

MASCOT IM WUNDERLAND

Mit der Mission Hayabusa2 geht die Weltraumforschung neue Wege

LEISER FLIEGEN
AUTOMATISIERT FAHREN

Liebe Leserinnen und Leser,

„Wat den Eenen sin Uhl“, ist den Annern sin Nachtigall“. Fritz Reuters Lebensweisheit ist längst auch jenseits des niederdeutschen Sprachraums zum geflügelten Wort geworden. Es passt gut zum Jahr 2018. Die Winzer frohlocken – die Feldbauern darben, Beeren im Überfluss – die Maisernte ein Desaster. Schönstes Badewetter – Seen in Atemnot. Es neigt sich ein Jahr der Gegensätze dem Ende zu, nicht nur, was die Wetterfolgen anbelangt. Gegensätze hatten Konjunktur.

Für und Wider gegenüberzustellen, ist zuweilen schmerzlich. Es kann aber auch Triebkraft sein, nämlich dann, wenn es gelingt, Auseinanderstrebendes zu verbinden. Vor- und Nachteile einer technischen Neuerung zu sehen und sie zu verknüpfen, ist ein Motor für Innovationen. Der Wunsch nach permanenter Mobilität beispielsweise liegt im Widerstreit mit dem Ruheanspruch der Anwohner von Verkehrswegen. Und so suchen DLR-Wissenschaftler Lösungen für leisere Flugzeuge: Der Bericht über Low Noise ATRA zeigt, wie konstruktive Änderungen den Fluglärm verringern können. Automatisierung im Bahnverkehr, so ein anderes Beispiel, bedeutet auch, dass der Triebfahrzeugführer die Fahrt „nur noch“ überwacht und so die Gefahr von Ermüdung steigt: DLR-Bahnforscher untersuchen das genauer und haben Lösungsvorschläge. Oder Satelliten: Von ihnen profitieren die Erdfernerkundung und die irdische Kommunikation. Ihr Nachteil: Reparaturen im Weltraum sind kaum möglich, und wenn, dann gefährlich und teuer. DLR-Ingenieure machen sich nun die Holografie zunutze, um dafür robotische Lösungen zu entwickeln. Und ein Beispiel aus der Energieforschung: Energiequellen, die sich naturgemäß erneuern, können fossile Brennstoffe ersetzen. Aber ihre zeitlich begrenzte Verfügbarkeit setzt intelligente Speicher voraus. DLR-Energieforscher arbeiten daran.

Den Widerstreit von Pro und Kontra gibt es auch jenseits von Wissenschaft und Technik. Weihnachten zum Beispiel, wenn das Familienfest, dem die Friedfertigkeit quasi verordnet ist, plötzlich mit Türzuwerfen endet, weil es der Oma zu hektisch und dem Enkelsohn zu öde ist. Dafür haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR freilich keine Patentlösung. Da gilt Fritz Reuters Wort und der in ihm verborgene Appell an unsere Gelassenheit.

Einen harmonischen Jahresausklang wünscht Ihnen

Ihre Magazin-Redaktion



FACTORY OF THE FUTURE 14



WIE ÄNDERT SICH DER BAHNARBEITSPLATZ? 10



UNBEMANNT ZUR HILFE 32



MISSION ZUM MERKUR 40



KOMMENTAR 04



HOLOGRAFIE IM ALL 44



BESUCH BEIM DRACHENGOTT 36

KOMMENTAR	4
Mehr als Sonne und Wind	
MELDUNGEN	5
AUF DEN PUNKT GEBRACHT	6
Erdbeobachtung für automatisiertes Fahren	
BAHNARBEITSPLATZ IM WANDEL	10
DLR-Studie zu Human Factors	
MELDUNGEN	12
INTELLIGENTE ROBOTER IN DER DIGITALEN PRODUKTION	14
Das Querschnittsprojekt Factory of the Future	
ROBOTERDUO AUF FEHLERSUCHE	20
Qualitätssicherung im Leichtbau	
AUGEN FÜR DIE SOLARBRANCHE	24
Webcam-Daten verbessern Wetterprognose	
IDEEN GEGEN EINEN KLIMAKILLER	26
Dorottya Gúban forscht für eine umweltverträgliche Düngemittelherstellung	
ATRA IM FLÜSTERGEWAND	28
Technologien zur Fluglärminderung	
EIN HOFFUNGSVOLLER FALL	32
Unbemannt im humanitären Einsatz	
MASCOT IM WUNDERLAND	36
Die Mission Hayabusa2	
WANDERER MIT EISENHERZ	40
BepiColombo auf dem Weg zum Merkur	
15 JAHRE MARS EXPRESS	42
ICH SEHE WAS, WAS DU AUCH SIEHST	44
Hologramme für den Weltraumservice	
OPERIEREN MIT DEM NANO-TOOL	48
Die Werkzeuge der Werkstoffforscher	
IN MUSEEN GESEHEN	52
Ein Palast für Pferdestärken	
REZENSIONEN	56

MEHR ALS SONNE UND WIND

Ein Kommentar von Karsten Lemmer

Gute Nachrichten! Erstmals ist der Zuwachs von Fotovoltaikleistung weltweit größer als der anderer Energiequellen. Es geht also voran mit der Energiewende. Wermutstropfen: Der Ausstoß von Treibhausgasen steigt seit einigen Jahren wieder. Wir machen also etwas richtig, aber auch irgendetwas falsch. Was müssen wir also bewegen, um die ambitionierten Klimaziele von COP23 zu erreichen und unser energiereiches Leben mit der Umwelt in Einklang zu bringen?

Ganz klar, Deutschland hat mit seinen Anstrengungen zur Energiewende bereits sehr früh einen guten Stand erreicht. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat viele Impulse gesetzt und ein Umsteuern sowie gesellschaftliches Umdenken bewirkt. Erneuerbare Energie ist kein Thema rein ideologischer Umweltpolitik mehr, sondern formt, als selbstverständliches Ziel angenommen, nach und nach unseren Alltag. Viele Beispiele wie Frankfurt oder der Landkreis Fürstentfeldbruck, die vollständig auf erneuerbar umstellen, machen das deutlich. Im Hambacher Forst spiegelt sich das Dilemma der Jetztzeit zwischen Kohle und Sonne: Die Besetzer erteilen dem Kohleabbau und seinen ökologischen Folgen moralisch zu Recht eine Absage, der Energiekonzern fordert juristisch zu Recht die Landnutzung ein, unterstützt durch die Staatsgewalt. Medien, Politik und Gesellschaft schauen zu – und reflektieren, Schritt für Schritt zur Energiewende. Statt den Energiekonzern nun als gierig und rückständig zu verteufeln, sollten wir ihn auch als Garanten für die Befriedigung unseres Energiebedarfs wahrnehmen und ihn auf dem Weg ins erneuerbare Zeitalter begleiten. Kohlekraftwerke sind Investitionen, die sich rentieren müssen für Betreiber und subventionierende Steuerzahler, und zugleich Arbeitgeber für tausende Menschen in ganzen Regionen. Existierende Abbauflächen können Solaranlagen oder Windräder beherbergen, die bestehenden Kraftwerke wandeln die gewonnene Energie in Strom oder Wasserstoff um. Ergänzt um große Strom-Wärme-Strom-Speicher speichern sie die erneuerbar gewonnene Energie im gewohnten Kraftwerksmaßstab. So werden aus ungeliebten Kohlekraftwerken klimafreundliche Energielieferanten.

Erneuerbare Energien sind der Schlüssel zur Energiewende. Sie stellen das Energiesystem aber auch vor neue Herausforderungen. Millionen Dächer mit Solarzellen, Solarkraftwerke in nahen und fernen Sonnenregionen, tausende Windräder auf See und an Land machen deutlich: Wo bislang wenige Anbieter aus wenigen Kraftwerken Energie ins System einspeisten, liefern künftig zahlreiche unterschiedlichste Energieproduzenten Beiträge zur klimaneutralen Energieversorgung. Und das nur bei Sonnenschein und Wind. Gleichzeitig verändert der Verkehr den Energiebedarf durch Elektromobilität und regenerativ herzustellende synthetische Kraftstoffe. Das Energiesystem muss sich daher wandeln, auch mit Hilfe von Digitalisierung und künstlicher Intelligenz, um mit den dezentralen, heterogenen, fluktuierenden Energiequellen den vielfältigen Bedarf von Gesellschaft und Industrie nach Strom, Wärme, Kälte und Mobilität befriedigen zu können. Ohne intelligente Netze und Speicher geht das nicht.

