nötige Know-how für weitere Anwendungen und Services sind vorhanden. „Will man mehr, geht es vor allem um Rechnerleistung“, sagt Brcic. „Ein Weg, um Rechnerleistung zu sparen und effizienter zu nutzen, ist, die Daten noch gezielter zu prozessieren. Das heißt, dass der Service erst dann das Interferogramm eines Gebiets erstellt, wenn ein Bedarf gemeldet wird.“ Momentan

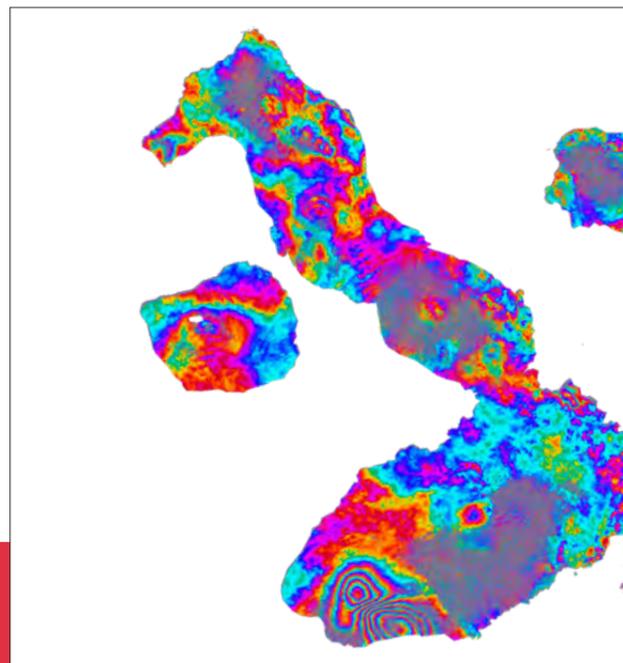
arbeitet das Team an der Umstellung des Systems hin zu einem ereignisgesteuerten Dienst. Künftig soll GEP dann bei einem Erdbeben oder Vulkanausbruch die passenden Sentinel-1-Daten automatisch suchen und verarbeiten. Für den Schutz vor Georisiken werden die Fernerkundungsexperten am EOC so auch weiterhin praxisnahe Methoden austüfeln und smarte Big-Data-Lösungen finden.

Bernadette Jung ist Redakteurin im DLR Oberpfaffenhofen.

geohazards-tep.eu



Galapagosinseln: Das GEP-Produkt kombiniert hier zwei verschiedene Aspekte eines Bildpaares, die Amplitude und die Kohärenz, und hebt diese Eigenschaften in Falsch-Farben hervor. So lassen sich stabile Regionen (rot) und veränderliche Regionen (cyan) auf einen Blick unterscheiden. (High-Resolution InSAR-Browse Service, Zeitraum 8.–20. März 2017)



Galapagosinseln: Das Interferogramm macht sichtbar, wie sich der Boden durch die Vulkanaktivitäten hebt und senkt – jeder Farbzyklus steht für eine Veränderung von jeweils 2,8 Zentimetern (High-Resolution InSAR-Browse Service, Zeitraum 8.–20. März 2017)

Messen, reinigen, fotografieren, dokumentieren: Alle Eye2Sky-Messstationen müssen regelmäßig gewartet werden. Auf dem Dach der Oldenburger EWE AG nimmt Thomas Schmidt eine besonders zentrale Messstation unter die Lupe, deren Kamerabild in gleich mehreren Richtungen das Bild anderer Stationen des Netzwerks überlappt.

SCHNELLER ALS DER SCHATTEN

DLR errichtet einzigartiges meteorologisches Netzwerk zur präzisen Vorhersage der Sonneneinstrahlung

Von Heinke Meinen

Die Luft ist norddeutsch klar, eine frische Brise weht übers Land. Kleinere Wolkenfelder wechseln sich in rascher Abfolge mit sonnigen Phasen ab. Licht und Schatten fast im Minutentakt. Vom Dach aus ist der Blick in alle Himmelsrichtungen frei. Thomas Schmidt prüft ein letztes Mal die exakte horizontale Ausrichtung der Sensoren. Alles passt – die neue Wolkenkamera ist einsatzbereit. „Unser Netzwerk wächst“, stellt er zufrieden fest „dies ist bereits die neunte Messstation, die wir in Betrieb nehmen. Und genau hier haben wir einen idealen Standort gefunden.“

„Hier“, das ist Friedrichsfehn, rund sieben Kilometer südwestlich vor Oldenburg. Ein privater Bungalow, geringe Dachneigung. Der gemauerte Schornstein gibt der gut zwei Meter hohen Messstation festen Halt. Ideal ist dieser Standort vor allem deshalb, weil hier so häufig Südwestströmung herrscht. Die Wolkenfelder, die vorüberziehen, erreichen wenige Minuten später die Stadt mit ihren zahllosen Solaranlagen. Auf diese spezielle

Kurzfrist-Wettervorhersage hat es Thomas Schmidt abgesehen. Als Energiemeteorologe forscht er am DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme an der Schnittstelle von Klima- und Energiewende.

„Die Intensität von Sonne und Wind hat direkten Einfluss auf unser Energiesystem. Das ist heute so und das wird sich künftig noch deutlich verstärken“, sagt der Wissenschaftler, der seit knapp einem Jahr gemeinsam mit seinem Team ein Netzwerk von bis zu 34 Wolkenkameras und weiteren Messsensoren aufbaut. Ab dem Jahr 2020 soll es unter dem Namen „Eye2Sky“ das Geschehen am Himmel zwischen Oldenburg, Nordseeküste und niederländischer Grenze im Blick haben. Vorrangiges Ziel: eine flächendeckende, räumlich und zeitlich extrem hochaufgelöste Prognose der Sonneneinstrahlung. Mit ihr

sollen sich künftig die Energieerträge sämtlicher Fotovoltaikanlagen der Region im Minutenmaßstab errechnen lassen. Besonders für Netzbetreiber sind diese Daten äußerst hilfreich. Sie müssen bei kurzfristigen Schwankungen im Fotovoltaikertrag mit einem intelligentem Einspeise- und Speichermanagement gegensteuern. Je mehr erneuerbare Energien eingespeist werden, desto notwendiger wird das. Die Stabilität des Stromnetzes genießt oberste Priorität.

Thomas Schmidt hat die Interessen der Netzbetreiber im Blick. Zumindest theoretisch kann er ihnen Lösungen anbieten. Ganz praktisch beschäftigen ihn derzeit jedoch vor allem organisatorische Fragen. „Jede neue Station ist eine echte Herausforderung“, sagt er. „Bis wir so etwas wie hier in Friedrichsfehn realisiert haben, dauert es Wochen, manchmal Monate, verbunden mit viel Papierkram.“ Es geht um Haftung, garantierte Nutzungszeiten, Kostenübernahmen. Rechtliche Fragen müssen geklärt, Verträge unterzeichnet werden.

Ob sich ein Standort für das Netzwerk eignet, entscheidet nicht nur die geografische Lage. Ausschlusskriterien können auch die Eigentumsverhältnisse, die Tragfähigkeit des Dachs oder der uneingeschränkte Zugang für Wartung und Reinigung sein. „Selbst wenn dies alles passt und der Eigentümer unser Projekt unterstützen will“, ergänzt Thomas Schmidt, „müssen wir viele weitere Faktoren prüfen: Wie lässt sich eine dauerhafte und witterungssichere Stromversorgung auf dem Dach sicherstellen? Finden wir am Gebäude sturmsichere Befestigungsmöglichkeiten? Ist an dem Standort die LTE-Netzqualität für den Datentransfer gegeben? Gestattet uns der Eigentümer, alternativ das WLAN zu nutzen? Und vor allem: Versperrt nicht doch irgendwo ein Gebäude oder ein Baum unserer Wolkenkamera die Sicht?“

Herkömmliche Wetterprognosen sind bei Weitem nicht in der Lage, Verschattungen am Boden so kurzfristig und präzise vorherzusagen wie das Eye2Sky-Messnetz. Das liegt nicht zuletzt an den dreidimensionalen Wolkenstrukturen, die auf Satellitenbildern nicht erkennbar sind. Hier bringt das Netzwerk mit dem Blick aus unterschiedlichen Standorten den entscheidenden Vorteil. Thomas Schmidt deutet auf die weiße Haube oberhalb der anderen Messgeräte an der Station

„Diese Wolkenkameras fotografieren den Himmel alle 30 Sekunden im 360-Grad-Blick, rund vier Kilometer in jede Richtung.“

und erklärt: „Diese Wolkenkameras fotografieren den Himmel alle 30 Sekunden im 360-Grad-Blick, rund vier Kilometer in jede Richtung. Je nach Bewölkung kann das mal weiter, mal näher sein. Weil sich die Bilder benachbarter Stationen zum Teil überlappen, können wir die

Höhe einzelner Wolken errechnen. Das ist entscheidend; schließlich geht es uns nicht um die Position der Wolke, sondern um die ihres Schattens.“

Sämtliche Daten – das sind neben den Aufnahmen der Wolkenkameras zum Beispiel auch Angaben zu Temperatur, Feuchte oder diffuser Licht-einstrahlung – werden permanent an einen Hochleistungsrechner im Institut für Vernetzte Energiesysteme übermittelt. Bearbeitet wird diese Informationsflut mit einer Software, die das DLR-Institut für Solarforschung am Außenstandort im spanischen Almeria entwickelt hat. Dessen Mitarbeiter unterstützen die Oldenburger tatkräftig bei der Auswertung. Erst dabei werden aus rohen Kamerabildern, die zunächst nur unzählige verzerrte Bilder des Himmels zeigen, verwertbare Prognosen, die Netzbetreibern künftig von großem Nutzen sein könnten.

Ob es so weit kommt, ist offen. „Es ist ein Forschungsprojekt, kein kommerziell ausgereiftes Produkt“, stellt Thomas Schmidt klar. „Wir müssen Erfahrungen sammeln und die Technologie kontinuierlich weiterentwickeln.“ Entscheidend werde sein, wie am Ende das Ge-

samtpaket aus Kosten, Nutzen und Aufwand aussehen wird. Um das herauszufinden, wird das Wissenschaftlerteam aus Oldenburg das Eye2Sky-Netzwerk Schritt für Schritt ausbauen. Einen verheißungsvollen Standort für die zehnte Messstation hat Thomas Schmidt bereits fest im Visier: das Dach einer alten Panzerhalle auf dem Gelände des ehemaligen Fliegerhorsts Oldenburg. „Komplikationslos“ hört sich anders an. Dennoch ist der Standort ausgesprochen attraktiv: Hier entsteht ein hochmodernes Wohnquartier mit innovativen Energiekonzepten, zahllose Solaranlagen inklusive. Verlässliche Prognosen über ihren Energieertrag wird künftig das Eye2Sky-Netzwerk liefern können, einschließlich der Messstation auf dem Bungalow in Friedrichsfehn. Zumindest bei Wind aus Südwest.

Heinke Meinen ist im DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme in Oldenburg für die Kommunikation verantwortlich.

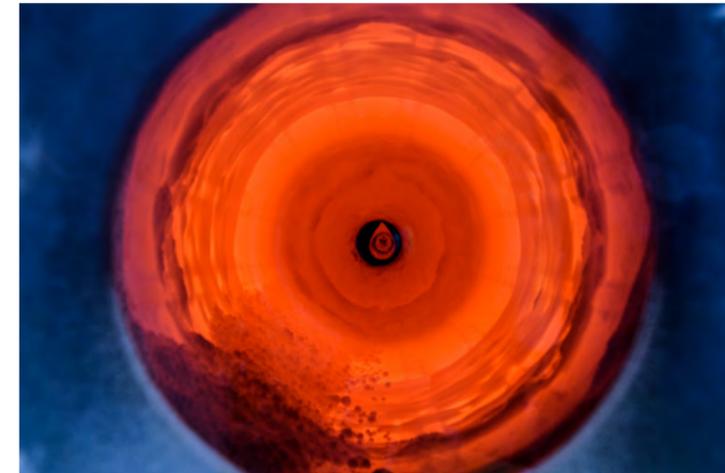
MELDUNGEN

ITALIENISCHE PASTA TROCKNET MIT SOLARENERGIE

Ein solarthermisches Turmkraftwerk soll ab 2021 einer Produktionsstätte in Italien die Prozesswärme zur Pasta-Trocknung liefern. Dr. Eckhard Lüpfer von der HeliHeat GmbH zeigte auf dem 22. Kölner Sonnenkolloquium im Juli 2019, wie das EU-geförderte Projekt HIFLEX ein sogenanntes Hochtemperatur-Partikelsystem für den Einsatz in einer Anlage des Unternehmens Barilla vorbereitet. Solche Systeme sind in der Lage, solare Prozesswärme bis zu einer Temperatur von 1.000 Grad Celsius bereitzustellen. Ein in das Turmkraftwerk integrierter Wärmespeicher nimmt zusätzlich zur solar erzeugten Wärme Windstrom auf, um auch in Zeiten ohne ausreichende Sonneneinstrahlung genügend Wärme liefern zu können.

Generell hinkt die Wärmeversorgung aus erneuerbaren Energiequellen der Stromerzeugung hinterher: In Industrieprozessen steht die Umstellung auf eine kohlenstoffarme oder -freie Wärmebereitstellung noch am Anfang. Eine Ursache dafür ist, dass Industrieunternehmen in der Regel rund um die Uhr Hochtemperaturwärme benötigen. Fluktuierende Energiequellen wie Wind- oder Fotovoltaikstrom können diesen Bedarf wegen fehlender Speichermöglichkeiten nicht verlässlich decken. Das Sonnenkolloquium zeigte Praxisfälle aus der Industrie, die belegen, wie Hochtemperaturwärme aus konzentrierenden Solarkraftwerken zur Dekarbonisierung von Industrieprozessen beitragen kann.

Würde beispielsweise die Schwefelsäureproduktion von fossiler auf solarthermische Beheizung umgestellt, könnte der Ausstoß großer Mengen Kohlendioxid vermieden werden. Vorgestellt wurde auch ein thermochemischer Speicher, in dem das Temperaturniveau der gespeicherten Wärme während der Speicherdauer steigt, anstatt zu fallen. Der Speicher kann zum Beispiel solar erzeugte Wärme aufnehmen, sie mit einer höheren Temperatur wieder abgeben und somit die Effizienz der Umwandlung von Wärme in Strom erhöhen.



Mit der Wärme der Sonne: Blick in den Drehrohren, den DLR-Hochleistungsstrahler am Standort Köln, mit noch glühendem Zementrohmehl

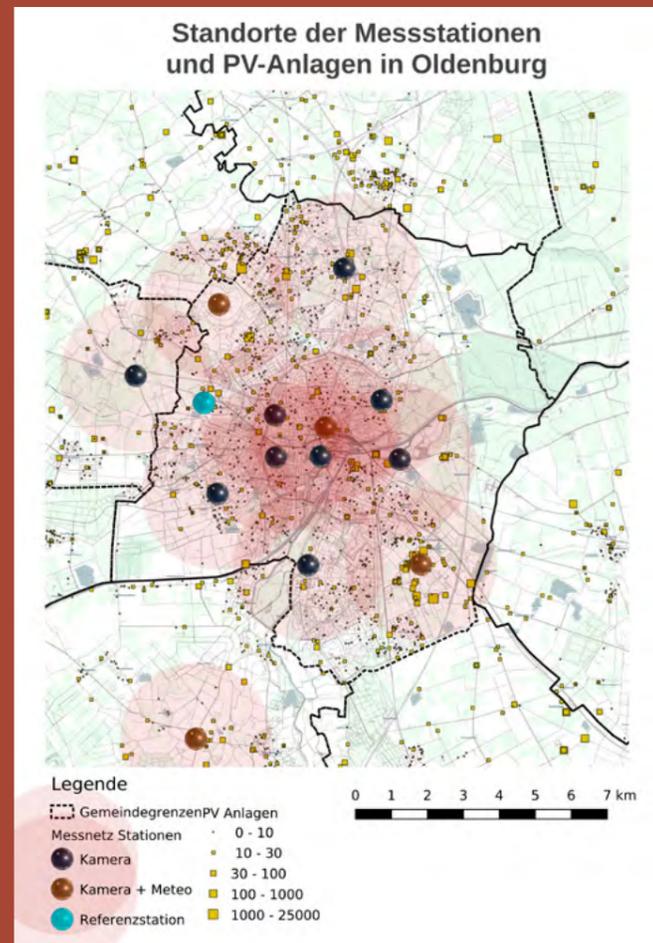
WASSERSTOFF-REGIONALBAHN UNTERWEGS IN OLDENBURG

Die weltweit erste wasserstoffbetriebene Regionalbahn fuhr in diesem Sommer in Oldenburg. Auf Initiative der Interessengemeinschaft „H2OL“, an der auch das DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme beteiligt ist, ging der Brennstoffzellen-Zug des französischen Herstellers Alstom am 25. Juni 2019 im Rahmen des Aktionstags „Wasserstoff treibt uns an“ auf Sonderfahrt. Normalerweise verkehrt das Fahrzeug seit September 2018 zwischen Cuxhaven und Buxtehude.