Deutschland kann stolz auf das bisher Erreichte sein, am Ziel sind wir aber noch lange nicht. Proteste wie im Hambacher Forst, Skandale wie „Dieselgate“, Gesetze wie EEG und Verabredungen wie COP23 befeuern den Fortschritt. Mit Konzepten und Technologien für nachhaltige Energiegewinnung, flexible Energiespeicherung und dezentrale Energienetze baut das DLR Brücken für eine nachhaltige Energiewende. Mit erneuerbaren Energien und ohne Emissionen.



Professor Dr.-Ing. Karsten Lemmer ist im DLR-Vorstand verantwortlich für die Bereiche Verkehr und Energie

SICHERHEIT SOLARER KRAFTWERKE: SILICONÖL BESTEHT QUALIFIKATIONSTEST

In der süd-spanischen Provinz Almería haben DLR-Wissenschaftler mit internationalen Partnern die Praxistauglichkeit eines neuen, auf Siliconöl basierenden Wärmeträgers demonstriert. Die Betriebssicherheit ist ein wichtiger Punkt bei der Entwicklung von Komponenten und Wärmeträgern für Solarkraftwerke. Bislang fehlen aber eindeutige und international anerkannte Verfahren und Standards. Die Prometeo-Demonstrationsanlage auf der Plataforma Solar de Almería (PSA) bietet den Entwicklern ideale Möglichkeiten, um die Nachweise für den sicheren Betrieb eines neuen Wärmeträgeröls zu erbringen.

Im Rahmen eines eigens von WACKER, DLR und CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) entwickelten Freisetzungsvorgangs wurde für den Test ein geborstenes Rohr simuliert. Durch die Leckage, simuliert durch ein sehr schnell öffnendes Ventil, strömte das 420 Grad Celsius heiße Wärmeträgeröl aus, ohne sich dabei zu entzünden. Der Prozess wurde vom TÜV Nord geprüft und begleitet. Der Versuch war einer der letzten Schritte zur Qualifikation des Siliconöls HELISOL®5A, ein vom Münchner WACKER-Konzern entwickeltes Wärmeträgermedium für Parabolrinnenkraftwerke. Zuvor hatte das Öl bereits den sogenannten Proof of Concept erfolgreich bestanden, bei dem es über 480 Stunden bei einer Betriebstemperatur von 425 Grad Celsius in der Demonstrationsanlage solar betrieben wurde (in Summe 1.100 Stunden Solarbetrieb).



Prometeo-Testanlage auf der Plataforma Solar de Almería

s.DLR.de/674h

DER AUTOMATISIERTE ENERGIEBERATER

Algorithmus für günstige und vergleichbare Information vor Energiesanierungen

Jedes Jahr werden etwa 400.000 Wohneinheiten allein in Deutschland saniert – viele auch energetisch. Voraus gehen Energieberatungen. Deren Kosten können im vierstelligen Bereich liegen. In ihrer Qualität vergleichbar sind sie jedoch kaum. Das DLR-Spin-off „neofizient“ hat nun ein Messsystem entwickelt, das energetische Informationen von Gebäuden auswertet. „Beratungen sollen durch unseren Algorithmus objektiver, schneller und einfacher werden und dadurch auch günstiger“, sagt Silvan Siegrist, der zusammen mit Dr. Arne Tiddens das Projekt leitet.

Das System basiert auf Kameras, die einen Raum im 360-Grad-Winkel im sichtbaren und infraroten Bereich fotografieren. Die Bilddaten werden dann in einem Modell übereinandergelegt. Dadurch kann beispielsweise der Wärmedurchgangskoeffizient berechnet werden. Dieser zeigt, wo wie viel Wärme verloren geht. Damit werden Wärmebrücken erkennbar, die die Dämmung des Gebäudes durchbrechen. Beispiele dafür sind Stahlträger, die durch eine Wand ragen, schlecht isolierte Fensterrahmen oder Feuchtigkeit in den Wänden. Diese Daten können dann von den Sanierern selbst, Energieberatern oder Handwerkern ausgewertet werden. „Das Messsystem soll so günstig werden, dass man es sich ohne Weiteres ausleihen kann, und so einfach, dass es auch Laien einsetzen können“, sagt Silvan Siegrist.



Das Infrarot-Messsystem in der Hand von Silvan Siegrist (rechts) macht Wärmeverluste sichtbar, links im Bild präsentiert von Dr. Arne Tiddens

Siegrist und Tiddens arbeiten derzeit am DLR-Institut für Solarforschung in Jülich. Bis Ende 2019 erhalten sie aus dem Förderprogramm „Helmholtz Enterprise“ etwa 250.000 Euro. Ihr Messsystem soll im Frühjahr 2019 auf den Markt kommen. Zudem wurden sie in das europäische Programm Climate-KIC Accelerator aufgenommen, das an 15 Standorten europaweit umweltfreundliche Technologieentwicklungen unterstützt.



AUF DEN PUNKT GEBRACHT

VON DER ERDBEOBACHTUNG ZUM
AUTOMATISIERTEN FAHREN



Hell und brillant scharf – jedes Mal wieder sprangen Hartmut Runge die winzigen weißen Punkte ins Auge, wenn er Radaraufnahmen von TerraSAR-X betrachtete. Der Wissenschaftler vom DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung ging den leuchtenden Hinweisen nach und machte eine überraschende Entdeckung: Laternenmasten, Ampeln, Straßenschilder und ähnliche Objekte entlang von Straßen steckten hinter der Strahlkraft. Für die Erstellung der typischen Erdb Beobachtungsprodukte wie Bodennutzungskarten oder Höhenmodelle waren sie nicht von Bedeutung. Doch das Interesse des langjährigen Verkehrsforschers war geweckt – denn Kollegen von ihm hatten gerade ein Verfahren zur hochgenauen Koordinaten-Messung entwickelt.

Mit der DLR-Technologie DriveMark® lassen sich aus dem All digitale Straßenkarten mit hoher Auflösung erstellen

Von Bernadette Jung

GPS, Galileo und andere globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) gehören zu unseren zuverlässigen Begleitern, die wir unterwegs gerne zur Orientierung auf unbekanntem und auch bekannten Strecken nutzen. Die Positionsbestimmung erfolgt mit immer höheren Genauigkeiten, abhängig vor allem von der Signalumgebung. Dabei kommt es auf jeden Zentimeter an – besonders wenn sich zunehmend automatisierte Fahrzeuge am Straßenverkehr beteiligen. Schon heute locken Neuwagen mit zahlreichen Assistenzsystemen und teilautonomen Funktionen, die den Autofahrer entlasten. Für eine vollumfängliche Autonomie müssen die Fahrzeuge neben der herkömmlichen Satellitennavigation mit einem System ausgestattet sein, das im Fall einer Signalstörung auch ohne GNSS präzise den Weg weist.

Als Hartmut Runge die Leuchtpunkte im Radarbild als verkehrsrelevante Objekte identifiziert, ist die Idee zu DriveMark geboren: Navigation anhand von Landmarken. Mit Hilfe der Fahrzeug-Sensoren und mit dem Netz von Landmarken entsteht ein hochgenaues und zuverlässiges Navigationssystem, das unabhängig von GNSS weltweit verfügbar ist. „Mit dem Radarsatelliten TerraSAR-X und einer speziellen geodätischen Verarbeitungskette können wir die x-, y- und z-Koordinaten von Landmarken auf wenige Zentimeter genau bestimmen, ohne selbst vor Ort zu sein. Dadurch lassen sich große oder schwer zugängliche Gebiete sehr effizient erfassen. Bei DriveMark nutzen wir also Technologien und Methoden der Satellitenfernerkundung für Navigationsanwendungen. Wir erstellen Referenzpunkte und Straßenkarten, die für Fahrer-Assistenzsysteme und automatisierte Fahrzeuge relevant sind“, erklärt der DLR-Wissenschaftler in seiner ruhigen und bedachten Art. In den vergangenen Jahren konnte er seine Anwendungsidee den wichtigsten Industrievertretern schon in Präsentationen und Pitches vorstellen und ist dabei auf großes Interesse gestoßen.

Der Vorschlag überzeugte 2013 auch die Fachjuroren im internationalen Ideenwettbewerb „Copernicus Masters“, der alljährlich von der AZO Anwendungszentrum GmbH Oberpfaffenhofen durchgeführt wird. So gewann der DLR-Wissenschaftler nicht nur die Einzelausschreibung „BMW Connected Drive Challenge“, sondern trug auch den Gesamtsieg davon.

Über das Straßengeschehen genauestens im Bild: Der Radarsatellit TerraSAR-X erfasst markante Punkte am Straßenrand (DriveMarks), wie Verkehrsschilder und Leitplankenpfosten (hier am Autobahndreieck Hittistetten bei Ulm). Die Informationen über die Fahrbahnmarkierungen wurden aus Luftbildern eines DLR-Forschungsflugzeugs mit dem institutseigenen 3K-Kamerasystem gewonnen.

Zur Auszeichnung gehörten Beratungsgespräche mit den Spezialisten des Automobilherstellers aus München, sodass Runge die Anforderungen an moderne Karten für das automatisierte Fahren abstecken und seine Idee nun gezielt weiterentwickeln konnte. Im Rahmen eines DLR-Innovationsprojekts mit dem Technologiemarketing und unterstützt vom Helmholtz-Validierungsfonds, entstand so das patentierte Verfahren DriveMark.

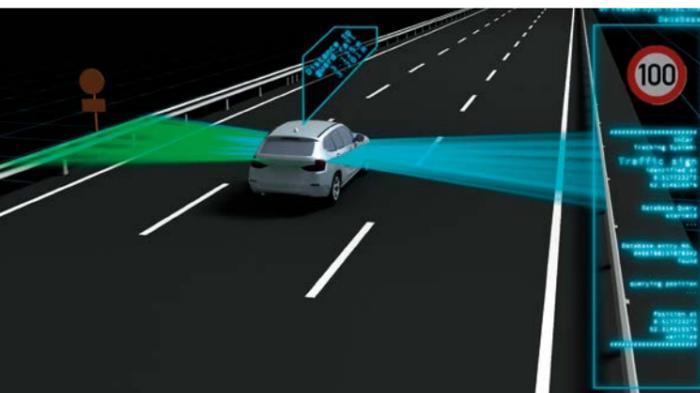
Klassisches Messprinzip und hochmoderne Technologie

Das Grundprinzip, die Orientierung mittels Landmarken, stammt aus der klassischen Vermessung. Seit Jahrhunderten werden Kirchtürme, Bergspitzen und andere feste Referenzpunkte genutzt, um mittels Triangulation die eigenen Koordinaten zu bestimmen. Bisher mussten diese Landmarken immer von einem Vermessungsteam vor Ort ermittelt werden – alles andere war zu ungenau. Ein aufwändiges Prozedere, das im Gegensatz zum satellitenbasierten Verfahren eine flächendeckende Kartierung kaum möglich macht. Für Navigationsanwendungen liefern Fernerkundungssatelliten allerdings momentan nicht die notwendige Genauigkeit. DriveMark schlägt nun eine Brücke von dem uralten Messprinzip zu den neuesten Hochtechnologien und eröffnet damit einen neuen Anwendungshorizont. Für diesen Kniff hat das Team rund um Runge eine dreiteilige automatisierte Prozessierungskette entwickelt, mit der die Fernerkundungsdaten zu digitalen Straßenkarten mit einer absoluten Genauigkeit im Bereich von zehn Zentimetern umgewandelt werden. Damit erfüllt DriveMark die Anforderungen für den Einsatz im Bereich autonome Mobilität.

Dazu gilt es zunächst, die verkehrsrelevanten Landmarken im Radarbild zu identifizieren und ihre Koordinaten exakt zu bestimmen. Ideal sind senkrechte Objekte wie etwa Verkehrsschilder und Leitplankenpfosten, da sie nahe der Straße auf glattem Untergrund stehen und dabei einen festen Dreieckswinkel bilden. So fungieren sie als Retro-Reflektoren und werfen das Radarsignal stark fokussiert

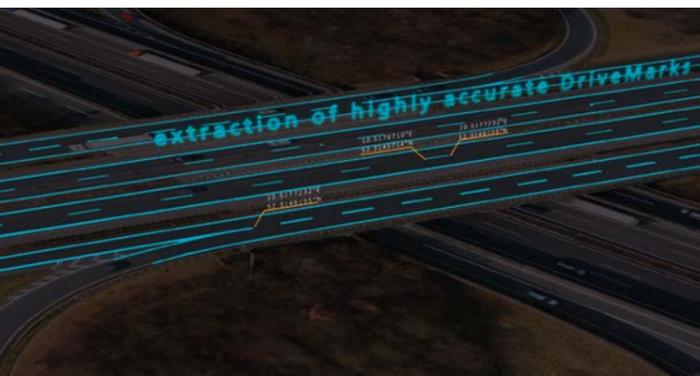
zurück. Im Radarbild weisen sie eine markante Signatur auf – scharfe, helle Punkte auf dunklem Hintergrund. „Das ist der gleiche Effekt wie das Aufblitzen der Katzenaugen am Fahrrad, wenn der Scheinwerfer eines Autos darauf trifft – das ist nicht zu übersehen“, erläutert der Radarexperte verschmitzt. Die Fußpunkte der Stangen und Masten nutzt Runge dann als Messpunkte für die Landmarken, die sogenannten Ground Control Points (GCPs). In einem automatisierten Verfahren ermittelt der geodätische SAR-Prozessor, eine Entwicklung des DLR-Instituts für Methodik der Fernerkundung, die am besten geeigneten GCPs im Radarbild und bestimmt die Koordinaten. Dabei werden auch natürliche Einflussfaktoren berücksichtigt und korrigiert, von denen die Messergebnisse verfälscht werden könnten, wie etwa ionosphärische und troposphärische Störungen sowie geodynamische Effekte durch Gezeitenkräfte.

Um die Koordinaten der Landmarken aus dem Radarbild auf optische Bilder von Satelliten oder Flugzeugen zu übertragen, kommt der „Optical Co-Registration Processor“ zum Einsatz. Dies ist zum einen für die Nutzung als Straßenkarte Voraussetzung, zum anderen bieten Luftbilder eine sehr hohe Auflösung. Die Straßenmarkierungen sind gut erkennbar, sodass sie automatisiert extrahiert werden können. Der Prozessor sorgt dafür, dass eine präzise georeferenzierte Ansicht der GCPs mit einer kontrollierten absoluten Genauigkeit von oft wenigen Zentimetern entsteht. Im letzten Verarbeitungsschritt werden aus dem optischen Bild zusätzlich topografische Merkmale gefiltert und digitalisiert. Der spezielle „Road Feature Extractor“ erkennt zum Beispiel Fahrbahnmarkierungen und ergänzt die Landmarken-Übersicht mit Fahrspuren, Seitenstreifen und Ausfahrten, sodass eine digitale Straßenkarte entsteht: „Wir haben die Technologien in enger Abstimmung mit Automobilherstellern entwickelt, um ein anwendernahes Produkt anbieten zu können. Die automatisierte Digitalisierung der Passpunkte und Fahrbahnmarkierungen ist ein wesentliches Merkmal und Voraussetzung für die Marktfähigkeit von DriveMark.“

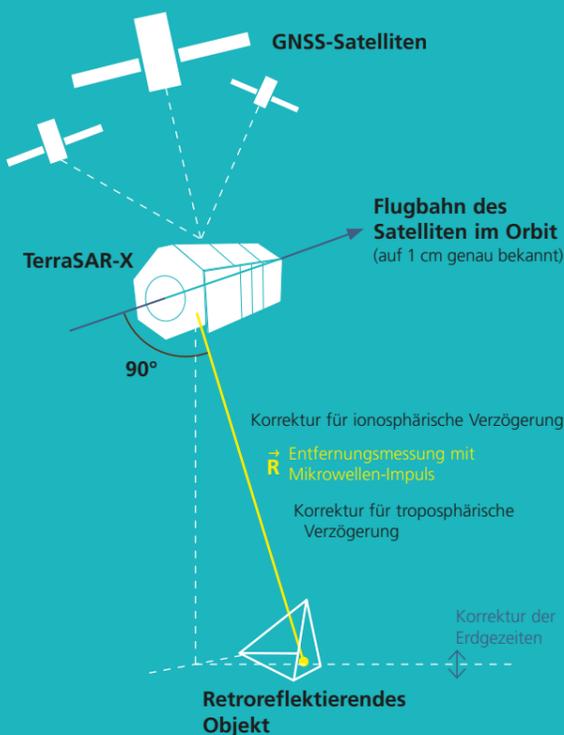


Positionierung eines autonomen Fahrzeugs innerhalb der Fahrbahn. Die DriveLines (Leitplanken, aber auch die Striche mit den Fahrbahn-Markierungen) sind mit ihren exakten Koordinaten in der Karte eingetragen. Das Verkehrsschild dient als „Landmarke“, um die Position des Fahrzeugs nochmals abzusichern.

Die exakten Koordinaten der Fahrbahnmarkierungen werden aus den Luft- und Satellitenbildern gewonnen



FERNMESSUNG VON BODEN-KOORDINATEN MIT TerraSAR-X



Autonome Mobilität und andere Anwendungsmöglichkeiten

Die gewonnenen Ground Control Points können einzeln als Referenzpunkte wie auch in der Gesamtschau als Navigationskarte genutzt werden. Daher bieten sie sich unter anderem als Ankerpunkte für das sogenannte „Mobile Mapping“ und die Ego-Lokalisierung von autonomen Fahrzeugen an. Da es sich um digitale Karten handelt, lassen sie sich in bestehende Assistenzsysteme einspeisen, sodass ein Fahrzeug beispielsweise mit der On-Board-Kamera die Passpunkte anvisieren und dadurch die eigene Position bestimmen kann. Unabhängig von GPS & Co weiß das Auto dann jederzeit und an jedem Ort, wo es sich genau befindet. Dadurch wird automatisiertes Fahren mit eindeutiger Spurführung und komplexen Fahrmanövern wie Spurwechseln und Abbiegen möglich.

So haben Hartmut Runge und seine Teamkollegen auch schon das nächste Verfahren entwickelt und zum Patent angemeldet: Mit DriveLine® lassen sich die Leitplanken und Lärmschutzwände am Rande der Fahrbahn zur exakten Positionierung des Fahrzeugs innerhalb der Fahrspur nutzen. Mit Hilfe von Fernerkundung wird deshalb nicht nur die Straße selbst, sondern auch die Bebauung in deren Umgebung kartiert. Abstandssensoren in den Fahrzeugen bestimmen kontinuierlich die Distanz zu den DriveLines und vergleichen ständig diese Messungen mit der Karte. Dieses Spurhalteverfahren dient als Redundanz, beispielsweise wenn bei herkömmlichen kamerabasierten Systemen eine Blendung durch Gegenlicht auftritt. Eine genaue Karte kann – konsequent gedacht – auch zur Kollisionsvermeidung dienen und hilft, plötzliche Veränderungen der Umgebung durch Unfallstellen oder temporäre Baustellen präzise zu verorten.

Im Verkehrssegment können mit dem neuen Verfahren auch die Testgebiete für automatisiertes Fahren gezielt kartiert werden, da hier schnell genaue Daten gefragt sind. Weiterhin können Kartendienstleister ihre Produkte hinsichtlich ihrer geodätischen Genauigkeit überprüfen – für eine effiziente unabhängige Qualitätskontrolle. Das Einmessen mittels Passpunkten ist nicht zuletzt in der Bauwirtschaft ein hoch attraktives Verfahren, da der arbeitsintensive Einsatz vor Ort und in schwer zugänglichen Gebieten entfällt. DriveMark versieht Luft- und Satellitenbilder mit genauen Koordinaten, sodass sie für klassische Vermessungs- und Kartierungsarbeiten verwendbar werden.

Aus der ungewöhnlichen Verknüpfung von Fernerkundung und Navigation kann so auch in Zukunft eine Vielzahl neuer Technologien und Anwendungsmöglichkeiten wachsen. Hätte sich Runge diese Entwicklung vorstellen können, als ihm zum ersten Mal diese brillant scharfen Punkte auf den TerraSAR-X-Bildern auffielen? „Nein, sicher nicht“, lacht der erfahrene Wissenschaftler. „Ich hatte keine Ahnung, wie groß das Projekt werden würde – mit den Vorstudien, den Technologieentwicklungen und der Industrievorbereitung waren das drei Projekte in einem. Anfangs wollte ich eigentlich nur herausfinden, ob man diese Punkte überhaupt für Verkehrsanwendungen nutzen kann.“ – Nun, dieser Punkt ist erhellend geklärt.

TerraSAR-X UND TanDEM-X

DriveMark nutzt zur Positionsbestimmung Aufnahmen der deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X. Die Orbits der Zwillingsatelliten werden vom Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum in Oberpfaffenhofen auf einen Zentimeter genau berechnet. Ähnliche Genauigkeiten werden dank moderner Radar-Geodäsie auch für die Abstandsmessung zwischen der Satellitenantenne und dem Objekt am Boden erreicht. Für eine Positionsbestimmung in x-, y- und z-Koordinaten sind mehrere Aufnahmen aus

INTERVIEW MIT ROBERT KLARNER, DLR-TECHNOLOGIEMARKETING

Was ist der Stand beim Technologietransfer von DriveMark?

Das Innovationsprojekt wurde erfolgreich abgeschlossen und die Ergebnisse sind validiert: Die Anforderungen wurden voll erfüllt – teils ist die Genauigkeit sogar noch besser als erwartet. Wir haben nun die Vermarktung bei den möglichen Nutzern der Technologie gestartet. Das konkrete Interesse besteht, zeigen erste Aufträge für Beispieldaten. Ziel ist es, die DriveMark-Lösung so zu transferieren, dass kommerzielle Lizenznehmer damit eigenständig ihre hochgenauen Kartenprodukte anreichern oder auch validieren können.



Robert Klarner

Automobilhersteller haben bereits autonome Fahrzeuge im Testeinsatz. Welche Relevanz haben dann noch fortgeschrittene Ideen wie DriveMark?

Die neue Generation von Navigationskarten in bester Auflösung, also HD, wird unerlässlich für das sichere hochautomatisierte Fahren, da sich die Experten einig. Hierfür kann DriveMark die genauen Referenzpunkte liefern, um die Fahrbahnen und das „Straßenmobiliar“ präzise an ihren richtigen Positionen zu verorten. Besonders vorteilhaft ist, dass diese Anwendung aus der Raumfahrt überall – also in Amerika und Asien genauso wie in Deutschland – flächendeckend und automatisiert eingesetzt werden kann. Das sind entscheidende Erfolgsfaktoren für den Einsatz in der Praxis.

DriveMark und DriveLine sind eingetragene Markenzeichen des DLR – wie bringt das ein Projekt voran?

Wir sind uns bewusst, dass unser neues Verfahren erklärungsbedürftig ist und sich etablieren muss. Deswegen die geschützte Marke – sie schärft das Profil der Technologie hin zur Schlüsselanwendung. Schließlich geht es um die Entwicklung hin zum neuen Produkt für unsere Kunden und deren Kunden. Inzwischen ist DriveMark zum internationalen Brand mit Wiedererkennungswert im DLR wie auch außerhalb geworden. Innovation ist schließlich das, was draußen ankommt.



Hartmut Runge ist Nachrichtentechniker und war bei der Entwicklung der SAR-Technologie im DLR von Anfang an mit dabei. Seit rund zehn Jahren beschäftigt er sich mit Anwendungen im Bereich Verkehr.

WIE ÄNDERN SICH BERUFSBILDER IM AUTOMATISIERTEN BAHNVERKEHR?

Der Bahnbetrieb wird digital. Die Automatisierung macht auch vor der Arbeit der Fahrdienstleiter und Triebfahrzeugführer nicht halt. Software übernimmt immer mehr Aufgaben, Menschen überwachen häufig nur noch die Technik. Wie sich das auf den Arbeitsalltag auswirkt, wie daraus Sicherheitsrisiken entstehen können und welche Maßnahmen Unternehmen ergreifen sollten, untersucht das DLR-Projekt Next Generation Railway Systems (NGRS) in Human-Factors-Studien.

DLR-Wissenschaftler forschen zum Bahnbetrieb der Zukunft und haben Gestaltungsvorschläge

Von Theresa Sieberhein

Ganz ohne den Menschen geht's nicht – das wird auch im hochtechnologischen System Bahn so bleiben, selbst bei zunehmender Digitalisierung. Wie sich Mensch und Maschine die Arbeit teilen, veränderte sich in den vergangenen Jahrzehnten allerdings schon deutlich: Durch Assistenz und Automatisierung fällt dem Menschen immer mehr die Überwachung technischer Systeme zu, manuell zu steuernde Tätigkeiten werden seltener. Doch genau diese Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine kann zu einem Sicherheitsrisiko werden, sagen Forscher des DLR-Projekts Next Generation Railway Systems.

„Aus arbeitspsychologischer Sicht sind passive Überwachungstätigkeiten ein Problem. Sie bergen die Gefahr von Monotonie in sich, eine Ursache für Müdigkeit“, sagt Dr. Anja Naumann, Leiterin des NGRS-Teilprojekts Cognitive Ergonomics. Das Resultat: Die Aufmerksamkeit lässt nach und Mitarbeiter sind sich der aktuellen Situation weniger bewusst. Doch gerade das ist wichtig, um im Notfall rasch reagieren zu können.

Aus diesem Grund sucht die Rail-Human-Factors-Forschung am DLR nach Maßnahmen, um die Aufmerksamkeit der Mitarbeiter aufrechtzuerhalten oder zu erhöhen. In diesem Kontext wird auch die Beanspruchung – der sogenannte workload – bei Fahrdienstleiter und Triebfahrzeugführer betrachtet, insbesondere wie Automatisierung zu Monotonie führt. „Unser Ziel ist es, die Arbeit von Fahrdienstleitern und Triebfahrzeugführern optimal zu gestalten und damit ein mittleres Beanspruchungsniveau zu erreichen. Dies führt auch zu einer optimalen Leistungsfähigkeit“, sagt Naumann. Notfällen oder gar Unfällen, wie zum Beispiel in Bad Aibling 2016, könne so besser vorgebeugt werden.

Für ihre Arbeit entwickelten die Forscher zunächst ein Erhebungsinstrument für das Situationsbewusstsein und das DLR-Workload Assessment Tool (DLR-WAT), das die Beanspruchung von Probanden erfasst. Mit Hilfe dieser und weiterer Methoden beobachteten und untersuchten die Forscher Triebfahrzeugführer und Fahrdienstleiter in Simulationen. Dabei variierten sie den Grad der Automatisierung.



Führerstandsimulator RailSET (links) mit Versuchsleiterarbeitsplatz (rechts)

„Unsere Ergebnisse bestätigen die bisherige Forschung darin, dass eine hochautomatisierte Arbeitsumgebung zu einer subjektiv empfundenen Unterforderung führt. Fahrdienstleiter, die bereits mit automatisierter Zuglenkung arbeiten, fühlen sich häufig nicht mehr genug gefordert. Noch stärker tritt das bei Triebfahrzeugführern auf, deren Züge automatisch die Geschwindigkeit regeln“, sagt Anja Naumann.

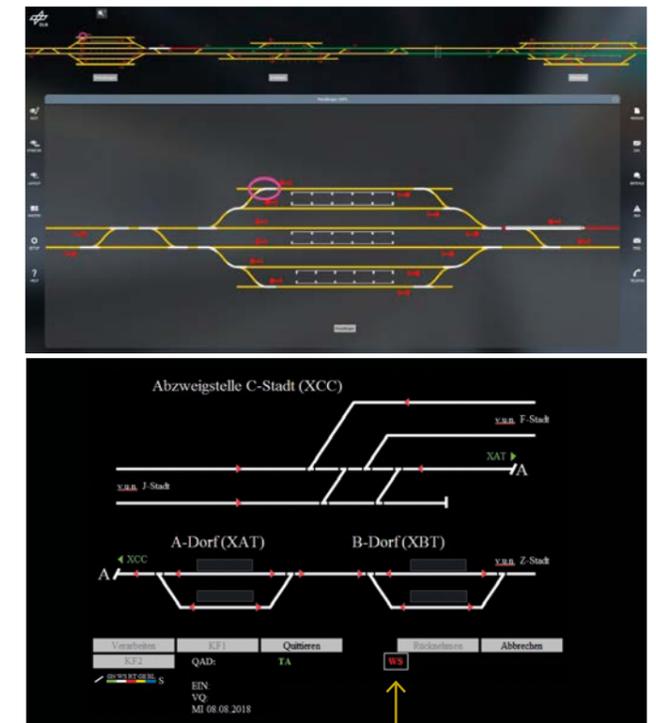
Wie stark sich Fahrdienstleiter beansprucht fühlen, kann sich rapide ändern. Störungen in der Simulation lassen das Level abrupt ansteigen. „Anstatt sich dann allein auf das Betriebsgeschehen konzentrieren zu können, werden die Fahrdienstleiter aber durch eine nicht optimal gestaltete Bedienoberfläche und durch zeitaufwändige Zwischenschritte abgelenkt. Im Alarmfall beispielsweise tauchen Warnmeldungen bisher nur gesammelt auf. Der Fahrdienstleiter muss gleichzeitig die Lage schnell analysieren, die Störung melden und dem Triebfahrzeugführer Instruktionen geben“, sagt Anja Naumann. Der Vorschlag der Forscher: Werden die Warnmeldungen besser visualisiert – indem beispielsweise das gestörte Element markiert wird –, kann der Fahrdienstleiter die Situation schneller erfassen und besser reagieren.

Um die Situation für Triebfahrzeugführer zu verbessern, prüfen die Forscher zwei Optionen: Die Triebfahrzeugführer müssen immer wissen, welche Assistenzen und Automatisierungen gerade aktiv sind. Darin sollen die Zugsysteme die Mitarbeiter besser unterstützen. Wie, das wollen die Forscher im weiteren Jahresverlauf untersuchen. Ebenso sollen fahrplanbezogene Informationen deutlicher dargestellt werden, um den Überblick über die Gesamtsituation zu verbessern.

Die DLR-Forscher arbeiten außerdem an einem neuen Konzept für automatisierte Züge: Treten Störungen auf, könnten die Züge in Zukunft durch einen sogenannten Train Operator ferngesteuert werden. Dieser könnte beispielsweise in einer Betriebszentrale sitzen. Da es bei der Bahn bisher keine automatisierten Personenzüge im Regelbetrieb gibt, betreten die DLR-Forscher damit Neuland.

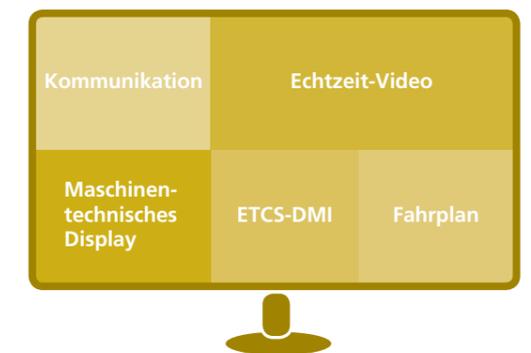
„Insgesamt zeigen unsere Ergebnisse, dass bei der Gestaltung beider Arbeitsplätze auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen automatisierten Prozessen und der Einbindung des Fahrdienstleiters und Triebfahrzeugführers in die Prozesse geachtet werden sollte“, sagt DLR-Forscherin Anja Naumann. „Auch wenn Routineprozesse weiter automatisiert werden: Die Stärke des Menschen ist es, zu analysieren und Probleme zu lösen. Der Mensch wird deshalb auch weiterhin eine zentrale Rolle im Bahnbetrieb haben. Bei diesen Aufgaben wollen wir die Mitarbeiter durch unsere Forschung unterstützen.“

Theresa Sieberhein arbeitet als Referentin am Institut für Verkehrssystemtechnik. Als solche ist sie zuständig für interne und externe Kommunikation.



Optimierung der Bedienoberfläche für den Fahrdienstleiter; oben: Markierung der Störung direkt an der gestörten Weiche durch eine blinkende Umrandung in Fuchsia; unten: ursprüngliche Darstellung im elektronischen Stellwerk

Störungsmeldung Weichenstörung



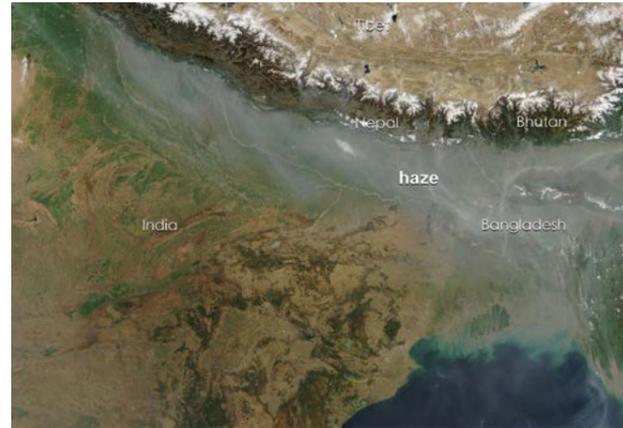
Konzept für den Arbeitsplatz eines Train Operators (ETCS-DMI = European Train Control System-Driver Machine Interface). Quelle: Brandenburger, N. & Naumann, A. (2018). Menschliche Problemlösung macht automatisierten Bahnverkehr erfolgreich. Signal + Draht 3/2018, S. 6–13].

DER MONSUN VERTEILT UND ENTFERNT SCHADSTOFFE

In den Wintermonaten herrscht dicke Luft über Südasien: Vor allem über Nordindien, Nepal und Bangladesch reichern sich die Abgase von verbrannter Biomasse und fossilen Rohstoffen an. Erst mit dem Monsun im Sommer löst sich die sogenannte Atmospheric Brown Cloud wieder auf. Die Prozesse, die dabei in der Atmosphäre ablaufen, wurden von Wissenschaftlern des internationalen Forschungsprojekts OMO (Oxidation Mechanism Observation) mit DLR-Beteiligung untersucht. Ihre Ergebnisse veröffentlichten sie im Fachmagazin Science (bit.ly/2L2zs1w).

Demnach befreit der Monsun die Luft teilweise von Schadstoffen mit Hilfe von Hydroxylradikalen – sehr reaktive Verbindungen aus einem Wasserstoff- und einem Sauerstoffatom. Reagieren diese mit Schadstoffen, so hat das zwei Folgen: Manche Moleküle, wie das klimaschädliche Methan, werden in weniger schädliche Stoffe umgewandelt. Andere, wie Schwefeldioxid, werden in wasserlösliche Säuren umgewandelt. Sie bilden in eisigen Höhen von 13 bis 17 Kilometern Partikel. Regen wäscht sie häufig aus, sobald Winde sie um den Globus und in tiefere Lagen bringen. Nach dem gleichen Prinzip verteilt der Monsun auch Schadstoffe, die nicht mit Hydroxylradikalen reagieren. Um dies nachzuweisen, folgten die Wissenschaftler mit dem DLR-Forschungsflugzeug HALO den Schadstoffen aus Südostasien bis in den Nahen Osten. Sie fanden auch heraus, warum die Hydroxylradikale im Monsun so effizient arbeiten: Stickoxide können einmal gebildete Hydroxylradikale in einem chemischen Zyklus quasi recyceln. Stickoxide, die aus Blitzen entstehen, und aus dem Verkehr in den asiatischen Ballungszentren gibt es in den Monsungewittern reichlich. Der Monsun hat also zwei Gesichter: Er reinigt teilweise die Luft Südasiens, verteilt aber auch ihre Schadstoffe um den Globus.

s.DLR.de/739i



Eine riesige Schmutzwolke – die Atmospheric Brown Cloud – entsteht jedes Jahr über Südasien und wird vom Monsun verteilt



Das Flugzeugkonzept „eRay“ des siegreichen Teams der TU-München

STUDIERENDE ENTWARFEN FLUGZEUG MIT TURBOELEKTRISCHEM ANTRIEB

Den diesjährigen Studentenwettbewerb um das beste Konzept für das Flugzeug von morgen gewann ein Team aus München, gefolgt von Stuttgart und Aachen. „The eRay Aircraft Concept“ senkt den Energieverbrauch und die Emissionen deutlich. Das Flugzeug hat einen turboelektrischen Antrieb. Auffällig sind die Antriebspakete an der hinteren Tragflächenkante sowie ein leicht angestelltes Höhenleitwerk, welches eine gute Integration eines Heck umschließenden Triebwerks ermöglicht. Dabei nutzen sie den sogenannten „Boundary Layer Ingestion“-Effekt, bei dem die Grenzschicht, die eigentlich den Strömungswiderstand erhöht, Effizienz steigernd von den Triebwerken aufgenommen wird. Zudem reduzieren sie den Widerstand durch die geringere Leitwerkfläche. Ein neues Kabinenkonzept sowie eine aktive Reduktion der Böenlast verringern außerdem das Gewicht.

Für die NASA/DLR-Design Challenge hatten sich sieben Teams aus sechs Hochschulen angemeldet. Das deutsche Gewinnerteam des Wettbewerbs reiste im Herbst 2018 zur amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA in die USA, um sich dort mit den amerikanischen Siegern zu messen.

s.DLR.de/m306



Das Testfeld H2ORIZON wird künftig auch für DLR-Partner in Wissenschaft und Wirtschaft verfügbar sein

100 TONNEN WASSERSTOFF HAUSGEMACHT

Die 2.000 Quadratmeter große Forschungs- und Demonstrationsanlage H2ORIZONS ging im DLR Lampoldshausen in Betrieb. In Zukunft sollen damit jährlich 100 Tonnen Wasserstoff produziert werden. Ein Großteil des Gases wird direkt am Standort verbraucht: Das DLR-Institut für Raumfahrtantriebe ist mit seinen Raketentestständen einer der größten Wasserstoffnutzer Europas. Auch die Strom- und Wärmeversorgung des Standorts aus zwei Gasmotoren-Blockheizkraftwerken soll durch Wasserstoff ergänzt werden. So wie die Abnehmer befinden sich auch die Stromerzeuger in direkter Nähe zum Standort: Ein 1-Megawatt-Anschluss verbindet die Wasserstoff-Produktion mit dem nahegelegenen Windpark „Harthäuser Wald“. Mit der Anlage sollen auch technologische und systemische Lösungen rund um den Aufbau eines wasserstoffbasierten, vernetzten Energiesystems gefunden werden.

s.DLR.de/bink

POWER PACK FÜRS LASTENBIKE

Bis zu 50 Prozent der straßenverkehrsbedingten Emissionen in europäischen Städten werden durch den Wirtschaftsverkehr verursacht. Das Fuel Cell Power Pack (FCPP), das von DLR-Forschern speziell für Lastenräder entwickelt wurde, ermöglicht einen emissionsfreien Transport von Gütern. Das Konzept basiert auf einem hybriden Antriebssystem, in dem eine Brennstoffzelle mit einer Lithium-Ionen-Batterie verknüpft ist. Die beiden Elemente unterstützen sich gegenseitig. Normalerweise wird das Lastenrad von der Brennstoffzelle angetrieben, die 300 bis 500 Watt Leistung erbringt. Bei Spitzenlasten wie Beschleunigungen wird die Batterie zugeschaltet. Durch schnelles Nachtanken des Wasserstoffs ist es möglich, das Lastenrad in mehreren Arbeitsschichten in den Betrieb zu integrieren. Im Winter sorgt ein Kaltstartmodul, welches das Brennstoffzellensystem vorheizt, für Zuverlässigkeit. Das Lastenrad soll zwischen Verteilzentren und Kunden eingesetzt werden, um Pakete schneller und emissionsfrei zu ihren Empfängern zu bringen.

Das FCPP gehört zu den sechs Geschäftsideen, die seitens der Helmholtz-Gemeinschaft für eine Förderung im Ausgründungsprogramm „Helmholtz Enterprise“ ausgewählt wurden.

Bild: Visualisierung DLR/DLR/Berlin



Visualisierung: Lastenrad mit Brennstoffzellen-Packlinks unter dem Lenkrad

s.DLR.de/02hl

ERDBEOBACHTUNGSSATELLIT ADM AEOLUS MISST WINDPROFILE

Ein neuer 1,4 Tonnen schwerer Erdbeobachtungssatellit umkreist seit dem 22. August 2018 die Erde. Die europäische ADM Aeolus-Mission hat ein leistungsstarkes Laser-System an Bord. Mit ihm werden vertikale Windprofile erstellt und so zum ersten Mal hochgenau und zeitnah Daten zu globalen Windfeldern in der Atmosphäre erfasst. Auf diese Weise soll nicht nur das Verständnis der dynamischen Prozesse in der Atmosphäre verbessert werden, sondern auch die mittel- bis langfristige Wettervorhersage und die Qualität der Klimabeobachtung. Das Laser-System sendet dazu kurze kraftvolle Pulse im UV-Lichtwellenbereich in die Atmosphäre. Das Teleskop sammelt das reflektierte Licht und der Empfänger analysiert die Daten entsprechend ihrer Geschwindigkeit und Windrichtung in Nahezu-Echtzeit.

s.DLR.de/aibf

Bild: ESA/CNES/Arianespace



REGIONALMELDUNGEN

GÖTTINGEN: Das Zusammenführen der Daten verschiedener Sensoren ist für intelligente Systeme im Straßenverkehr extrem wichtig. Das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik und die Forschungsgruppe Datenfusion am Institut für Informatik der Universität Göttingen arbeiten auf diesem Gebiet künftig enger zusammen. Gemeinsam wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Verfahren zur Sensordatenfusion in der Verkehrsüberwachung entwickeln und erproben.

JENA: Das DLR-Institut für Datenwissenschaften hat Wolfgang Tiefensee, Thüringer Minister für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft, bei dessen Besuch ein Citizen-Science-Projekt vorgestellt. Die Arbeitsgruppe Bürgerwissenschaften des DLR erfasste zusammen mit ihm und einigen Schülern über eine App den genauen Standort sowie verschiedene Pflanzenparameter. Mit der App sollen Bürger ergänzend zu Radarsatelliten Daten bereitstellen. In dem Jenaer DLR-Institut werden Konzepte für den Umgang mit großen Datenmengen entwickelt. Dabei geht es nicht nur um deren Verwaltung und Integration, sondern auch um fachübergreifende Verarbeitung, Analyse und Aufbereitung.

KÖLN-PORZ: Wie sich Schlafmangel und Alkoholeinfluss auf Menschen auswirken, untersuchten DLR-Wissenschaftler zusammen mit Jülicher Forschern im DLR-Schlaf Labor. Dazu waren 50 Personen 38 Stunden lang am Einschlafen gehindert worden. Anschließend wurden Reaktionszeit sowie Leistungsfähigkeit der Testpersonen gemessen. Bei einem weiteren Test nahmen die Probanden eine individuell berechnete Menge Wodka zu sich. Es zeigte sich, dass Menschen, die empfindlich auf Schlafentzug reagieren, auch stärker auf Alkohol reagieren und umgekehrt. Die Studie soll helfen, Empfehlungen für Dienst- und Ruhezeiten herzuleiten, um menschliches Versagen aufgrund von Übermüdung zu verhindern.

STUTTGART: Wie muss sich der europäische Automarkt entwickeln, damit die globale Erwärmung noch auf 1,5 Grad begrenzt und das Ziel des Pariser Klimaabkommens erreicht werden kann? Das haben Wissenschaftler vom DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart im Auftrag von Greenpeace untersucht. Um das Ziel mit fünfzigprozentiger Wahrscheinlichkeit noch zu realisieren, dürften ab 2030 keine Fahrzeuge mit reinem Benzin- oder Dieselantrieb und ab 2037 auch keine Hybridfahrzeuge mit Verbrennungsmotor mehr verkauft werden. Ein zweites Szenario geht von einer 66-prozentigen Wahrscheinlichkeit aus, das Ziel noch zu erreichen, und ist der Studie zufolge nicht mehr realisierbar.

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

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

DLR.de/meldungen

DLR.de/newsletter

INTELLIGENTE ROBOTER IN DER DIGITALEN PRODUKTION

DLR-Querschnittsprojekt Factory of the Future:
verzahnte DLR-Forschung für die Industrie 4.0

Von Manuela Braun

Ausgerechnet ein Schreiner, der ganz individuelle, auf den Kundenwunsch ausgerichtete Produkte herstellt, könnte ein guter Vergleich sein, um die „Factory of the Future“, die Fabrik der Zukunft, zu beschreiben. Auch wenn es im Labor des DLR-Instituts für Robotik und Mechatronik überhaupt nicht nach einer kleinen Werkstatt aussieht, in der Einzelstücke auf Kundenwunsch gefertigt werden. Roboterarme im grau-blauen Design, industrielle Werkstücke, Greifer und Computerbildschirme, an denen Ingenieure arbeiten, werden vom LED-Licht in dem geräumigen Hightech-Labor angestrahlt. Werkstätten für die Fertigung von Einzelstücken, von maßgefertigten Möbelstücken, mit individuell ausgewählten Materialien, Formen und Abmessungen sehen anders aus. Roman Weitschat vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik, der das DLR-Projekt „Factory of the Future: Intelligente Robotik in der digitalisierten Produktion“ leitet, bemüht trotzdem den Schreiner mit seinen Kundenaufträgen als Vergleich. Denn: Was am DLR erforscht und entwickelt wird, soll eine Zukunftsfabrik ermöglichen, die eben auch das kann – auf Anforderung, flexibel und individuell Produkte herstellen. Allerdings nicht nur für wenige Kunden, die sich das leisten können, sondern für einen größeren Markt.

„Mass customisation“, die Massenproduktion nach individuellen Kundenwünschen, nennt sich das. In der Automobil-Industrie kommt dieses Prinzip bereits zum Einsatz: Dort werden Fahrzeuge produziert, die sich ein Kunde aus einer Vielzahl von möglichen Varianten zusammengestellt hat. Felgen, Farbe, Türgriffe, Außenspiegel – bei manchen Fahrzeugtypen kann der Käufer an vielen Stellen festlegen, wie sein Traumauto aussehen soll. „Das ist allerdings mit einem erheblichen Aufwand in der Planung und Umsetzung der Fertigung verbunden, der sich häufig nur bei großen Stückzahlen lohnt“, sagt Korbinian Nottensteiner, stellvertretender Projektleiter, ebenfalls vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik.

Kombination der Expertisen

Im Jahr 2018 startete das Querschnittsprojekt, in dem elf Institute und Einrichtungen des DLR aus den Bereichen Raumfahrt, Luftfahrt und Verkehr ihre unterschiedlichsten Expertisen einbringen. Bereits bestehende Forschungsaktivitäten sollen miteinander verknüpft und harmonisiert werden. Hinzu kommen neue Schwerpunkte und Ziele, abgeleitet aus der gemeinsamen Vision einer voll vernetzten, digitalisierten Produktion, in der Menschen und Roboter-Assistenten in Zusammenarbeit einen Flexibilitäts- und Effektivitätssprung vollziehen. „Die DLR-Entwicklungen prägen die Industrie 4.0 in Robotik, Automation und Leichtbau bereits heute maßgeblich. Durch die Bündelung der Aktivitäten werden wir Wirkung und Sichtbarkeit innerhalb Deutschlands und international weiter steigern“, sagt Professor Alin Albu-Schäffer, Leiter des Instituts für Robotik und Mechatronik und Projektinitiator. „Die Entwicklung von Spitzentechnologie für Luft- und Raumfahrt versetzt uns in die besondere Lage, grundlegend neue Wege hinsichtlich flexibler und vernetzter Produktion, innovativer Herstellungsprozesse und neuer Applikationsfelder zu beschreiten.“

Die Aufgabe ist nicht einfach: Mit dem Trend zur Individualisierung muss die Fertigung in der Fabrik der Zukunft geringe Stückzahlen von komplexen Produkten liefern können – und das zu Kosten, die das Ganze auch wirtschaftlich machen. Dabei soll die Interdisziplinarität der DLR-Institute helfen, die in das Querschnittsprojekt unterschiedliche Perspektiven, Forschungsmethoden und Fachwissen einbringen. In der Zukunftsfabrik sind unter anderem neben Robotik und autonomen Systemen auch innovative Sensorik, künstliche Intelligenz, Simulationsmethoden, Methoden der Digitalisierung und Leichtbau gefragt.



Programmieren durch Vormachen: Der Leichtbauroboter SARA lernt von seinem Bediener. Dieser zeigt ihm nicht nur, was er ausführen soll, sondern auch, wie er es ausführen soll.

Team aus Mensch und Roboter

„In den Achtzigerjahren hatte man die Vision von vollautomatischen Fabriken, in denen Maschinen die Menschen vollständig ersetzen – abgesehen von den technischen Hürden ist das aber letztendlich zu teuer“, erläutert Projektkoordinator Roman Weitschat. Mit einer zunehmenden Variantenvielfalt und immer schneller wechselnden Trends kann eine solche automatisierte Fabrik ebenso wenig mithalten wie ein Schreiner in seiner kleinen Werkstatt. In Zukunft, so das Ziel, sollen Mensch und Roboter stattdessen in einer digitalisierten Produktion kooperieren, damit sie durch die Kombination ihrer Fähigkeiten einen Wettbewerbsvorteil schaffen: Der Mensch „dirigiert“ die Fertigung, der Roboter wird zum intelligenten Helfer. Der Mensch schafft die Bedingungen und der Roboter entlastet den menschlichen Arbeiter bei der Durchführung der Aufgaben. „Roboter können intelligent sein, aber sie reichen nie an den Menschen heran“, ist sich Weitschat sicher. „Ohne die Flexibilität und die vielfältigen Kompetenzen des Menschen geht es in naher Zukunft nicht.“

Der dritte Arm des Menschen

Der Umgang zwischen Mensch und Roboter wird dabei sicher und intuitiv sein. So wie in der robotischen Arbeitszelle in der Produktion der Zukunft: Der Roboter ist in diesem Fall feinfühlig und lässt sich durch manuelles Führen einfach programmieren. Während der Bediener eine Aufgabe vormacht, erfasst der neue DLR-Leichtbauroboter SARA, der „Safe Autonomous Robotic Assistant“, die entsprechenden Positions- und Krafttrajektorien. Der Roboter konfiguriert seine Arbeitsumgebung dann selbstständig und umgehend – je nachdem, was seine Aufgabe sein soll. „Die schnelle Rekonfiguration eines Robotersystems ist oftmals ein Flaschenhals in der Industrie“, erläutert Korbinian Nottensteiner. Roboterarme waren bis vor Kurzem noch hinter Gittern, unflexibel und arbeiteten ohne Rücksicht auf

menschliche Kollegen. Durch die Leichtbauroboter-Entwicklung des DLR und deren Kommerzialisierung durch Partnerfirmen wie KUKA sind heute sogenannte Cobots – also Roboter, die mit Menschen kooperieren – industrielle Realität. „Der Roboter ist dabei wie ein dritter Arm“, erläutert Roman Weitschat. Sie gehören zu der auffälligsten Innovation der Robotik der letzten Jahre. Mit dem jüngsten Prototyp SARA setzt das DLR neue Maßstäbe in der kollaborativen Robotik – Geschwindigkeit, Feinfühligkeit und Präzision sowie eine schnelle und intuitive Programmierung machen bisher nicht erschlossene Anwendungsbereiche möglich. Beispielsweise kann das Aufbringen von elastischen Dichtungen auf einer Flugzeug-Fensterscheibe und deren Montage in nur wenigen Minuten vom Menschen vorgeführt und danach vom Roboter zuverlässig ausgeführt werden.

Wissen, wo es langgeht

Ein Roboter, fest montiert an einer definierten Stelle, vorprogrammiert auf eine einzige Aufgabe für ein einziges Produkt, kann in solch einer Factory of the Future nicht mithalten. Mobile Roboter auf Plattformen, wie es sie in der zukünftigen Fabrik geben soll, sind hingegen örtlich nicht gebunden – sie können dort eingesetzt werden, wo sie gerade benötigt werden, und sich selbstständig dorthin bewegen. Je flexibler der Roboter, desto einfacher und wandlungsfähiger ist die Produktion. Eine der Zielsetzungen in diesem Querschnittsprojekt besteht darin, herauszufinden, was dafür notwendig ist. Die beiden Projektkoordinatoren zählen auf: „Für die mobile Manipulation braucht der Roboter eine ausgereifte Sensorik. Er muss Objekte lokalisieren und Griffpunkte identifizieren können. Und nur wenn er seine Bahnen sorgfältig plant, sich ein 3D-Bild von seiner teilweise unbekanntem Umgebung macht und Fehler auch selbst beheben kann, ist er ausreichend autonom, um eine Hilfe zu sein.“ Statt starrer Fertigungsstraßen für ein Produkt entstehen so flexible Systeme, die sich schnell auf ein neues Produkt umkonfigurieren

können. Dies sind mobile Roboterassistenten, „Laufgehilfen“, die unter Menschen sind, sich wie selbstverständlich unter ihnen bewegen und unliebsame, stereotypische Aufgaben übernehmen.

Dabei soll der Roboter selbstständig entscheiden, welche seiner Fähigkeiten er für einzelne Arbeitsschritte einsetzt. „Das Ziel ist, verschiedene Produktvarianten abzudecken, ohne neue Implementierungen von einem Experten zu benötigen“, sagt Korbinian Nottensteiner. Für den Menschen bedeutet dies: Er muss nicht mehr jeden Arbeitsschritt detailliert planen und programmieren, sondern er gibt dem Roboter eine Aufgabe vor. Es gibt keine starren Programme mehr, die ein Roboter abarbeitet – stattdessen passt der Roboter seine Fähigkeiten automatisch an den einzelnen Arbeitsauftrag an. Im Laufe der Zeit soll das robotische System dabei auch noch Erfahrungen sammeln und die Qualität seiner Arbeit kontinuierlich verbessern, indem es Prozessparameter optimiert. Doch dafür müssen die Wissenschaftler und Ingenieure Methoden entwickeln, die die zukünftigen Robotersysteme „schlau“ machen: zum Beispiel durch die semantische Verknüpfung von Daten aus der Arbeitszelle mit Wissensdatenbanken. Oder durch intelligente Algorithmen zur Mustererkennung und zum maschinellen Lernen. Das System wird dadurch in der Lage sein, mit Methoden der künstlichen Intelligenz Unsicherheiten auszugleichen und eine robuste, zuverlässige Ausführung zu garantieren.

Bauteile Schicht für Schicht

Die entsprechenden Bauteile sollen zunehmend auch durch additive Fertigungsverfahren – 3D-Druck – erstellt werden. „So können komplizierte Bauteile einfach umgesetzt und für die Anwendung optimiert werden.“ Fahrzeugstrukturen können so beispielsweise sicherer sein, Luft- und Raumfahrtbauteile kostengünstiger. Der größte Vorteil: Bisher nicht realisierbare Strukturen und Bauteile können in kleiner

AM DLR-QUERSCHNITTSPROJEKT FACTORY OF FUTURE BETEILIGTE INSTITUTE:

Raumfahrt:

- Institut für Robotik und Mechatronik
- Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
- Institut für Datenwissenschaften
- Institut für Optische Sensorsysteme

Luftfahrt:

- Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
- Institut für Werkstoff-Forschung
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik