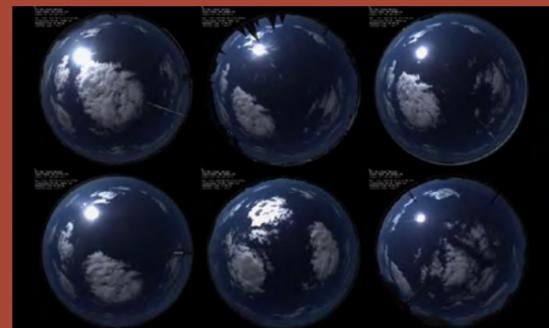
Insbesondere im Norden Deutschlands ist der Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur naheliegend. Hier wird ein Großteil des Energieertrags aus Windkraftanlagen direkt ins Stromnetz eingespeist. Überschüsse, die zum Beispiel nachts oder bei starkem Wind auftreten, könnten direkt vor Ort in großem Umfang in Form von Wasserstoff langfristig gespeichert werden. Damit steht ein chemischer Energieträger zur Verfügung, der wahlweise im Verkehr oder aber für die Rückverstromung zur Versorgungssicherheit eingesetzt werden kann. Dieses Prinzip der sektorenübergreifenden Nutzung ist ein ganz wesentliches Element zum Gelingen der Energiewende.



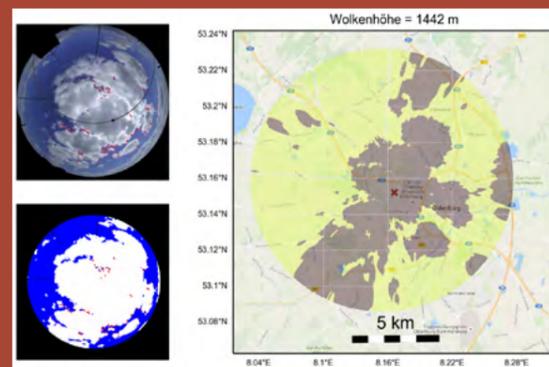
Im Regionalverkehr unterwegs: Die wasserstoffbetriebene Regionalbahn ist regulär im Norden Niedersachsens zwischen Cuxhaven und Buxtehude im Einsatz – geräuscharm und emissionsfrei



Das Eye2Sky-Netzwerk soll auf dem Oldenburger Stadtgebiet besonders engmaschig ausgebaut werden. Hier ist der Bedarf an präzisen Prognosen angesichts der zahllosen installierten Solaranlagen auf privaten Hausdächern besonders hoch.



Der Himmel zur selben Zeit, aufgenommen von unterschiedlichen Standorten aus. Mit einer vom DLR entwickelten Software lässt sich daraus eine flächendeckende Prognose über die Verschattung in den darauf folgenden Minuten errechnen.



Das Originalbild der Wolkenkamera (links oben) zeigt den gesamten Himmel über der Messstation von Horizont zu Horizont. Aussagefähig werden diese Daten erst, wenn sie entzerrt und – wie hier – auf das Stadtgebiet Oldenburgs projiziert werden.

SAFETY FIRST

DLR-Wissenschaftler erarbeiten Methoden, mit denen automatisierte Pkw sicher fahren können

Das Interview führte Julia Heil

Jens Mazzege

arbeitet am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig (Bereich Automotive, Schwerpunkt Test & Absicherung von automatisierten und vernetzten Fahrzeugen). Ihn fasziniert, dass er die Entwicklung einzelner Bausteine des automatisierten Fahrens hautnah erleben sowie strategisch und inhaltlich mitgestalten kann. In den letzten Jahren sind aus den ersten Ideen der Forscher handfeste Ergebnisse entstanden, die nun in die Serienentwicklung überführt und für den Produkteinsatz abgesichert werden.



© privat

Fahrerassistenzsysteme im Auto wie Tempomat oder Einparkhilfe sind heutzutage längst nichts Ungewöhnliches mehr. Pkw mit Stau-Assistent können im Stop-and-go-Verkehr nahezu selbstständig anhalten und anfahren. Jens Mazzege vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik ist davon überzeugt, dass der Mensch die Kontrolle schon bald für kurze Zeit an das Fahrzeug abgeben kann. Vor der Markteinführung von automatisierten Systemen stellten er und sein Team sich jedoch die Frage: Wie sicher ist sicher genug?

Herr Mazzege, Sicherheit von hochautomatisierten Fahrfunktionen klingt sehr abstrakt. Worum geht es in Ihrer Forschung?

■ Automatisiertes Fahren, bei dem wir weder die Hände am Steuer noch die Augen auf der Straße haben müssen, rückt näher und näher. Viele Hersteller haben schon Anwendungen auf der Straße demonstriert: Der eine kann links abbiegen, der andere kann automatisch super geradeaus fahren und der Nächste navigiert wunderbar durch Engstellen. Wenn ich all diese Eigenschaften addiere, erhalte ich allerdings kein perfektes automatisiertes Fahrzeug, denn es beherrscht jeweils nur eine Situation. Nur weil mein Auto auf einer zweispurigen Schnellstraße fahren kann, heißt das nicht, dass das System auch auf einer dreispurigen Autobahn funktioniert.

Wir wollten eine Aussage darüber treffen können, wann eine automatisierte Fahrfunktion sicher genug für den Straßenverkehr ist. Dazu haben wir das Projekt PEGASUS ins Leben gerufen. Das steht für „Projekt zur

Etablierung von generell akzeptierten Gütekriterien, Werkzeugen und Methoden sowie Szenarien und Situationen zur Freigabe hochautomatisierter Fahrfunktionen“. Dazu haben wir überlegt, welche Fragen gestellt und welche Szenarien für eine sichere Fahrfunktion überprüft werden müssen. Das Endprodukt war aber keine Software zum Testen der Fahrfunktion, sondern eine Methodik, die angibt, wie die Voraussetzungen für ein automatisiertes Fahrprogramm definiert werden und welche Tests es durchlaufen und bestehen muss, um als sicher zu gelten.

Haben Sie einen Vergleich, der das plausibel macht?

■ Wenn die sichere Fahrfunktion ein Kuchen wäre, schreiben wir das Rezept. Wir sagen: Nutze 600 Gramm Mehl, geben aber nicht vor, von welcher Marke das Mehl sein muss. Jeder Hersteller kann seine eigenen Testprogramme

DAS PROJEKT IM ÜBERBLICK

Die Idee zu PEGASUS entstammte einem Gespräch zwischen dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und dem DLR zu der Frage wie automatisierte Fahrzeuge schneller und sicherer zugelassen werden können. Als Resultat wurde das Projekt ins Leben gerufen, das vom BMWi mit 16,3 Millionen Euro gefördert wurde. Der Aufbau geschah in Rekordzeit: In weniger als einem Jahr ist ein Vorhaben mit 17 Partnern und einem Gesamtvolumen von über 34,5 Millionen Euro gewachsen. Koordiniert wurde es von einem Tandem aus Wissenschaft und Wirtschaft: Prof. Thomas Form, Leiter Fahrzeugtechnologie und Mobilitätserlebnis der Volkswagen Konzernforschung, und Prof. Karsten Lemmer, DLR-Vorstand für Energie und Verkehr. Das Projekt endete im Juni 2019. Im April beziehungsweise Juli 2019 begannen die Forschungsarbeiten an den Folgeprojekten SET Level 4to5 und VV-Methoden (Validierung und Verifikation für hochautomatisiertes Fahren). Diese haben jeweils eine Laufzeit von dreieinhalb Jahren und werden ebenfalls vom BMWi gefördert. Das Gesamtvolumen für beide Projekte beträgt circa 75 Millionen Euro.

Test des PEGASUS-Systems auf dem Volkswagen-Prüfgelände Ehra-Lessien: Alle Teilnehmer sind untereinander vernetzt, um den Versuchsablauf zu steuern und zu synchronisieren





Der PEGASUS-Versuchsleiter hat die Situation im Blick. Er koordiniert und kontrolliert die Versuchsdurchführung.



Das Innere eines Roboterfahrzeugs: Vorprogrammiert fährt es von selbst eine feste Route auf dem Prüfgelände ab und simuliert so den Umgebungsverkehr. Kontroll- und Notfallrichtungen ermöglichen einen effizienten und sicheren Versuch.

verwenden und muss unsere PEGASUS-Methodik nur integrieren – ähnlich wie die Backanleitung. Ein Hersteller, der einen Kleinwagen bauen will und dessen automatisierte Fahrfunktion bis Tempo 100 ausgelegt ist, simuliert zum Teil andere Tests als ein Oberklassefahrzeug. Mit PEGASUS nutzen aber alle dasselbe Vorgehen und die Tests sind untereinander vergleichbar.

Was muss eine solche Prüfmethode leisten?

■ Für uns waren zwei Fragestellungen entscheidend: Wie gut ist gut genug? Und wie weise ich nach, dass mein System gut genug ist? Wir sind sicher, dass bestimmte Unfallsituationen von heute mit automatisierten Fahrzeugen nicht entstehen, beispielsweise ein Zusammenstoß durch regelwidriges Rechtsüberholen. Aber es werden vielleicht Unfälle zustandekommen, die wir heute noch nicht vorhersagen können. Bevor wir solche Systeme einführen, müssen wir nachweisen, dass sie mindestens genauso gut und sicher sind wie menschliche Fahrer. Wir nennen das eine positive Risikobilanz. Deshalb haben wir einen Kriterienkatalog entwickelt, mit dem wir bestimmen können, wann und ob ein System sicher ist. Darin nutzen wir messbare Daten wie die Statistik der Todesfälle, Unfallzahlen oder aufgezeichnete Fahrten. Letztendlich ist unsere Methodik viel umfassender als die spätere Typzulassung, denn ein Hersteller muss wesentlich mehr Tests fahren als beispielsweise der TÜV prüft. Dieser kontrolliert nur die gesetzlich definierten Mindestanforderungen an die Sicherheit.

Wie erproben Sie die Sicherheit? Sitzen Sie stundenlang im Auto, um auf dem Testgelände alle möglichen Situationen mit dem Fahrzeug zu untersuchen?

■ Ursprünglich hatten wir den Gedanken, ein reales Testfeld aufzubauen, auf dem wir das automatisierte Fahrzeug umfassend untersuchen können. Wir haben aber schnell gemerkt, dass das nicht realistisch ist, weil uns im Bereich Absicherung noch die Basis fehlt. Wissenschaftler aus Darmstadt haben berechnet, dass ein automatisiertes Fahrsystem über sechs Milliarden Kilometer an Testfahrten absolvieren müsste, um in jeder Situation sicher zu sein. Das passt nicht in den Zyklus der Automobilentwicklung, denn es ist aufwändig und teuer. Wir nutzten deshalb Simulationen: Sie sind kostengünstig und ich kann die Gegebenheiten schnell und vielfältig variieren.

Und wie entsteht eine solche Simulationsumgebung?

■ Wir wollten natürlich keine Fantasiewelten durchfahren. Unsere Basis war das aktuelle Verkehrsgeschehen und wir wollten möglichst realitätsnahe Simulationsläufe haben. Dafür benötigten wir einen entsprechend großen Datenpool als Basis. Also haben wir damit begonnen, Informationen aus Gesetzen, Richtlinien und Normen, wie die Straßenverkehrsordnung oder die Richtlinie zur Erstellung von Autobahnen, in unsere Simulationswelt einzuspeisen. Die Fahrzeughersteller haben Messdaten aus ihren Autos beigetragen und das DLR die Ergebnisse von Fahrsimulator-Studien. So haben wir nach und nach eine virtuelle Umgebung definiert, in der wir zahlreiche Fahrsituationen darstellen

konnten. Das Ganze macht nicht jeder für sich allein, sondern alle Partner sammeln die Informationen in unserer gemeinsamen Datenbank. Am Ende steht sie allen zur Verfügung. In dieser Simulationswelt können wir eine Vielzahl von Verkehrssituationen testen, um herauszufinden, welche kritisch für das Fahrzeug und die automatisierte Fahrfunktion sind. Um die Ergebnisse der virtuellen Tests zu überprüfen, suchten wir uns immer wieder Situationen heraus, die wir auf Testgeländen erprobten. Wenn beispielsweise das Ergebnis der Simulation war, dass das Auto in einer bestimmten Situation nur zwei Zentimeter vor dem Hindernis zum Stehen kommt, wollten wir uns das lieber noch einmal in der Realität anschauen.

„In dieser Simulationswelt können wir eine Vielzahl von Verkehrssituationen testen, um herauszufinden, welche kritisch für das Fahrzeug und die automatisierte Fahrfunktion sind.“

Mit welchen Fragestellungen haben Sie angefangen?

■ Wir haben uns zunächst nur auf die Autobahn konzentriert, denn dort wird die Automatisierung unserer Meinung nach zuerst auftreten: Es ist dort relativ übersichtlich, es gibt keine Kreuzungen und in der Regel keine Fußgänger. Unsere Methode ist aber so skalierbar, dass sie auch für andere Szenarien angewendet werden kann. In der

Simulationsumgebung untersuchten wir nicht nur, ob es wirklich zur Kollision kommt, sondern auch, ob das System rechtzeitig reagiert hat. In Summe können wir dann eine Aussage darüber treffen, ob das System im Straßenverkehr sicher ist und ob es insgesamt besser abschneidet als das Fahrzeug, das von einem Menschen gesteuert wird. Allerdings können wir zum jetzigen Stand keine Unfallstatistiken aufstellen, denn dazu fehlt uns die Information, wie viele automatisierte Fahrzeuge es in Zukunft auf dem Markt geben wird. Hier können wir nur eine Prognose abgeben. Mit PEGASUS konnten wir also nur die Methode bauen, aber nicht alle Daten bereitstellen.

Wann werden wir denn sicher automatisiert fahren können?

■ Aktuell betten die Hersteller die PEGASUS-Methode in ihre Systemumgebungen ein. Ein entscheidender Vorteil unseres Projekts ist, dass sowohl die großen Hersteller als auch die relevanten Zulieferer mit an Bord waren. Dadurch konnten wir eine entsprechende Hebelwirkung erlangen und die Methode wird von den relevanten Akteuren



DIE WELT IN EBENEN GEDACHT

In PEGASUS strukturierten die Wissenschaftler die Welt in sechs Ebenen, um sie für die Simulation greifbar zu machen. So können sie einzelne Gegebenheiten variieren und unterschiedlichste Verkehrssituationen darstellen.



akzeptiert und angewendet. Ich gehe davon aus, dass die Fahrfunktionen der Stufe-3-Automatisierung in den Jahren 2020–2021 in Serie auf die Straße gehen können. BMW hat beispielsweise angekündigt, bis 2021 den Autobahn-Chauffeur einzuführen. Andere Hersteller werden sicherlich nicht lange auf sich warten lassen.

Wie sehen die nächsten Schritte aus?

PEGASUS kümmert sich um die Absicherung der Fahrfunktion. Das ist ein entscheidendes Puzzlestück des gesamten automatisierten Fahrzeugs. Die Schnittstelle zwischen Sensorik und Fahrfunktion erfordert darüber hinaus eine eigene Methodik. Darum kümmern wir uns momentan in dem Projekt VV-Methoden. In einem weiteren Folgeprojekt von PEGASUS, SET Level 4to5, arbeiten wir daran, die Simulationsumgebung für die Tests so anzupassen, dass auch Fahrfunktionen für das Automatisierungslevel 4 oder 5 getestet und bewertet werden können. Außerdem möchten wir neben der Autobahn auch noch andere Bereiche wie den Stadtverkehr in unsere Simulationswelt integrieren. Unabhängig von diesen Projekten müssten auch Themen wie Versicherungsschutz oder Haftung geklärt werden, bevor automatisierte Autos auf den Straßen rollen dürfen.

Findet PEGASUS denn auch international Resonanz?

Wir sind als nationales Forschungsprojekt gestartet, haben aber schnell zahlreiche Anfragen aus aller Welt erhalten. Das hat uns dabei geholfen, unsere Methode im Austausch mit anderen Ländern zu verbessern. Mittlerweile sind wir bei internationalen Konferenzen oder auch bei der EU-Kommission gern gesehene Experten. Wir arbeiten beispielsweise daran mit, unsere Ansätze in die europäische Rechtsprechung zu überführen. Aktuell werden Teile der Methode von der Association for Standardization of Automation and Measuring Systems (ASAM e. V.) in einen Standard überführt. Das wird aber noch einige Zeit dauern. Es gibt also noch einiges zu tun.

Werden die automatisierten Systeme den Menschen übertreffen können, wenn sie fertig entwickelt sind?

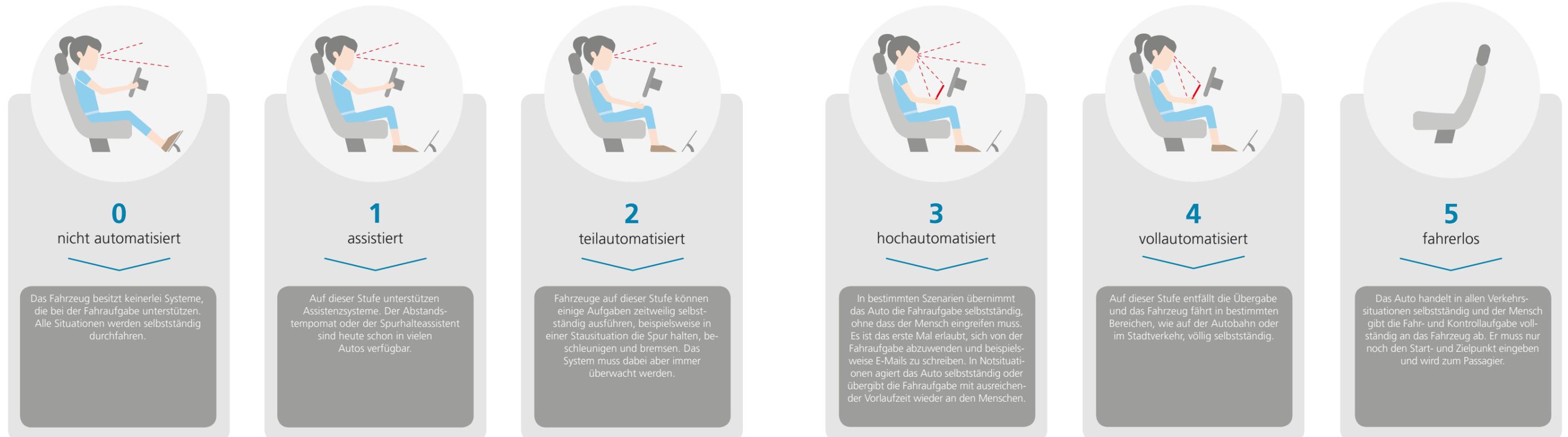
Das ist die klare Erwartungshaltung. Wir können es nicht mit Gewissheit sagen, aber mit jedem Fahrzeug, das auf den Markt kommt, werden wir mehr lernen und unsere Prognosen verbessern können. Hier liegt aber ein großer Teil der Verantwortung auch bei den Herstellern. Eine andere Frage, die wir derzeit allerdings nicht beantworten können, ist die nach der gesellschaftlichen Akzeptanz. Nur weil die automatisierten Systeme sicher sind, muss die Gesellschaft sie nicht akzeptieren. Ich bin überzeugt davon, dass uns dieses Thema in Zukunft noch sehr beschäftigen wird. Nichts ist schlimmer, als wenn eine neue, hoch angepreisene Technologie auf den Markt kommt und einem „Atomkraft-Effekt“ unterliegt. Das heißt, es passiert ein schlimmer Unfall und dieser löst eine Ablehnung in der Gesellschaft aus. Dann ist die Technologie „verbrannt“. Mit unseren Projekten möchten wir gemeinsam mit der Industrie und der Politik dafür sorgen, dass die automatisierten Systeme so sicher und so durchdacht wie irgend möglich auf den Markt kommen.



Wenn automatisierte Autos in Zukunft sicher unterwegs sein sollen, muss die Fahrfunktion alle Situationen beherrschen. Den Nachweis ermöglicht die PEGASUS-Methode, die hier auf dem Prüfgelände getestet wird.



Spezielle Roboterautos, die auf programmierten Routen fahren, simulieren den Umgebungsverkehr



LERNEN VOM DOPPELTEN THOMAS

Als Ausbildungsleiter begleiten Thomas Müller und Thomas Schweizer Technik-Azubis in die Berufswelt

Von Denise Nüssle

Frei nach Erich Kästner sind echte, „geborene Lehrer“ fast so selten wie Helden und Heilige. Am Standort Stuttgart hat das DLR mit den beiden Leitern Technische Ausbildung, Thomas Müller und Thomas Schweizer, ein besonders erfolgreiches Duo: Seit fast zwei Jahrzehnten betreuen die Namensvettern den Nachwuchs in den Bereichen Feinwerkmechanik und Systemelektronik – mit viel Erfahrung, pädagogischem Geschick, Herzblut und Spaß.

Lust auf Technik, einen Haupt- oder Realschulabschluss mit guten Noten in Mathematik und Physik in der Tasche sowie Neugier auf spannende Forschungsthemen – das sind die Voraussetzungen, um im DLR Stuttgart eine Berufsausbildung im technischen Bereich zu beginnen. Jedes Jahr im September freuen sich die Teams der beiden Ausbildungsleiter Thomas Müller und Thomas Schweizer auf je zwei Neuzugänge. Vor den Azubis liegen ebenso aufregende wie herausfordernde dreieinhalb Jahre. Die zukünftigen Feinwerkmechaniker lernen Instrumente, Apparate und Vorrichtungen kennen und mit ihnen Bauteile zu fertigen. Für sie heißt es: fleißig Drehen, Fräsen, Bohren und Schleifen üben und ran an die großen, computergesteuerten Werkzeugmaschinen. Bei den Systemelektronikern stehen technische Systeme im Mittelpunkt, zum Beispiel Fertigungsanlagen und Prüfsysteme, die es einzurichten, zu steuern und zu warten gilt. Zusätzlich zum Erlernen des Handwerks geht es darum, im Team zu arbeiten, Eigeninitiative und Kreativität zu entwickeln und nicht zuletzt auch darum, gemeinsam Spaß zu haben.

Die Ausbildungsleiter begleiten ihre Schützlinge auf diesem Weg. „Wir sind Lehrer, Organisatoren, Ansprechpartner, Vermittler – oft einfach ‚Mädchen für alles‘“, beschreibt Thomas Müller mit einem Schmunzeln seine Rolle. Ein Fulltime-Job, den beide nun schon seit fast 20 Jahren mit Leidenschaft ausüben. „So lange hält manche Ehe nicht“, ergänzt Thomas Schweizer, ebenfalls mit einem verschmitzten Lächeln. Thomas Schweizer ist ein „Eigengewächs“ des DLR und seit Beginn seines Berufslebens im Jahr 1989 am Standort Stuttgart. Elektronik sei schon immer sein Ding gewesen, sagt er. Nach der Lehre als Elektromechaniker bei den technischen Betrieben – heute „Technische Infrastruktur“ des DLR – wechselte er ans Institut für Technische Physik, das bis heute die Systemelektronikerausbildung betreut. Da ihm der Umgang mit Lehrlingen Spaß machte, legte er die Eignungsprüfung als Ausbilder ab. Als die Stelle des Ausbildungsleiters frei wurde, übernahm er im Jahr 2000 den Job. Seitdem betreut er den Nachwuchs und kümmert sich um IT und Elektronik am Institut.

THOMAS MÜLLER:

Alter: 47

Kommt aus: Aichwald

Verbringt außerhalb des DLR Zeit mit: Familie, Kochen (lernen)

Über seinen Namensvetter: Macher, guter Berater, zuverlässig



Im gleichen Jahr startete Thomas Müller als Ausbilder. Im Gegensatz zu seinem Namensvetter wusste er zu Beginn seines Berufslebens vor allem, was für ihn nicht in Frage kam: nämlich das Handwerk seiner Eltern zu erlernen und Friseur zu werden. Nach der Ausbildung zum Industriemechaniker bei einem großen Automobilzulieferer und dem Abitur am Technischen Gymnasium führte sein Weg ins DLR: Er arbeitete mehrere Jahre als Versuchstechniker in der Energieforschung, absolvierte seine Meisterausbildung und wurde dann Leiter der Feinwerkmechanikerausbildung, die dem Systemhaus Technik des DLR angegliedert ist.

Ausgezeichnete Ausbildung – im wahrsten Sinne des Wortes

Zum Alltag der beiden Weggefährten gehören zunächst die Inhalte des Ausbildungsplans. Diese gilt es an die konkreten Projekte und Gegebenheiten im DLR anzupassen, mit Leben zu füllen und zu vermitteln. Dazu kommt eine Vielzahl an organisatorischen und administrativen

Aufgaben, zum Beispiel die Auswahl und Einstellung von Auszubildenden oder der Austausch mit Berufsschulen und Kammern. Wie erfolgreich ihre Arbeit ist, zeigen die Preise und Auszeichnungen der letzten Jahre: Die DLR-Azubis und ihre Ausbilder gehören zu den Besten ihres Fachs. Regelmäßig erringt der Nachwuchs Spitzenplätze und Preise bei Kammer-, Landes- und Bundeswettbewerben. Im letzten Jahr zeichnete die Handwerkskammer der Region Stuttgart die Ausbildung des DLR Stuttgart zudem mit der „Bildungspyramide“ aus. Ausschlaggebend dafür waren die hohe Qualität der Prüfungsvorbereitung und das besondere Engagement der Ausbilder.

„Wir arbeiten in kleinen Gruppen und haben so die Möglichkeit, individuell und bedarfsgerecht auf die einzelnen Azubis einzugehen. Gleichzeitig können wir auf eine topmoderne, umfangreiche Ausstattung zugreifen.“

Thomas Müller

„Wir arbeiten in kleinen Gruppen und haben so die Möglichkeit, individuell und bedarfsgerecht auf die einzelnen Azubis einzugehen. Gleichzeitig können wir auf eine topmoderne, umfangreiche Ausstattung zugreifen“, sagt Thomas Müller und ist sich mit Thomas Schweizer einig, dass darin die Gründe für den Erfolg liegen. „Außerdem haben wir mehr Zeit



THOMAS SCHWEIZER:

Alter: 48

Kommt aus: Filderstadt

Verbringt außerhalb des DLR Zeit mit: Familie, Wandern, Joggen, Reisen

Über seinen Namensvetter: ruhender Pol, besonnen, bodenständig

und Freiraum, als dies in produzierenden Betrieben der Fall ist. Wir können Nichtverstandenes wiederholen und vertiefen, teilweise auch Inhalte aus der Schule nachholen, zum Beispiel in Mathematik. Mit einem praktischen Bezug erkennen die Auszubildenden in vielem leichter den Sinn und sie begreifen die Zusammenhänge besser“, schildert Schweizer seine Erfahrung. Und er nennt einen weiteren Faktor: „Wir haben im DLR eine Menge spannender Themen. Diese Faszination überträgt sich auf unsere Azubis und motiviert sie, über den Tellerrand hinauszuschauen und Neues zu lernen.“ So gehöre es regelmäßig zu den Highlights aller Azubis, gemeinsam mit den DLR-Ingenieuren und Technikern an echten Forschungsprojekten mitzuarbeiten.

Ihren Schützlingen begegnen Thomas Müller und Thomas Schweizer gern auf Augenhöhe. Sie binden die Azubis in Entscheidungen ein, zum Beispiel, wenn es um die Auswahl des nächsten Projekts oder um Anschaffungen für die Werkstätten geht. Dass beide Ausbilder auch nach fast 20 Jahren für ihre Aufgabe brennen und Spaß daran haben, merkt man ihnen schnell an. Junge Köpfe fit für die Zukunft auf einem sich immer schneller wandelnden Arbeitsmarkt zu machen, das spornt sie an. Ob Digitalisierung, Smart Factory oder 3D-Druck: „Wir bleiben am Ball, arbeiten uns ein und probieren gemeinsam mit unseren Azubis Neues aus. Die Motivation und Freude, die daraus entstehen, tragen sehr weit“, schildert Müller das Lernklima.

Der Wettbewerb bei der Suche nach jungen Talenten im technischen Bereich ist groß. In der Region Stuttgart zählen global agierende Automobilkonzerne, eine breit aufgestellte Zulieferindustrie und viele Maschinenbau-Unternehmen zu den Konkurrenten. Mit spannenden

Themen und der regelmäßig ausgezeichneten Ausbildung hält das DLR mit. Auf die Frage nach einem Mangel an Nachwuchs antworten Müller und Schweizer mit einem entschlossenen „Jein“. Generell merke man zwar, dass es weniger Interessenten für eine berufliche Ausbildung im technischen Bereich gebe, doch unbesetzt sei bisher keiner der bei ihnen angebotenen Plätze geblieben. „Früher hatten wir rund 80 Bewerber auf die zwei Systemelektronikstellen, heute sind es um die 30“, erläutert Schweizer. „Wir kommen sehr gut zu recht. Damit das so bleibt, machen wir aber auch mehr und gehen aktiv auf die Jugendlichen zu.“

Mit Informationen zur ebenfalls am Standort Stuttgart angebotenen und ebenso erfolgreichen Ausbildung zur Kauffrau beziehungsweise zum Kaufmann für Büromanagement gehen die technischen Ausbildungsleiter auf Job- und Ausbildungsmessen in der Region. Dort stellen sie das Angebot des DLR vor und suchen gemeinsam mit aktuell im DLR tätigen Azubis den Austausch mit interessierten Kandidaten. Auch über Bildungspartnerschaften mit Schulen vor Ort nehmen Müller und Schweizer Kontakt zum Nachwuchs auf und ermöglichen Schnupperpraktika in den Ferien. Sehr willkommen sind übrigens auch Bewerberinnen, gerne in wesentlich größerer Zahl als bisher, sind sich beide einig. Feinwerkmechanikerinnen mit erfolgreich beendeter Ausbildung konnte das DLR Stuttgart schon des Öfteren verzeichnen. Der Platz der ersten Systemelektronikerin ist hingegen noch vakant – hoffentlich nicht mehr lange.

Denise Nüssele ist Redakteurin im Bereich Presse des DLR und war viele Jahre für die Kommunikation am Standort Stuttgart verantwortlich.

NACHHALTIGER SCHUB FÜR JUNGE KARRIEREN

Das German Trainee Programme

Für manche endet die Karriereleiter nicht auf der Erde, sondern sie reicht bis ins All. Aber was braucht es, um an Raumfahrtmissionen mitzuarbeiten? Seit zehn Jahren bietet das German Trainee Programme (GTP) Berufseinsteigern ein Sprungbrett in die europäische Raumfahrt. Missionsziel ist es, den beruflichen Einstieg in die Europäische Raumfahrtorganisation ESA zu fördern und deutschen Nachwuchs für die deutsche und europäische Raumfahrtindustrie und -wissenschaft heranzubilden. Mit dem GTP absolvieren jedes Jahr etwa 20 Hochschulabsolventen und Berufsanfänger ein bis zu zweijähriges Ausbildungsprogramm bei der ESA. Von Technologieentwicklung und Erdbeobachtung über Raumfahrtträger bis hin zu Rechtsangelegenheiten oder Finanzen, die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig und reflektieren die Interessen der deutschen Raumfahrtpolitik. Während der Ausbildung erleben die Trainees den Beruf hautnah und übernehmen anspruchsvolle Aufgaben. Dabei werden sie auch vom DLR betreut. Bislang wurden 15 Angestellte, 15 Kontraktoren und 8 Doktoranden für die ESA rekrutiert. Weitere 32 Absolventen sind in die Raumfahrtindustrie und 22 in die Raumfahrtwissenschaft gegangen.

„Wir wollen Deutschlands führende Rolle in der Raumfahrt auch für die Zukunft sichern. Hervorragend ausgebildete und kompetente deutsche Nachwuchskräfte sind dafür ein entscheidender Schlüssel.“

Thomas Jarzombek, Koordinator der Bundesregierung für die Deutsche Luft- und Raumfahrt

AUF EINEN BLICK

Ausbildungsdauer:
maximal 2 Jahre

Teilnahmevoraussetzungen:
– deutsche Staatsbürgerschaft
– Master, Hochschuldiplom oder Promotionsabschluss im relevanten Fachbereich

Bisherige Stipendiaten:
111 (67 % Männer, 33 % Frauen)

Finanzierung:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

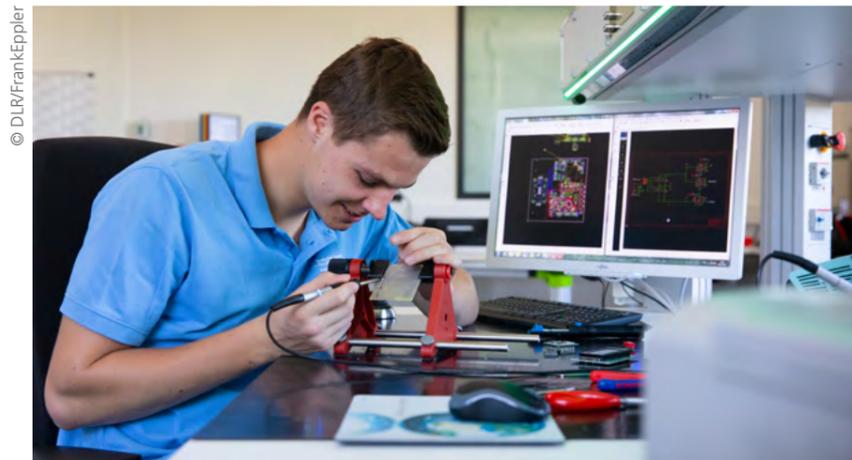
Koordination:
ESA/DLR Raumfahrtmanagement

Kontakt:
Dr. Olivia Drescher-Schwenzfeier
(Projektkoordinatorin)
E-Mail: olivia.drescher-schwenzfeier@DLR.de

AUSBILDUNGSBERUFE IM DLR:

- Beikoch/Beiköchin**
(Göttingen)
- Elektroniker/-in für Geräte und Systeme**
(Hamburg, Oberpfaffenhofen)
- Elektroniker/-in in der Betriebstechnik**
(Lampoldshausen)
- Feinwerkmechaniker/-in**
(Braunschweig, Stuttgart)
- Fotograf/-in**
(Köln)
- Industriemechaniker/-in**
(Göttingen, Köln, Oberpfaffenhofen)
- Kaufmann/Kauffrau für Büromanagement**
(Bonn-Bad Godesberg, Braunschweig, Göttingen, Köln, Oberpfaffenhofen, Stuttgart)
- Koch/Köchin**
(Braunschweig, Köln, Oberpfaffenhofen)
- Mechatroniker/-in**
(Göttingen)
- Systemelektroniker/-in**
(Stuttgart)
- Technischer Produktdesigner/Designerin**
(Göttingen, Köln)
- Verfahrensmechaniker/-in**
(Braunschweig)

Informationen und Stellenausschreibungen:
DLR.de/jobs



Fabian Staiger, angehender Systemelektroniker, beim Löten einer Platine



Routiniert im Umgang mit großen Maschinen: Feinwerkmechanik-Azubi Michael Müller



„Die Entscheidung, zwei Jahre als Trainee zum European Space Research and Technology Centre der ESA (ESTEC) zu gehen, war einfach angesichts meiner Faszination für Weltraumexploration. Heute arbeite ich direkt bei der ESA und das Netzwerk, das ich mir während des GTP aufgebaut habe, bewährt sich immer noch: Die ehemaligen Kolleginnen und Kollegen sind über die gesamte europäische Weltraumindustrie verteilt.“

Martin Zwick,
Robotik-Systemingenieur bei der ESA



„Während des Stipendiums habe ich bei der ESA am Galileo Space Segment im Bereich Navigation gearbeitet. Dieser Thematik bin ich treu geblieben und heute ist die Weltraumorganisation unser Kunde. Dank des GTP habe ich wertvolle Einblicke in die Arbeitsweisen der ESA erhalten, die mir dabei helfen, ihre Anforderungen besser zu verstehen.“

Sarah Lehnhausen,
Systemingenieurin bei SCISYS Deutschland GmbH



„Vor etwa vier Jahren entdeckte ich die GTP-Ausschreibung zufällig in den sozialen Medien des DLR und bewarb mich erfolgreich. Als währenddessen interne Stellen bei der ESA ausgeschrieben wurden, profitierte ich von dem Programm, denn dort dürfen sich auch GTP-Trainees auf solche Stellen bewerben. Dabei half mir, dass ich meine Kenntnisse und Fähigkeiten schon vor meiner Bewerbung unter Beweis gestellt hatte. Seit Kurzem haben wir übrigens wieder eine neue Trainee in unserem Team und ich darf mein Wissen und meine Erfahrungen nun als Tutorin teilen.“

Dorota Jadwiga Engleder,
Legal Officer in der Rechtsabteilung der ESA

ENGAGEMENT FÜR UMWELT GEWINNT

Das Green-Talents-Programm

Wie können wir angesichts des Klimawandels nachhaltiger leben? Wie können wir vorhandene Ressourcen schützen? Und vor allem: Wie kann die Forschung dazu beitragen? Genau diesen Aspekt greift das Green-Talents-Programm auf. Der Wettbewerb wurde 2009 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) vom DLR Projektträger ins Leben gerufen.

Jedes Jahr werden 25 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt ausgezeichnet, die im Bereich Nachhaltigkeitsforschung tätig sind. Eine der ersten Preisträgerinnen war vor zehn Jahren die Inderin Saumita Banerjee, die mit einer Arbeit über die Gewinnung von Bioethanol aus lignozellulärer Biomasse punkten konnte. Weil lignozelluläre Biomasse aus Baum- und auch Papierresten gewonnen werden kann, leistete sie mit ihrem Ansatz einen wichtigen Beitrag zur Einsparung von Treibhausgasen, so die Begründung der Jury im Jahr 2009.

In eine ähnliche Richtung forscht auch Mario Alejandro Heredia Salgado aus Ecuador. Der Teilnehmer im Jahr 2018 gewann mit seinem Ansatz, die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen in Lateinamerika durch den Einsatz von erneuerbaren Energien zu senken. Er entwickelt Konversionsgeräte, die landwirtschaftlichen Abfall in nutzbaren Boden, aber auch in Thermalenergie umwandeln.

Im Green-Talents-Programm erhalten alle Gewinnerinnen und Gewinner Zugang zu einem globalen Netzwerk, das in seiner Ausrichtung einzigartig ist. Sie werden zu einer zweiwöchigen Forschungsreise, dem Science Forum, nach Deutschland eingeladen. Wichtiger Bestandteil dieser Reise sind Expertengespräche, die ihnen einen persönlichen Kontakt vor Ort ermöglichen. Dabei können die Teilnehmenden die gewünschten Experten selbst benennen, das „matchmaking“ übernimmt der Projektträger. Finanziert wird der Wettbewerb vom BMBF, er ist ein Baustein im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA). Die Preisträgerinnen und Preisträger 2019 werden im Herbst bekannt gegeben; insgesamt reichten 837 wissenschaftliche Talente ihre Bewerbungsunterlagen ein – ein neuer Rekord.

Stefanie Huland, DLR Projektträger, Unternehmenskommunikation

„Mit diesem Wettbewerb leistet der DLR Projektträger im Auftrag des BMBF einen einzigartigen Beitrag für die internationale Forschung zum Thema Nachhaltigkeit. Die Nachwuchsforschenden gehen mit neuen Kontakten und neuen Ideen in ihre Heimatländer zurück und sind dort im Idealfall Botschafter für den Forschungsstandort Deutschland.“

Klaus Uckel, Leiter des DLR Projektträgers

© DLR-PT/KONVEX Fotografie



„Mein Erfolg bei Green Talents war ein wichtiger Beweis für die Relevanz und Qualität meiner Forschung. Das Ansehen, das ich dadurch gewonnen habe, hat meinen Einfluss innerhalb meiner eigenen Organisation und auch in meinem Forschungsfeld verstärkt.“

Dr. Shirin Malekpour, Australien, Preisträgerin 2018, erforscht, wie man Nachhaltigkeitsziele langfristig mit Hilfe von strategischen Prozessen und Werkzeugen trotz sich ständig ändernder Rahmenbedingungen erreichen kann.

„Der Green-Talents-Wettbewerb hat mir die einzigartige Chance gegeben, Forscherinnen und Forscher aus Deutschland und der ganzen Welt kennenzulernen, die alle in unterschiedlichen Bereichen am Aspekt Nachhaltigkeit arbeiten. Wenn du in diese grüne Welt einmal eingetaucht bist, kommst du als ein neuer Mensch nach Hause zurück.“

Yauheniya Shershunovich, Weißrussland, Preisträgerin 2018, forscht zur nachhaltigen Entwicklung der Stromindustrie und Möglichkeiten der Müll-Wiederverwertung in ihrer Heimat.



© DLR-PT/KONVEX Fotografie

DAS GREEN-TALENTS-PROGRAMM AUF EINEN BLICK

Teilnahmevoraussetzungen:

- Master oder Ph. D., mindestens Master-Immatrikulation (Der letzte Abschluss darf nicht länger als drei Jahre zurückliegen.)
- maximal drei Jahre Berufserfahrung (Im Studium erworbene Berufserfahrung zählt nicht dazu.)
- Schwerpunkt in der Nachhaltigkeitsforschung
- überdurchschnittliche Studienleistungen
- nicht wohnhaft in Deutschland, kein deutscher Pass
- sehr gute Englischkenntnisse

Bewerbungsfrist für 2020:
voraussichtlich Frühjahr 2020

Preisträgerinnen und Preisträger seit Beginn des Programms:
232 aus 65 Ländern

Förderung:
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Durchführung:
DLR Projektträger

Kontakt:
Julia Kirschner, Marc Nettelbeck,
Europäische und Internationale Zusammenarbeit,
Telefon: 0228 3821-1886, E-Mail: greentalents@dlr.de

 **Im Web:** greentalents.de

TESTSTÄNDE IM WANDEL

60 Jahre DLR Lampoldshausen – moderne Triebwerksentwicklung auf raumfahrthistorischem Grund und Boden

Von Anja Kaboth und Julia Heil

Fast verdeckt der dichte Wald die Einfahrt. Einzelne Gebäude blitzen durch das Grün. Die Bäume rauschen. Plötzlich durchbricht ein ohrenbetäubendes Donnern die Stille. Kurze Zeit später steigt eine weiße Wasserdampfwolke über dem Blätterdach auf. Wenige Minuten später ist das Getöse vorbei und die Vögel singen, als wäre nichts geschehen. Sie scheinen das Treiben im Harthäuser Wald zu kennen. 25 Kilometer nordöstlich von Heilbronn befindet sich der DLR-Standort Lampoldshausen. Hier werden seit 60 Jahren die Antriebe getestet, mit denen sich zukünftige Raketen auf ihre Reisen begeben.

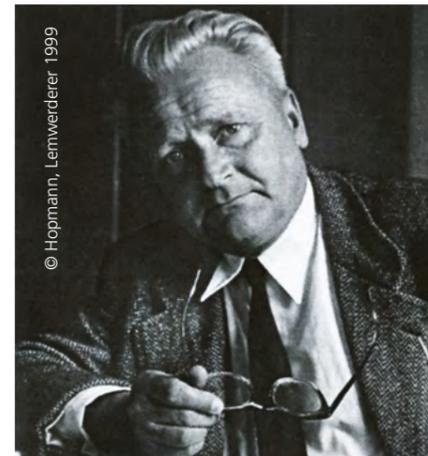
Wer ins DLR Lampoldshausen kommt, besucht einen der wichtigsten Standorte europäischer Raumfahrtgeschichte. Auf dem 51 Hektar großen Gelände im nördlichen Baden-Württemberg ist auf historischem Grund und Boden ein Ort moderner Triebwerksentwicklung entstanden. Es war der Raumfahrtpionier Eugen Sänger, der 1959 im Harthäuser Wald ein Forschungsinstitut gründete. 60 Jahre nach der Erschließung des Geländes lassen sich Spuren der Entwicklungsgeschichte noch gut erkennen, aber auch die Zukunft lässt sich erahnen. Auch wenn einige der Prüfstände des hier ansässigen Instituts für Raumfahrtantriebe Patina zeigen, sind sie kein bisschen müde geworden. Wandlungsfähig wie nie zuvor sind sie auf die neuen Anforderungen des europäischen Raumtransports gut vorbereitet.

Im Besucherforum bewundert eine Gruppe interessierter Gäste das große Vulcain-2-Triebwerk, das wie eine überdimensionale Lampe von der Decke hängt. Es ist einer von zahlreichen Raketenantrieben, die vom DLR-Team in Lampoldshausen getestet wurden. Die Besucher wenden sich um – eine Bilderwand zeigt die Historie des Standorts. Bis seine Gründung im Jahr 1959 ins Blickfeld rückt, sind einige Meter zu gehen.

Alles auf Anfang: 1959

Als sich am 10. Oktober 1959 im Rathaus von Lampoldshausen spontaner Applaus erhob, konnte Eugen Sänger mehr als zufrieden sein. In einer mitreißenden Rede hatte der bekannte Raumfahrtpionier die Lampoldshausener Bürger davon überzeugt, wie wichtig ein geplantes Prüfstandsgelände für Raketenantriebe für ihre Gemeinde sein würde. Der führende Wissenschaftler in der Raumfahrt- und Raketentechnik war 1954 aus Frankreich nach Deutschland zurückgekehrt, um wieder in der Raumfahrtforschung tätig zu sein. Nun hatte er eine wichtige Hürde genommen, um mit dem Bau eines Testgeländes für sein in Stuttgart gegründetes „Forschungsinstitut für Physik der Strahlantriebe“ (FPS) zu beginnen, auf dem Flüssigkeitsraketenantriebe getestet werden sollten. Der Zeitpunkt war ideal, denn mit der Aufhebung des Besatzungsstatuts 1955 endete auch das Verbot von Raketenforschung und Westdeutschland konnte nach zehn Jahren wieder Raumfahrtforschung betreiben. Länder, Universitäten und Industrie wollten an dieser „Gründerphase“ beteiligt sein.

1963 war die erste Ausbaustufe des Testgeländes abgeschlossen. Im gleichen Jahr wurde der Standort für das erste große europäische Raumfahrtprojekt ausgewählt, in dessen Fokus die Entwicklung einer europäischen Trägerrakete stand. In Lampoldshausen sollte dafür „Astris“, das von Deutschland entwickelte Triebwerk der dritten Raketenstufe, getestet werden. Für diesen Zweck wurde das Gelände erweitert: Die neuen Prüfstände P3 und P4 wurden für Tests unter Boden- und Höhenbedingungen entwickelt und gebaut. Zugleich

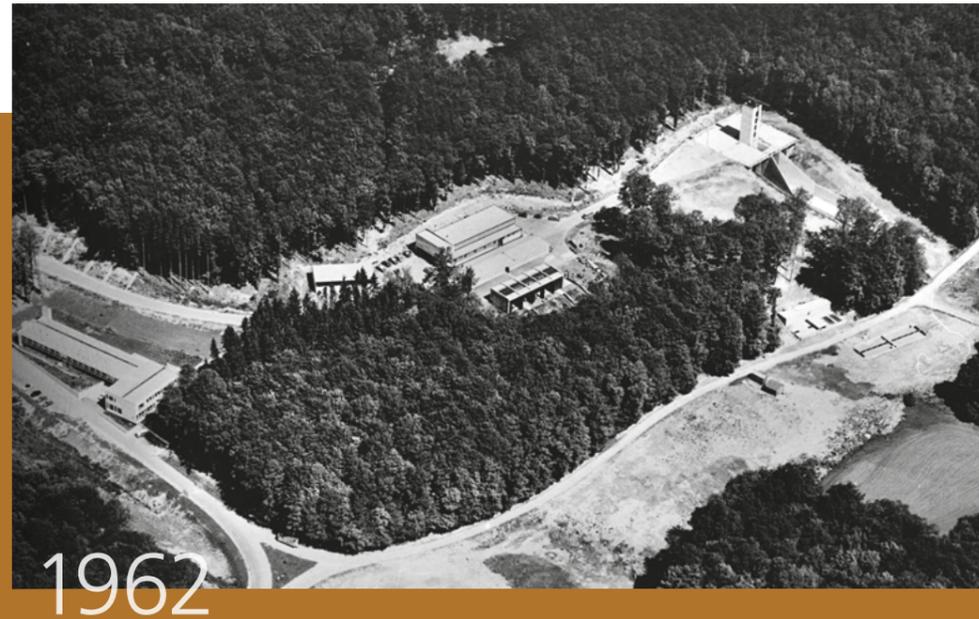


© Hopmann, Lernwerder 1999
Professor Eugen Sänger (1905–1964),
Gründungsvater des DLR Lampoldshausen

Blick in die Ausstellung im DLR-Forum. „Die Menschen, die sich für uns interessieren, brauchen die Möglichkeit, sich direkt darüber informieren zu können, was wir hier tun“, erklärt Klaus Schäfer, stellvertretender Direktor des Instituts für Raumfahrtantriebe. Er hat als Koordinator den Bau des Forums von der allerersten Idee bis zur Einweihung begleitet. Seit der Eröffnung im Juni 2013 haben 24.600 Menschen die Ausstellung besucht.

DAMALS UND HEUTE

Durch die Lage des DLR-Standorts im Harthäuser Wald hat der Schutz von Flora, Fauna und Habitat eine besondere Bedeutung. Ein sparsamer, verantwortungsbewusster und ressourcenschonender Umgang mit der Bodenfläche ist die Voraussetzung für eine nachhaltige und langfristige Entwicklung. Bis 2030 sollen etwa 1.000 Beschäftigte auf dem 51 Hektar großen Areal arbeiten. Der Anteil der Grünflächen beträgt dabei rund 70 Prozent.



1962



2019

forschten die Wissenschaftler und Ingenieure in Lampoldshausen im Bereich der hochenergetischen Flüssigkeitsantriebe.

Lampoldshausen wird Geburtshelfer der europäischen Raumfahrt

1975 wurden unter der Führung der neu gegründeten European Space Agency (ESA) die Arbeiten an der Trägerrakete Ariane aufgenommen, die Europa einen eigenständigen Zugang zum Weltraum ermöglichen sollte. Um die Rakete auf ihren Weg ins All vorzubereiten, kamen ihre Triebwerke zunächst in Lampoldshausen auf den Prüfstand. Hier wurden wichtige Tests des Viking-Triebwerks durchgeführt. Und mit dem gelungenen Start der Ariane am 24. Dezember 1979 begann eine Erfolgsgeschichte. Heute, 40 Jahre später, arbeiten die Forscher an der Ariane 6, die 2020 zum ersten Mal ins Weltall

starten soll. Das DLR in Lampoldshausen ist dabei für die Tests des Hauptstufentriebwerks Vulcain 2.1, des Oberstufentriebwerks Vinci und der gesamten Oberstufe der Ariane 6 verantwortlich.

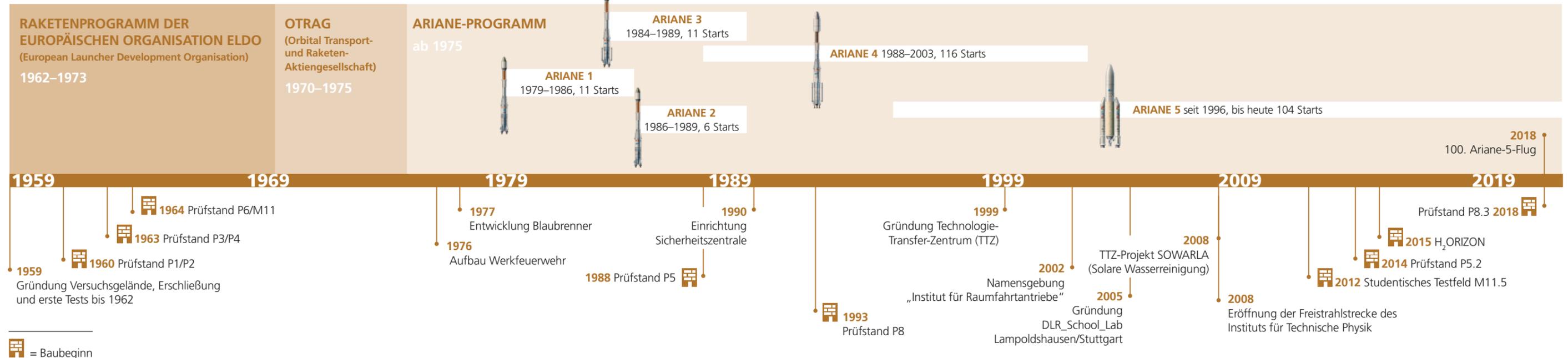
In dem verglasten Besucherforum zeugt ein rund sechs Meter hohes Modell im Maßstab 1 : 10 von der engen Verbindung des Standorts zu diesem Zugpferd der europäischen Raumfahrt. Sie ist das jüngste Mitglied der Ariane-Trägerraketenfamilie und folgt der Ariane 5, die 2023 nach 27 Jahren ihren Dienst einstellen wird. Ihre Unterstufe zieren die Flaggen der 13 ESA-Mitgliedsstaaten, die an dem Projekt beteiligt sind. Sie zeigen, dass ein solches Vorhaben ohne Teamwork nicht zu verwirklichen ist und wie fest verankert der DLR-Standort in dieser Gemeinschaft ist.

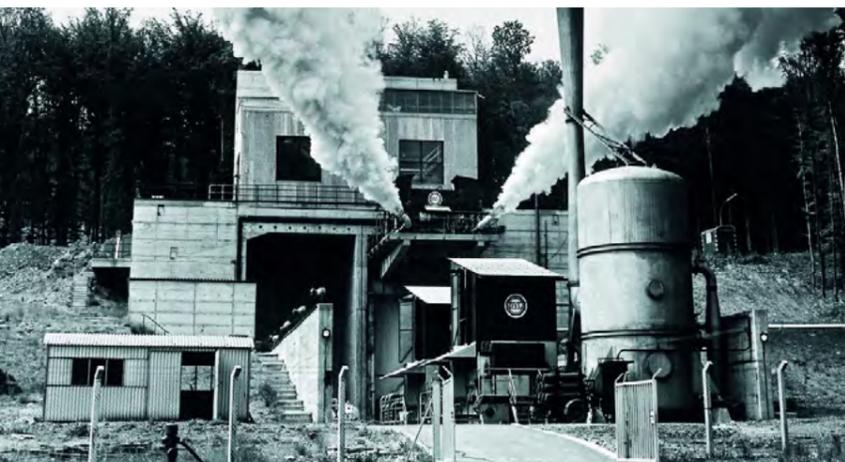
Der Raumfahrtantrieb der Zukunft hat viele Facetten – Methan gehört dazu

Bis es so weit ist, dass eine Rakete Richtung Weltall abheben kann, durchlaufen ihre Triebwerke mehrere Tausend Testsekunden an den speziell entwickelten Prüfständen. In Lampoldshausen erhalten sie den letzten Schliff. Eine der Kernaufgaben des Standorts ist es, die Prüfstände in den kommenden Jahren technologisch flexibel weiterzuentwickeln und kosteneffizient zu optimieren. Außerdem beschäftigen sich die DLR-Ingenieure ständig mit neuen Technologien für zukünftige Triebwerkskonzepte. Ein Beispiel ist die Treibstoffkombination von Methan und Flüssigsauerstoff (LOX), die in der Entwicklung neuer flüssiger chemischer Raumfahrtantriebe eine vielversprechende Rolle spielt. Im Projekt „Prometheus“ arbeiten DLR-Forscher daran, dass diese sogenannte LOX/Methan-Technolo-

gie für die europäische Raumfahrt bald einsatzbereit ist. Sie soll am Prüfstand P5 getestet werden. Der P5 ist ein gutes Beispiel dafür, dass die in den frühen Anfangsjahren errichteten Großprüfstände auch heute wegweisend und noch lange nicht abgeschlossen sind. Er wurde einst für die Entwicklung des Hauptstufentriebwerks Vulcain der Ariane 5 errichtet und 1990 in Betrieb genommen. Aktuell finden hier noch die Entwicklungstests des Vulcain-2.1-Triebwerks der neuen Ariane 6 statt.

Hinter den Kulissen bereitet ein DLR-Team den Prüfstand bereits auf seine neue Aufgabe vor und entwickelt die erforderliche Infrastruktur für das Prometheus-Projekt. „Ein LOX/Methan-Technologiedemonstrator mit 100 Tonnen Schub soll ab 2020 auf dem Prüfstand P5 getestet werden“, erläutert Anja Frank, Leiterin der Versuchsanlagen, die Perspektiven für die zukünftige Aufgabe, und ergänzt: „Damit Europa





Ab 1966 wurde am Prüfstand P4 das Oberstufentriebwerk Astris unter Höhenbedingungen getestet. Für den Betrieb der Höhenanlage entwickelten die Ingenieure des Standorts spezielle Dampferzeuger. Seit den Siebzigerjahren wurde der P4 für das Ariane-Programm mehrmals umgerüstet. Heute werden dort die Oberstufentriebwerke Aestus und Vinci der Ariane getestet.

Jeder Test an einem Hauptstufentriebwerk ist ein imposantes Ereignis: Vulcain 2.1 verbrennt bei einer Brenndauer von rund 12 Minuten 600.000 Liter Flüssigwasserstoff und 200.000 Liter Flüssigsauerstoff zu reinem Wasser. Zusammen mit dem Kühlwasser bildet es die charakteristische Dampf Wolke über dem Testgelände und fällt später als Regen zurück auf die Erde.



auch über die Ariane 6 hinaus wettbewerbsfähig im Bereich Träger- raketen bleibt, ist es unabdingbar, dass der Übergang von der tradi- tionellen Treibstoffkombination bei den derzeitigen Antrieben – Flüssigwasserstoff und Flüssigsauerstoff – hin zu LOX/Methan reibungslos und zügig verläuft.“ Ein zukünftiges LOX/Methan-Triebwerk kann die Kosten des in den Achtzigerjahren entwickelten europä- ischen Hauptstufentriebwerks Vulcain um den Faktor zehn verrin- gern und ist außerdem wiederverwendbar.

Die Zukunft der Treibstoffe beginnt im DLR Lampoldshausen

Auch zukünftige Treibstoffe sind ein wichtiger Bestandteil der For- schung im Harthäuser Wald. Satelliten werden bislang mit Hydrazin betrieben. Dieser Treibstoff ist über lange Zeit lagerfähig und funk- tioniert auch unter Weltraumbedingungen zuverlässig. Dement- sprechend unverzichtbar ist er heutzutage für Raumfahrtmissionen. Allerdings ist er auch gesundheitsbelastend. Der Umgang mit Hyd- razin am Boden – während des Transports, der Betankung und der Startvorbereitungen – ist aufwändig und teuer. Darum analysieren, bewerten und testen DLR-Wissenschaftler neue Treibstoffe, sogeannte Green Propellants. Sie sind umweltfreundlich, preisgünstig und leicht zu handhaben – und in Zukunft mindestens genauso leistungsfähig wie herkömmliche Treibstoffe.

Näher am Triebwerk der nächsten Generation durch maschinelles Lernen

Um die Entwicklung neuer Triebwerksgenerationen schneller voran- treiben zu können, spielt auch in der Raumfahrt künstliche Intelli-

genz (KI) eine immer wichtigere Rolle. Algorithmen aus dem Bereich des maschinellen Lernens können Fähigkeiten zur Vorhersage aus zuvor erzeugten Daten selbstständig fortentwickeln und anschlie- ßend für datenbasierte Berechnungen, Entscheidungen und Opti- mierungen nutzbar machen.

Entwicklungen, die in diesem Bereich am Standort stattfinden, blei- ben für die Besuchergruppe jedoch unsichtbar. Sie entstehen in den Büros an Rechnern. Unter anderem bei Dr. Jan Deeken und Dr. Günther Waxenegger-Wilfing aus der Gruppe Systemanalyse des Instituts für Raumfahrtantriebe. Sie nutzen künstliche neuronale Netze in dem Projekt LUMEN. Darin beschäftigen sich die Fachleute aus Lampoldshausen mit dem Zusammenspiel aller Komponenten eines Raketentriebwerks: von der Brennkammer über die Turbo- pumpen bis hin zu den Ventilen. Bis zum Projektende 2020 soll erstmals ein vollständiges Modelltriebwerk für die Forschung in einer Prüfstands Umgebung entstehen. „Ein riesiger Vorteil ist, dass wir nicht mehr tagelang auf die Ergebnisse von Berechnungen warten müssen. Das neue ‚Werkzeug‘ ermöglicht es uns, die Ge- schwindigkeit der einfachen Modellierung mit der Genauigkeit von numerischen Methoden zu verknüpfen, und liefert uns sekunden- schnell Resultate. Damit erreichen wir eine neue Stufe im Verständ- nis des Zusammenspiels der Komponenten innerhalb eines Rake- tentriebwerks“, freut sich Deeken. Gute Dienste hat die KI bereits bei der Auslegung der Kühlkanäle der Brennkammer geleistet. Ein für diesen Zweck trainiertes neuronales Netz sagt das komplexe Verhalten des Kühlmediums Methan voraus und ist damit ein zen- traler Baustein einer automatisierten Kühlkanalauslegung für die LUMEN-Brennkammer.

Kein Stillstand

Die Besucher haben ihren Rundgang inzwischen beendet. Sie waren eine der zahlreichen Gruppen, die wöchentlich zum DLR kommen, um sich ein Bild von aktuellen und vergangenen Entwicklungen im Bereich Raumfahrtantriebe zu machen. An vielen Orten Europas wird die Raumfahrt der Zukunft in Büros, Laboren und an Prüfständen voran- getrieben und das DLR Lampoldshausen ist ganz vorn mit dabei. „Das Spannende und zugleich Einzigartige an diesem DLR-Standort ist, dass die Wissenschaftler hier skalenübergreifend forschen, entwickeln und testen können“, sagt Prof. Stefan Schlechtriem. Er ist Direktor des Insti- tuts für Raumfahrtantriebe und lenkt die Geschicke des Standorts seit nunmehr zehn Jahren. Mit der Strategie 2030 verfolgt er ein klares Bild für die Zukunft, bei dem innovative Prüfstandstechnologien und wissenschaftliche Expertise im Fokus stehen. Wichtig ist für Schlech- triem dabei ein stabiles Fundament – sowohl technologisch als auch in

„Das Spannende und zugleich Einzigartige an diesem DLR-Standort ist, dass die Wissen- schaftler hier skalenübergreifend forschen, entwickeln und testen können.“

Prof. Stefan Schlechtriem

strategischen Partnerschaften. „An keinem Standort der europäischen Raumfahrt ist die Verzahnung zwischen Forschung, Entwicklung, De- sign und Planung sowie Triebwerktests an Großprüfständen für Raum- fahrtantriebe so eng wie hier in Lampoldshausen. Diese Ausgangslage ist nahezu einmalig in Europa und bietet enormes Potenzial. Unsere Perspektiven, es zu nutzen, sind ausgezeichnet.“

Anja Kaboth ist im DLR Lampoldshausen für die Standortkommunikation verant- wortlich. Julia Heil ist Redakteurin im Bereich Kommunikation des DLR.

Zentrales Element des Besucherforums ist die offen gestaltete Architektur, die die direkte Kommunikation fördert – sowohl mit der internationalen Raumfahrtcommunity als auch mit der Region



Seit der Eröffnung der Laserfreistrahlschnecke 2008 untersucht ein Wissenschaftlerteam des Instituts für Techni- sche Physik die Eigenschaften sowie die Ausbreitung von Laserstrahlung unter realen atmosphärischen Bedin- gungen. Mit Hilfe der europaweit einzigartigen Anlage werden augensichere Lasersysteme und Verfahren der Laserspektroskopie konzeptioniert. Eine Anwendung ist die Detektion von Gefahrstoffen aus sicherer Distanz.



WOHIN DES WEGS?

Verkehrsplaner brauchen Daten und Forscher Probanden. Im MovingLab geht es um bessere Erhebungstechnologien und aufgeklärte Testpersonen

Florian Kammermeier sprach mit dem DLR-Verkehrsforscher René Kelpin

Seit Postkutschen auf Straßen und Gassen unterwegs waren, sind auch Zahlen zur Nutzung der Verkehrsmittel interessant. Die später aufkommende Sozialforschung sollte sich unter anderem solchen Fragen annehmen. Seit deren Anfängen hat sich das Prinzip der Datenerhebung in der Verkehrsforschung kaum geändert: Menschen werden interviewt und Umfragebögen ausgefüllt. Am Verkehr, seinem Umfang, den Anforderungen, Technologien und Problemen hat sich jedoch viel verändert. Das DLR MovingLab, das derzeit aufgebaut wird, soll mit neuen Erhebungstechnologien helfen, diese Lücke zu schließen – und dadurch deutschen Städten und Verkehrsbetrieben bessere Daten liefern. Informationen, mit denen sie den Verkehr von morgen planen können. René Kelpin leitet den Aufbau der Großanlage DLR MovingLab. Über die Vorteile der digitalen Datenerhebung, die Schwierigkeiten, aus Handydaten auf das verwendete Verkehrsmittel zu schließen, und darüber, warum es keine Option ist, dafür Google-Daten zu verwenden, sprach Florian Kammermeier mit ihm für das DLR-Magazin.



René Kelpin

studierte Mathematik in Berlin und leitet den Aufbau der Großanlage MovingLab. Zudem ist er verantwortlich für die Clearingstelle für Verkehrsdaten. Ihm obliegt es, im Auftrag des Bundes Mobilitäts- und Verkehrsforschungsdaten einheitlich darzustellen und zugänglich zu machen.



Herr Kelpin, Sie fahren jeden Tag quer durch Berlin zur Arbeit ins DLR Adlershof im Südwesten der Stadt. Wie fährt jemand zur Arbeit, der sich beruflich mit Verkehr beschäftigt?

■ Intermodal! Also mit verschiedenen Verkehrsmitteln. Ich fahre mit dem Rad zur S-Bahn, häufig nehme ich das Rad dann mit. Sooft es geht, fahre ich auch nur mit dem Rad. Der Radweg, den ich abseits der Verkehrsadern gefunden habe, ist perfekt. Die Landschaft und die körperliche Betätigung entschädigen für den Zeitaufwand.

Wenn Sie vom DLR für ein Verkehrsforschungsprojekt mit dem MovingLab rekrutiert worden wären – wie würde die App auf Ihrem Handy auf Sie eingehen?

■ Wenn die App läuft, zeichnet sie jeden Weg auf, den ich zurücklege. Anschließend werde ich aufgefordert, diese zu überprüfen und zu beschreiben. Das kann ich sofort machen, wenn ich mit dem Rad am Arbeitsort angekommen bin, oder am Abend. Dann beschreibe ich meine Mobilität über den Tag vor dem Hintergrund des Themas, das die Forscher für die Untersuchung gewählt haben. Beispielsweise könnten mir Fragen zu den Gefahren beim Fahrradfahren gestellt werden und ich trage die Gefahrenschwerpunkte ein, die mir unterwegs aufgefallen sind, wie ein hoher Bordstein oder eine gefährliche Abbiegung.

GNSS-Technologie ist über Navigationsgeräte und Handys schon seit vielen Jahren verfügbar und wird von einem Großteil der Bevölkerung selbstverständlich und vielerorts genutzt – nun ist das DLR mit dem MovingLab unter den Ersten, die in der Verkehrsforschung GNSS und Sensordaten des Smartphones einsetzen. Wie wurden denn in den vergangenen Jahren Daten für die Verkehrsforschung erhoben?

■ Befragungen zur Mobilität als sehr frühe Formen der Verkehrsforschung gab es schon zur Zeit der Postkutschen. Da kamen Leute mit Fragebögen und es wurden Kreuze gemacht. Letztendlich machen Sie nichts anderes, wenn Sie heute einen Onlinefragebogen über Ihr Mobilitätsverhalten ausfüllen oder am Telefon interviewt werden. Dort sitzt jemand am Computer und füllt einen Fragebogen aus. Wir

denken, dass das nicht zeitgemäß ist. Probleme treten vor allem dann auf, wenn ich solche Befragungen auf einen bestimmten Stichtag ausrichte, der vor beispielsweise zwei Wochen war. Wohin bin ich damals gefahren? Warum habe ich nicht mein Auto, sondern das Rad genommen? Was war mit den Kindern? Der Kontext, in dem die Mobilität stattgefunden hat, verblasst. Hier ist der große Unterschied: Mit dem MovingLab können wir den zurückgelegten Weg und die verwendeten Verkehrsmittel am selben Tag oder in der Rückschau anzeigen und daran verschiedene Befragungen knüpfen. Und technische Daten, wie die Länge eines Weges, werden nicht mehr geschätzt, sondern sind bis auf den Meter genau.

„Mit dem MovingLab können wir den zurückgelegten Weg und die verwendeten Verkehrsmittel am selben Tag oder in der Rückschau anzeigen und daran verschiedene Befragungen knüpfen.“

Zu erkennen, mit welchem Fahrzeug ein Weg zurückgelegt wurde, ist ja nichts Triviales. Wie weit sind Sie dabei?

■ Das ist technisch die größte Herausforderung für das MovingLab und ein Forschungsgegenstand. Dafür gibt es keine Software, die man kaufen kann. Parallel mit uns arbeiten verschiedene Firmen an solchen Systemen. Die im MovingLab eingesetzte Software zum Erkennen der Wege und Verkehrsmittel wurde mittlerweile in verschiedenen Projekten getestet. Wir sammeln einmal pro Sekunde das Signal des GNSS-Sensors und zweimal pro Sekunde die Sensorikdaten, also Beschleunigung, Lage und Kompass. Wir wissen somit, wo jemand ist. Über das Bewegungsmuster und den Beschleunigungsrhythmus können wir das Verkehrsmittel erkennen. Wie zuverlässig das funktioniert, hängt von der Qualität der Sensordaten ab. Und die variiert stark, vor allem in Städten. In U-Bahnen und Häuserschluchten, aber auch hinter den beschichteten Scheiben eines ICE ist das GNSS-Signal oft massiv gestört. 100 Prozent Erkennungsquote werden wir daher leider nie erreichen. In Städten kommt noch ein zweiter komplexer Sachverhalt hinzu: Wege werden nicht nur mit einem Verkehrsmittel zurückgelegt. Menschen gehen morgens zu Fuß aus dem Haus, nutzen dann die Bahn zur Arbeit, steigen an einem Bahnhof um und verpassen gegebenenfalls einen Anschluss, stehen also vielleicht 15 Minuten auf dem Bahnsteig. Das unterbricht den Weg, beendet ihn aber nicht – und das muss das Programm automatisch erkennen.

DIE GROSSANLAGE MOVINGLAB

Wenn das MovingLab Ende 2019 online geht, können nicht nur Universitäten und Forschungsinstitute Fragen zur Mobilität nachgehen. Wie bei anderen DLR-Großanlagen auch können Städte und Unternehmen, vom Autohersteller bis zum lokalen Busbetrieb, das MovingLab „mieten“, seine Software nutzen und auch wissenschaftliche sowie technische Unterstützung bekommen.

Das Prinzip der Datensammlung: Über das Global Navigation Satellite System (GNSS) und weitere Sensordaten erkennen Smartphones von Probanden automatisch die Wege und die genutzten Verkehrsmittel. An diese Wege können je nach Thema und Zielgruppe unterschiedliche Fragen geknüpft werden. Der Datensatz kann dann mit subjektiven Informationen angereichert werden, etwa mit dem persönlichen Eindruck, wie voll öffentliche Verkehrsmittel waren oder ob es auf dem Radweg gefährliche Stellen gibt.

Ein Knackpunkt dabei ist es doch, die richtigen Probanden zu finden – und vor allem genügend von ihnen. Von dem Plan, mit Marktforschungsinstituten für das MovingLab 10.000 Probanden zu rekrutieren, haben Sie Abstand genommen. Warum?

Seit der Plan 2016 geschrieben wurde, haben sich die Bedingungen für die Sozialforschung verändert. Heutzutage wird man aufgefordert, jeden Urlaub, Hotelbesuch und Flug, ja nahezu jeden Einkauf zu bewerten. Unsere Methodentests zeigten, dass die Leute umfragemüde sind. Deshalb wollen wir deutschlandweit nur noch 2.000 Probanden rekrutieren und betreuen – wobei gerade die Betreuung sehr aufwändig ist. Diesen deutschlandweiten Pool wollen wir aber noch durch lokale und regionale Pools ergänzen. Die Projektanfragen, die wir erhalten, sind momentan fast ausschließlich lokal – sie kommen beispielsweise aus Berlin, Hannover und Hamburg.

Wenn es so aufwendig ist, Probanden zu rekrutieren, wäre es dann nicht einfacher, bestehende GPS-Tracker zu nutzen oder mit Google zusammenzuarbeiten?

Das funktioniert aus verschiedenen Gründen nicht. Zum einen: Google wird uns seine Daten nicht schenken. Zum anderen müssen wir uns auch Gedanken machen, woher die Daten kommen und ob sie alle mit dem Einverständnis der Nutzer erhoben wurden. Das unterscheidet uns: Wir rekrutieren Nutzer, informieren sie über das Projekt und zeigen klar, welche Forschungsfrage wir mit welchen Daten beantworten wollen. Wir nutzen sie ausschließlich für Forschungszwecke und geben sie niemals an Dritte weiter. Wir haben zudem für unsere Arbeit ein Forschungsprivileg – wir dürfen mehr als Firmen und Marktforscher. Mit dem Einverständnis der Probanden dürfen wir die anonymisierten Daten beispielsweise länger speichern. Arbeiten wir mit Firmen oder Marktforschern im Projekt, verlieren wir dieses Privileg. Außerdem kennen wir durch unsere

Befragungen den demografischen Hintergrund der Personen, können diese dadurch gezielt für Projekte auswählen und ihnen auch gezielt Rückfragen stellen.

Florian Kammermeier studiert an der Universität Passau Volkswirtschaft. Bei Praktika oder in den Ferien blickt er als Journalist aber gern über den Tellerrand hinaus. Zum Interview nach Berlin reiste er mit ICE, Tram sowie zu Fuß und war erstaunt, wie reibungslos das funktionierte.

Die App dürfte dann auch Schwierigkeiten haben zu erkennen, ob jemand am Bahnsteig auf den verpassten Zug wartet oder ein Stockwerk tiefer beim Bäcker etwas isst ...

Genau, das kann man aus Bewegungsdaten allein nicht ablesen. Dafür wollen wir die Daten mit subjektiven Informationen anreichern, indem Probanden beispielsweise den Zweck des Weges angeben. Ein ähnliches Thema, das Einkaufen in Bahnhofssupermärkten, wollen wir demnächst mit dem MovingLab untersuchen. Wie häufig kaufen Menschen an Berliner Bahnhöfen ein? Werden dadurch Wegeketten generiert, die es vorher nicht gab? Oder wird das Einkaufen in den Heimweg integriert? Ein weiteres Projekt, das wir mit dem MovingLab begleiten werden, heißt „EVer“ und befasst sich mit der Dauer von Aufenthalten an Tankstellen. Trinken die Reisenden einen Kaffee? Kaufen sie in einem Tankstellensupermarkt ein? Oder nutzen sie den Stopp auch zum Laden von Elektrofahrzeugen? Das Projekt soll Anfang 2020 mit 500 Fahrzeugen laufen.

„Das unterscheidet uns: Wir rekrutieren Nutzer, informieren sie über das Projekt und zeigen klar, welche Forschungsfrage wir mit welchen Daten beantworten wollen.“



Der Berliner Oberbürgermeister Michael Müller im DLR: René Kelpin (rechts im Bild) und Prof. Barbara Lenz, die Direktorin des Instituts für Verkehrsforschung, zeigen die Funktionsweise des MovingLabs



Auf einem großen Touchscreen-Tisch lassen sich die Daten veranschaulichen, die im MovingLab gesammelt wurden. Verschiedene Farben markieren unterschiedliche Verkehrsmittel. Filterfunktionen erlauben spezielle Abfragen, beispielsweise nach Altersgruppen und Zweck des Weges.

© F. Anthea Schaap



Um sich in der Stadt zu bewegen, nutzen Pendler zunehmend verschiedene Verkehrsmittel ...



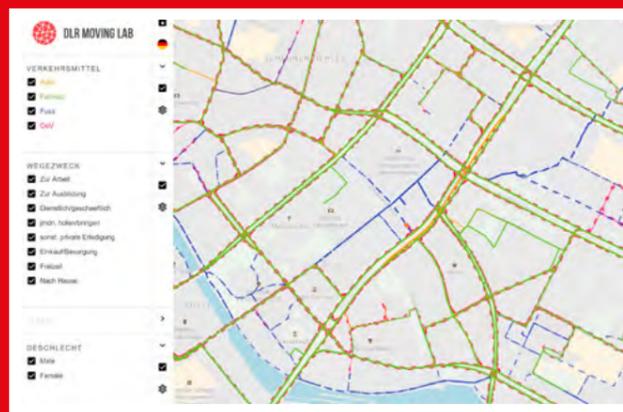
... und steigen dabei zum Beispiel mit dem Fahrrad in die S-Bahn um



Die Straßen können vom Autoverkehr entlastet werden ...



... Verkehrsplaner brauchen Informationen über Umstiege und Wechsel der Verkehrsmittel – für die Forschung eine Herausforderung



Wege durch Berlin im Satellitenbild und als Straßenkarte, sortiert nach Verkehrsmittel und Wegezweck (hier in einer Simulation)

SELBST AKTEUR MODERNER VERKEHRSFORSCHUNG WERDEN?

Wollen Sie an einer Verkehrserhebung mit der MovingLab-Technologie teilnehmen? Dann können Sie sich unter movinglab.dlr.de informieren und registrieren. Sollten Sie kein Smartphone haben oder nutzen wollen, so bekommen Sie einen GPS-Logger gestellt. Alle Fragen können in der App oder online am PC beantwortet werden.

TECHNIK-CHARME IM GOTTESHAUS

Das Pariser Musée des Arts et Métiers

Von Jana Hoidis

Unsere Leben ist einfach: Morgens steigen wir ins Auto, in die U-Bahn oder aufs Fahrrad, um zur Arbeit zu gelangen. Wenn es dunkel wird, schalten wir das Licht ein. Auf unserem Smartphone können wir Filme in Full HD ansehen. Welch ein Luxus! Manche erinnern sich noch an Schwarz-Weiß-Fernseher oder an das Reisen mit einer Dampflok, technische Errungenschaften auf dem Weg in unsere globalisierte, mobile Multimedia-Welt. Wer denkt schon darüber nach, welchen Entwicklungsweg unsere heutigen Transportmittel und Hightech-Kommunikationsgeräte genommen haben? Wer hat ein Bild von den Anfängen im 16. Jahrhundert, von der Zeit der industriellen Revolution? Die Geschichte der Ahnen heutiger Hochtechnologie erzählt eindrucksvoll das Musée des Arts et Métiers in Paris.

Die Ausstellungsstücke atmen Geschichte, ebenso wie das Gebäude, das sie beherbergt. Die Französische Revolution von 1789 bis 1799 trug dazu bei, dass wir heute in der Kirche Saint-Martin-des-Champs und den ehemaligen Abteigebäuden 80.000 (!) Exponate auf 6.000 Quadratmetern bewundern können. Im 12. Jahrhundert wurde das Gotteshaus, das romanische und gotische Stilelemente vereint, in der Nähe der gleichnamigen Abtei errichtet. An derselben Stelle befand sich bereits zur Merowingerzeit vom 6. bis zum 8. Jahrhundert ein Totentempel, wie Ausgrabungen in den 1990er-Jahren bestätigten. Ein seit jeher magischer Ort also. Während der Französischen Revolution wurde die Abtei aufgelöst. Die Räumlichkeiten wurden dem neu gegründeten Conservatoire nationale des Arts et Métiers überlassen, das diese seitdem als Ausstellungsfläche nutzt. Eine Kirche als Museum ist gewiss nicht alltäglich, bietet allerdings Raum für eine sogar vierdimensionale Anordnung der Exponate, aber dazu später mehr.

Wer fliegt besser, der Vogel oder die Fledermaus?

Die ehemaligen altherwürdigen Abteigebäude machen den Hauptteil des Museums aus. Im Erdgeschoss befindet sich die Sammlung der Transportmittel. Vorbei an Fahrrädern und Oldtimern, wie wir sie aus alten Schwarz-Weiß-Stummfilmen kennen, gelangt man zum ersten Highlight des Museums: Es ist die „Fledermaus“ von Clément Ader. Im Treppenaufgang schwebt das offiziell Avion III genannte Flugobjekt unter einer wunderschönen, mit barocken Ornamenten verzierten Decke. Wie der deutsche Flugpionier Otto Lilienthal ließ auch Ader sich bei seiner Erfindung von der Natur inspirieren. Die Flügel empfand er denen einer Fledermaus nach. Mit einem dampfmaschinenbetriebenen Motor schaffte sein erstes Flugzeug einen 50 Meter weiten Sprung. Die Avion III, eine Weiterentwicklung davon, legte tragischerweise direkt während ihres Erstflugs eine Bruchlandung hin.

 t1p.de/pm7j (Virtuelle Ausstellung des Museums zur Avion III von Clément Ader)

Unterhaltungsmechanik versus Kommunikationsnostalgie

Über den opulent gestalteten Treppenaufgang komme ich unter der Avion III hindurch ins erste Obergeschoss. Hier sind vier Sammlungen zu bestaunen: Energie, Mechanik, Kommunikation, Konstruktion. Das Skurrilste auf dieser Etage ist das sogenannte Théâtre des Automates: In einem abgedunkelten Raum mit einer kleinen Tribüne sitzt es sich gut auf der Zuschauerbank. Von hier aus kann man dem Treiben in mechanischen Bildern wunderbar zusehen, die Szenerie ähnelt der in einem Terrarium, nur ist dieses hier aus Blech. Wer lieber selbst aktiv wird, schaltet während eines kurzen Rundgangs die Bilder und Puppenspiele per Knopfdruck an. Plötzlich bewegen sich die Blechfiguren

Technik-Hall-of-Fame in der ehemaligen Kirche Saint-Martin-des-Champs. Die fast bis zur Decke reichende begehbare Stahlkonstruktion eröffnet neue Blickwinkel, sei es auf die Exponate oder auch auf das Kirchengewölbe. Der Freiheitsstatue, Blériots Flugzeug Nr. XI, dem Vulcain-Triebwerk der Ariane-Rakete oder Scotts Dampfmaschine kommt man so beeindruckend nah.

durch die Landschaft und es ertönt Musik. Ich sehe so etwas zum ersten Mal und frage mich, wie es wohl war, als es kein Fernsehen, geschweige denn Netflix, gab und man jeden Tag die gleiche Szene in seinem „Blechfernseher“ ansehen konnte? Eines ist anzunehmen: Solche damals hochmoderne Unterhaltungsmechanik war fortschrittlichen und wohlhabenden Pariser Bürgern vorbehalten. Heute übrigens wieder modern ist die ausgestellte Kommunikationstechnik. Besonders die nach 1950 produzierten Fernseher, Plattenspieler und Telefone. Sie sind hier in Farben und Formen zu sehen, wie man sie selbst in angesagten Retrogeschäften nicht zu Gesicht bekommt.

Pioniere der Wissenschaft

Wissenschaftliche Instrumente und Werkstoffe auf der dritten Etage lassen das Herz jedes an Wissenschaftsgeschichte Interessierten höherschlagen. Da steht zum Beispiel ein wiederaufgebautes Labor von Antoine-Laurent de Lavoisier. Von 1785 bis 1787 baute der Chemiker zwei Gasometer, die ihm Experimente zur Wassersynthese und -analyse ermöglichten. Die Gasometer dienten dabei als Präzisionswaage zur Bestimmung des Gewichts von Wasserstoff und Sauerstoff. Lavoisier begründete damit das Gesetz der Massenerhaltung bei chemischen Reaktionen und legte so den Grundstein der modernen Chemie.

Etlche kleinere Ausstellungsstücke gibt es in Vitrinen zu bestaunen: Das von Michel Ferdinand d'Albert d'Ailly, dem fünften Herzog von Chaulnes, entwickelte Mikroskop beispielsweise. Golden glänzt es im Rokokostil. Ich stelle mir vor, wie das verschnörkelte Gerät von 1750 im prunkvollen Pariser Arbeitszimmer des Herzogs stand und dieser, modisch gekleidet und zurechtgemacht mit weiß gelockter Barockperücke, hindurchschaute. Ich blinzele kurz, habe dann ein Hightech-Elektronenmikroskop mit LED-Display vor meinem geistigen Auge, und denke: was für eine Entwicklung innerhalb von 300 Jahren! Drei Etagen voller technischer Zeitzeugnisse vom 18. Jahrhundert bis in die Gegenwart fordern meine Aufmerksamkeit: Dampfmaschinen, Webstühle und Nähmaschinen, Flugzeuge, Autos, Fahrräder und Lokomotiven, Fernseher und Radios, ja selbst Satelliten, Raketen und Planeten-Rover sind zu sehen. Auch Baumaschinen und verwegene Gebäudekonstruktionen begegnen mir.

Eine Kirche nicht nur zum Beten

Das Eindrucksvollste jedoch kommt zum Schluss: die Kirche. Der Rundgang durch das Museum ist so angelegt, dass man von oben kommend auf den Eingang der Kirche zusteuert. Gleich nach dem Betreten des Gotteshauses fällt der Blick auf ein Foucault'sches Pendel, das in

der romanischen Kapelle von der Decke hängt. Im Jahre 1851 konnte der Physiker Léon Foucault mit dessen Hilfe in einem Versuch erstmals die Rotation der Erde ohne Zuhilfenahme von Beobachtungen des Himmels nachweisen. Weiter rechts im Kirchenschiff ist ein modernes Stahlgerüst aufgebaut. Über diese Konstruktion gelangt man vorbei an einem Modell der Freiheitsstatue über die Treppen hinauf, an historischen Autos und anderen Transportmitteln vorbei, zu den im Gewölbe schwebenden Flugzeugen. Das ruhmreichste unter ihnen ist die Blériot XI. Der französische Luftfahrtpionier Louis Blériot hatte mehrere Jahre seines Lebens der Entwicklung eines einsatzfähigen Flugzeugs verschrieben. Nach diversen Versuchsmodellen wurde sein Traum im Jahr 1909 wahr. Mit seiner Blériot XI brach er zahlreiche Streckenrekorde und erlangte internationale Berühmtheit durch den erstmaligen Flug über den Ärmelkanal. Das seinerzeit überaus leistungsfähige Flugzeug mit einem 25-PS-Motor verkaufte sich hundertfach. Noch heute sind einige flugfähige Maschinen dieses Typs im Einsatz.

 t1p.de/0sqk (Virtuelle Ausstellung zur Blériot XI)

Wer die Pariser Hauptattraktionen bereits kennt, ist mit einem Besuch des Musée des Arts et Métiers gut beraten; an Wissenschaft, Technik und deren Geschichte Interessierte sowieso. Die unzähligen Exponate

der Technik- und Industriegeschichte sind nicht nur lehrreich, sondern auch schön anzusehen. Darüber hinaus versprühen die Gebäude den Charme des typischen Pariser Flairs. Das Stahlgerüst in der Kirche ermöglicht eine vierdimensionale Bewegung durch Raum und Zeit. Den Flugzeugen, der Gewölbedecke sowie den farbenprächtigen Kirchenfenstern kommt man hierüber so außergewöhnlich nah, dass sich einem eine ganz neue Sicht auf die Dinge erschließt. Im wahrsten Sinne des Wortes horizonsweiternd!

Jana Hoidis ist im DLR mit der Kommunikation für die Standorte Nord (Hamburg, Bremen, Bremerhaven und Oldenburg) betraut. In ihrer Freizeit ist sie gern unterwegs auf Pfaden, die Technik und Kunst miteinander verbinden.

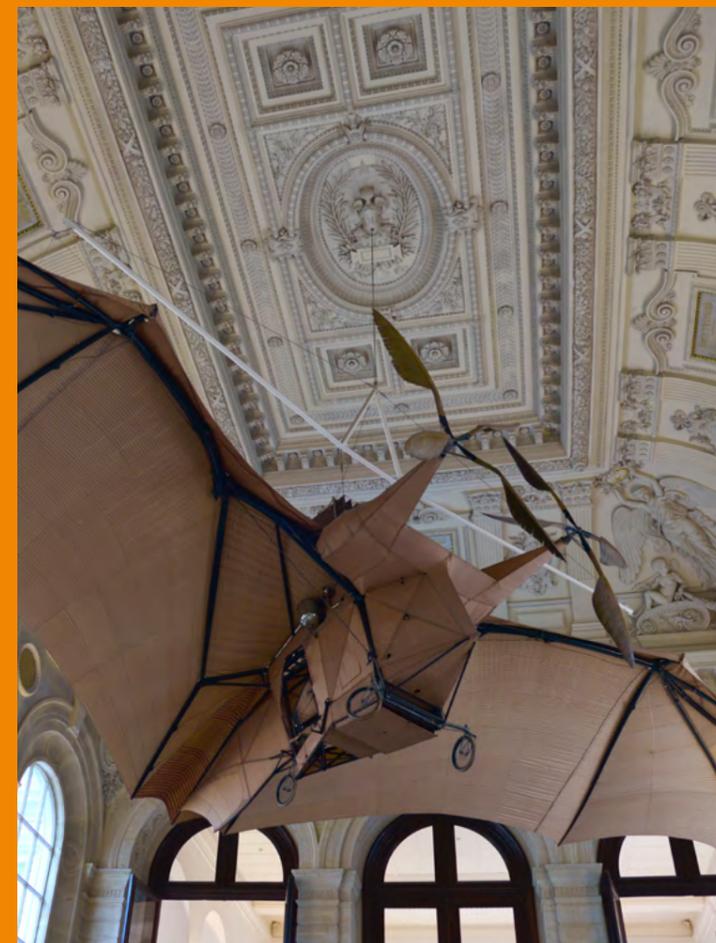
© Musée des arts et métiers - Cham/Sylvain Pelly



Der Hof des Museums hat seinen eigenen Charme



Reihenweise technische Zeitzeugnisse



Die Flügel der Avion III von Clément Ader sind denen einer Fledermaus nachempfunden

MUSÉE DES ARTS ET MÉTIERS

60 rue Réaumur – Paris, 3. Bezirk
 Telefon: +33 (0)1 53 01 82 00
 Metro: Arts-et-Métiers (3, 11) und Réaumur-Sébastopol (4)
 Bus: 20, 38, 39, 47

Öffnungszeiten

Montag bis Sonntag 10:00–18:00
 Donnerstags bis 21:30

Preise

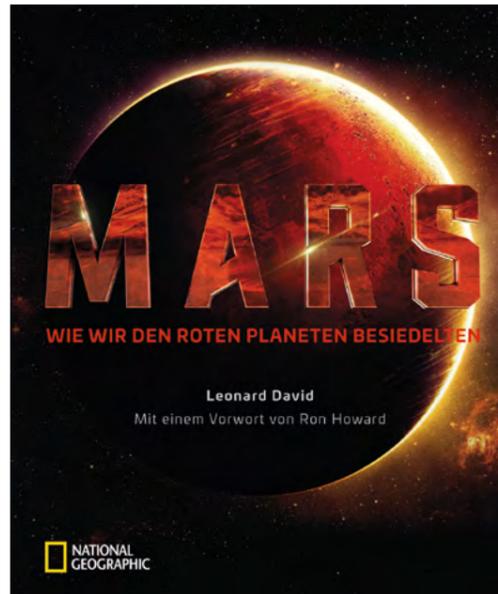
8 Euro, Studenten 5,50 Euro
 Eintritt frei für EU-Bürger unter 26, für Nicht-EU-Bürger unter 18, Personen mit Behindertenausweis und 1 Begleitperson, mit diversen Pariser Tourismuspässen (vorher erkundigen)

Zusatzinformationen

Das Museum bietet für 5 Euro Audioguides in verschiedenen Sprachen an, auch speziell für Kinder: darunter auch Deutsch. Das Haus ist barrierefrei und hat ein Restaurant (Café des techniques).

Regelmäßig gibt es zudem Sonderausstellungen.

 arts-et-metiers.net



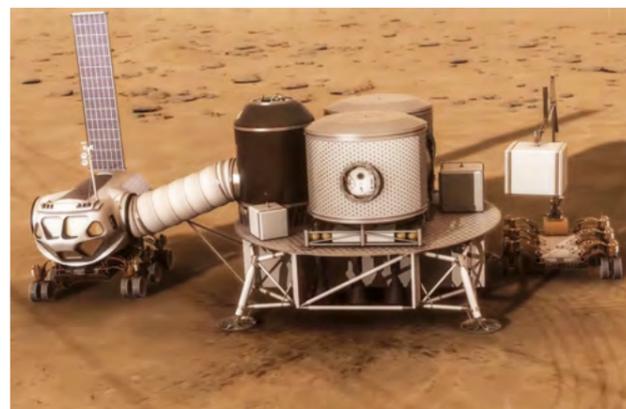
FANTASTISCH-REALER LEITFADEN FÜR DIE MARSBESIEDLUNG

Die letzte Textseite in Leonard Davids **Mars. Wie wir den Roten Planeten besiedelten (National Geographic)** ist Buzz Aldrin gewidmet. Er ist einer der Helden, die der Autor in seinem Bildband würdigt. David stellt aber auch eine Materialbedarfsplanerin vor, die bei einer zukünftigen Marsmission einen wichtigen Job haben würde, oder die Astronautenzwillinge Scott und Mark Kelly und einen Architekten für Weltraumsysteme. Auch die Präsidentin der Space and Technology Policy Group ist dabei – und eben Buzz Aldrin. Der Mann, der als zweiter Mensch überhaupt auf einem außerirdischen Himmelskörper stand, ist ein großer Verfechter einer bemannten Marsmission. „Wenn wir jetzt anfangen, können bis zum Jahr 2040 Menschen erfolgreich auf dem Mars landen, um ihn dauerhaft zu besiedeln“, zitiert ihn der Autor.

Die Reise zum Mond, die Landung und der Aufenthalt von Menschen auf seiner Oberfläche sind immer noch eine einzigartige Leistung. Die viel längere Reise zum Mars und der Aufenthalt dort erfordert noch einmal eine ganz andere, komplexere Planung. Auf fast 300 Seiten bekommen die Mars-Fans alles präsentiert, was ihr Herz begehrt. Gut lesbare, lange Sachtexte, die sich bis ins Detail mit visionärer Architektur, dem leiblichen Wohl, Robotern auf Mission, dem Thema Mikroboten, den Ressourcen vor Ort oder dem Wert des Wassers beschäftigen. Dazu bietet das Buch großformatige Bilder von der Marsoberfläche und Fotoaufnahmen von Expeditionen auf der Erde, mit denen Wissenschaftler Erkenntnisse für eine Marsmission gewinnen. Reale Forscher in ihren irdischen Laboren werden ebenso gezeigt wie Zeichnungen von Visionen einer unterirdischen Großstadt auf dem Roten Planeten.

National Geographic hat das Buch zeitgleich mit seiner Fernsehserie „Mars“ veröffentlicht. Die Buchkapitel entsprechen thematisch den Episoden der unterhaltsamen und empfehlenswerten Serie. Dafür wurde ein interessantes Format gewählt: Die Marsbesiedlung wird im Film als fiktive Handlung, aber doch realistisch dargestellt. In Rückblenden in die „Vergangenheit“ werden unsere heutige Zeit, ihre Forscher und ihre Visionäre als historische Dokumentation betrachtet. Um an dem Buch Gefallen zu finden, muss man die Serie jedoch nicht kennen. Das Buch hat seinen eigenen Reiz: Wie müssen die Habitate auf dem Mars beschaffen sein, damit eine bemannte Mission auch länger vor Ort bleiben kann? Was könnte schiefgehen? Und wer forscht derzeit eigentlich auf der Erde daran, diese Habitate zu entwerfen? Welche Risiken gibt es für die Gesundheit der Marsonauten und wovon werden sie sich ernähren? Welche Missionen wird die Privatwirtschaft zum Roten Planeten durchführen wollen? Kaum eine Frage bleibt unberücksichtigt. Durch die geschickte Verknüpfung von heutiger Forschung und Planung mit der Vorwegnahme der Zukunft, in der die Marsbesiedlung schon stattgefunden haben wird, entsteht ein eindrucksvolles Bild vom Unternehmen „Marsbesiedlung“: ein unfassbar komplexes und schwieriges Unterfangen. Eine Mission, deren Umsetzung heute schon läuft.

Manuela Braun



AUS SEHNSUCHT NACH VERLORENEN ORTEN

Orte seien eine Obsession für ihn, sagt Alastair Bonnett. Das erklärt, warum er nach seinem Buch „Die seltsamsten Orte der Welt“ nun einen weiteren Band geschrieben hat: **Die allerseitsamsten Orte der Welt (C. H. Beck)**. Darin besucht und beschreibt Bonnett 39 sehr unterschiedliche Stätten – und verbindet diese mit bewegenden Hintergrundinformationen und viel Persönlichem. Er macht sich auf die Suche nach dem Phantomtunnel im Bahnhof Shinjuku, in dem laut einer Legende schon einige der Millionen Pendler verschwunden sein sollen. Er berichtet über die Müllstadt in Kairo, die es tatsächlich gibt und wo Menschen in einem Labyrinth aus Müllsäcken leben und den Müll recyceln, um zu überleben. Er beschreibt São Paulo als Helikopterstadt, in der die Reichen sich den Luftraum erobert haben, um dem Stau und der Kriminalität auf den Straßen zu entgehen.

Laut Titel geht es um die Beschreibung von 39 Orten. Bonnett liefert aber viel mehr als nur nüchterne Ortsbeschreibungen, sondern 39 erstaunliche, zuweilen auch gruselige, irritierende, aber auch schöne Geschichten, die den Leser mitnehmen – in die Arktis, nach Helsinki, unter die Meeresoberfläche oder in die Wüste.

Manuela Braun



ARCHIV DER ZUKUNFT

Zum Mond ist in diesem Jahr schon alles gesagt. Mitnichten. Der **Architekturführer Mond (DOM publishers)** belehrt uns eines Besseren. Autor Paul Meuser hat jede Menge so noch nie gesehener Bilder, Illustrationen sowie Skizzen zusammengetragen und ihnen aufschlussreiche Texte zur Seite gestellt. Auf 368 Seiten präsentiert er in schlankem Format ein kompaktes Nachschlagewerk, in dem Sonden und Raumkapseln unter architektonischem Gesichtspunkt gezeigt und ihre Besonderheiten beschrieben werden. Mit farbcodiertem Anschnitt, Mondkarten, einer Aufzählung aller Missionen inklusive eines Ausblicks auf zukünftige erhält der Leser Service mit Spaßfaktor – und Seltenheitswert: Wir können schließlich nicht selbst nachschauen, welche Relikte menschlicher Erkundung da oben verstreut herumliegen.

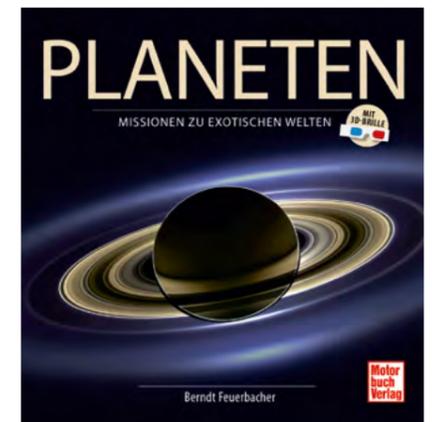
Zuweilen allerdings scheint die Sammelleidenschaft mit Meuser durchgegangen zu sein: Auf Fotos der Akteure und auf Bilder von ihren Gesprächsrunden hätte zugunsten einer stringenten Gestaltung des Themas Architektur verzichtet werden können. Andererseits: So ist das Buch eine reichhaltige Fundgrube für einen größeren Kreis als den der Architektengemeinde.

Cordula Tegen

AUF PLANETENMISSION

So richtig dicht dran an einem außerirdischen Himmelskörper waren eigentlich nur zwölf Menschen: die Apollo-Astronauten, die auf dem Mond standen. Eigentlich. Heute können die Aufnahmen von Satelliten, Teleskopen und Rovern nämlich jeden mit auf die Reise durch das Sonnensystem nehmen. Vor allem Stereobilder, die einen räumlichen Eindruck ermöglichen, machen Betrachter zu Mitreisenden. Berndt Feuerbacher hat im Bildband **Planeten. Missionen zu exotischen Welten (Motorbuch Verlag)** Fotos in den Mittelpunkt gestellt und lediglich kurze Erläuterungen beigefügt. Wichtigstes Utensil: die 3D-Brille aus Pappkarton, die dem Bildband beiliegt. Ein Teil der Aufnahmen lässt die Himmelskörper damit plastisch erscheinen. Auf 240 Seiten geht es mit den Voyager-Sonden zu den Gasplaneten, mit den Mars-Rovern zum Roten Planeten oder mit der Rosetta-Sonde zum Kometen Churyumov-Gerasimenko. Dazwischen gibt es „gut verdauliche“ Häppchen mit Wissenswertem zu den Sonden und Instrumenten. Kurzweilig und informativ!

Manuela Braun





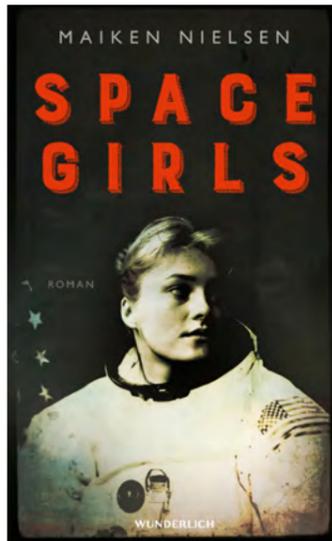
PERFEKTER ROBOTER IN EINER UNPERFEKTEN WELT

Ian McEwan schafft es mit seinem Roman **Maschinen wie ich (Diogenes)**, die Zukunft in die Vergangenheit zu holen: Die Handlung spielt im Jahr 1982 – nur ist es nicht das Jahr 1982, wie wir es kennen gelernt haben. Es gibt bereits Internet für alle, selbst fahrende Autos und Handys, die nicht wie das 1982 auf den Markt gebrachte tragbare Autotelefon von Nokia fast zehn Kilogramm wiegen. Das Informatikgenie Alan Turing – der sich im realen Leben im Jahr 1954 umbrachte, nachdem er durch eine Hormonbehandlung gegen seine damals noch strafbare Homosexualität depressiv geworden war – erfreut sich in McEwans Universum bester Gesundheit und hat zahlreiche Technologien auf den Weg gebracht. Kein Wunder, dass es 1982 auch schon die ersten künstlichen Menschen für den Hausgebrauch gibt.

Charlie, Anfang 30, leistet sich die kostspielige Maschine namens Adam. Ausgestattet mit einem Mechanismus, der Herzschlag und Atmen simuliert, einer Stimme, die nicht wie aus dem Lautsprecher klingt, und Eigenschaften, die sein Besitzer ihm als Persönlichkeitsmerkmal zuordnen kann. Charlies Plan ist es, seine Nachbarin Miranda, die er liebt, mit diesem gemeinsamen Projekt an sich zu binden. Doch Adam erweist sich als überaus intelligent, hat Zugriff auf Archive und Akten und kennt somit auch das dunkle Geheimnis in Mirandas Leben.

Was sich zu Beginn wie eine Geschichte über den Umgang mit Maschinen liest, die dem Menschen intellektuell vollkommen überlegen sind, erhält schnell einen anderen Fokus: Wie ergeht es eigentlich überaus klugen, perfekten Maschinen in einer Welt von unmoralischen und nicht immer smarten Menschen? Das ist ein origineller Ansatz – allerdings benötigt McEwan für seinen Roman auch immer wieder ausführliche Passagen, die die alternative Realität seines Jahres 1982 erläutern, und auch Abschnitte, in denen Roboter Adam oder Mensch Charlie zum längeren Philosophieren neigen. Das bremst den Erzählfluss aus und wirkt etwas konstruiert. Schade, denn das ist eigentlich der zentrale Punkt dieser etwas anderen Geschichte.

Manuela Braun



JUNES BEINAHE-FLUG INS ALL

Die kleine June kommt als Einwanderin nach Amerika. Gegen alle Widrigkeiten arbeitet sie unermüdlich für ihren Traum vom Fliegen. Schließlich wird sie eine der Mercury 13, jener Pilotinnen, die in den Sechzigerjahren ihre Tauglichkeit auch für die Extremforderungen des Raumflugs unter Beweis stellten, von der NASA aber nie ins Astronautenprogramm aufgenommen wurden. Der Roman **Space Girls (Wunderlich)** kommt recht amerikanisch daher, mit einer Prise Heroentum und zuweilen auch nah am Kitsch balancierend. Die Geschichte der jungen Deutsch-Französin ist frei erfunden, doch die Autorin Maiken Nielsen (eine gebürtige Hamburgerin) lässt ihre Heldin vor historisch verbürgtem Hintergrund agieren. Geschickt verwebt sie die tragische Familiengeschichte Junes im faschistisch besetzten Europa mit der amerikanischen Nachkriegsentwicklung und dem amerikanisch-russischen Wettlauf ins All. Das liest sich gut und vermag zu packen.

Mit einem eigenen Erzählstrang greift Nielsen im Reportagestil auch die Mondlandung auf (offenbar kommt ein Roman, der im Jubiläumjahr das Thema Raumfahrt aufgreift, nicht um das epochale Ereignis herum). Wenn sie darüber hinaus noch die ambivalente Rolle Wernher von Brauns zum Thema macht, hat sie vielleicht etwas zu viel gewollt. Dennoch: „Space Girls“ ist ein sehr lesenswerter Roman. Gern folgt man der sympathischen Heldin durchs Leben und weiß: June steht für viele der wunderbar mutigen, klugen, leidenschaftlichen Frauen im Amerika der Sechzigerjahre. Frauen, denen es versagt blieb, einer breiten Öffentlichkeit zu zeigen, was sie zu leisten bereit und in der Lage sind.

Cordula Tegen

RAUMFAHRTTECHNIK AM PULS DER ZEIT

Für Raumfahrtstudenten, wie 1988 auch ich einer war, hatte das **Handbuch der Raumfahrttechnik** von Hallmann/Ley den Status eines Must-have. Seitdem wurde das Werk ständig aktualisiert. Nun legt der **Verlag Hanser** die fünfte Auflage vor, herausgegeben von Prof. Wilfried Ley, Prof. Willi Hallmann und Prof. Klaus Wittmann. Alles über Raumfahrt in einem Buch, geschrieben von denen, die Raumfahrt täglich „machen“. Bemerkenswert ist das „Mission Statement“ der Herausgeber, in dem sie die Anforderungen an das Buch ganz raumfahrtgemäß hinsichtlich Ziel und Weg klar definieren.

Für jedes Kapitel gewannen die Autoren deutsche und europäische Experten, die aktuelles Wissen, von Satellitentechnik, Erdbeobachtung und Weltraumwissenschaft über Strukturen, Umweltsimulation, Antriebe und Thermalkontrolle bis hin zu Bahnmechanik, Betrieb und selbst Raumfahrtrecht, ebenso kompakt wie verständlich präsentieren. Die fünfte Auflage ist so aktuell wie ein solches Buch nur sein kann. Die Einleitung und der historische Überblick, vor allem über die europäische und deutsche Raumfahrt, ziehen auch Nicht-Raumfahrtstechniker in den Bann und wecken Lust auf mehr. Jüngste Entwicklungen, unter anderem im Bereich der Trägerraketen oder bei Missionen zur Internationalen Raumstation ISS, wie die „horizons“-Mission von Astronaut Alexander Gerst im Jahr 2018, finden sich ebenso wieder wie das ISS-Forschungslabor Columbus und der europäische Raumtransporter ATV. Sämtliche Disziplinen und Aspekte der Raumfahrt werden detailliert behandelt. So gibt das Fachbuch einen guten Überblick, der bei Bedarf mittels weiterführender Literaturhinweise vertieft werden kann.

Das Handbuch der Raumfahrttechnik, gemacht für Studenten dieser Disziplin wie auch für angehende und gestandene Raumfahrttechniker, Physiker und Raumfahrtmanager ist eine fundierte und umfassende Arbeitsgrundlage, wie man sie in dieser Qualität kein zweites Mal findet. Auch interessierten Ingenieuren anderer Fachrichtungen und Wissenschaftlern mit Schnittstelle zur Raumfahrt bietet das Handbuch in der aktuellen Auflage eine hervorragende Hilfs- und Nachschlagemöglichkeit. Fazit: Mission erfüllt!

Volker Schmid



LINKTIPPS

SAG MIR, WO DIE ERDE BEBT
ds.iris.edu/seismon

Farbige Kreise blinken auf der Weltkarte auf, sobald sich die Website öffnet. Sie zeigen, wann und wo sich zuletzt ein Erdbeben ereignet hat. In der Rückschau auf die letzten fünf Jahre heben sich die Kontinentalplatten-Ränder hervor. Dies lässt erahnen, wie sehr die Kruste unseres Planeten in Bewegung ist. Die Seite wurde vom universitären Forschungskonsortium IRIS ins Leben gerufen, das sich der Erforschung des Erdinneren widmet. (Englisch)

ERLEBE DIE DLR_RAUMFAHRT_SHOW

youtu.be/1819m093s_U

15.000 Schülerinnen und Schüler waren bei der Premiere der DLR_Raumfahrt_Show „Eine Gedankenreise zum Mond“ in Erfurt dabei. Alle, die das Mega-Event nicht miterleben konnten, finden hier den zweistündigen Mitschnitt. Anlässlich des 50. Jahrestages der Apollo-Mission vermittelten die Moderatoren mit Experimenten, Mitmachaktionen und Videos Wissenswertes über unseren kosmischen Begleiter sowie über die Mondlandung. Mit dabei war auch der deutsche ESA-Astronaut Alexander Gerst.

BUNT UND SCHLAU

[Youtube.com/KurzgesagtDE](https://www.youtube.com/KurzgesagtDE)

„Kurzgesagt“ widmet sich komplexen Themen aus Physik, Technik und Biologie, aber auch Philosophie und Politik – ob Designerbabys, das Mikrobiom, eine Mondbasis, Plastikmüll oder optimistischer Nihilismus. Jedes Video ist liebevoll animiert und bringt die Thematik – ganz im Sinne des Namens – in kürzester Zeit anschaulich auf den Punkt. Aktuell der deutsche YouTube-Kanal mit den meisten Abonnenten.

AUTO-ETHIK IM ONLINESPIEL

moralmachine.mit.edu

Die Frage mag makaber sein, doch in der Realität könnte sie unweigerlich gestellt werden: Wen soll das selbstfahrende Auto überfahren? Die Rentnerin oder die Familie, die die Straße bei Rot überquert? In diesem Onlinespiel müssen die Spieler entscheiden, wer den Unfall wann überlebt und wer nicht. Entwickelt wurde die Website für eine wissenschaftliche Studie des Massachusetts Institute of Technology. Das Projekt wurde vergangenen Herbst abgeschlossen. Wer möchte, kann die Moralmaschine aber immer noch bedienen.

WE ARE DLR

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

Von A wie Antriebstechnik bis Z wie Zentrales Personalmarketing. Dieses Video nimmt mit auf eine Reise quer durch das DLR. Es führt durch 40 Institute und Einrichtungen sowie mehr als 20 Standorte und Außenbüros weltweit. Die dreieinhalb Minuten zeigen, wie viel Begeisterung für Spitzenforschung im DLR steckt, und belegen die Vielfalt der 8.600 Menschen, die hier arbeiten.

Titelbild

Wenn Paketdrohnen und Lufttaxis den Luftraum erobern, werden sie ihn sich mit den bisherigen Akteuren am Himmel teilen müssen. Wie lässt sich die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer und der Menschen am Boden gewährleisten? Das DLR forscht an einem Managementsystem für den Luftverkehr mit bemannten und unbemannten Fluggeräten.

© DLR/Getty Images



Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt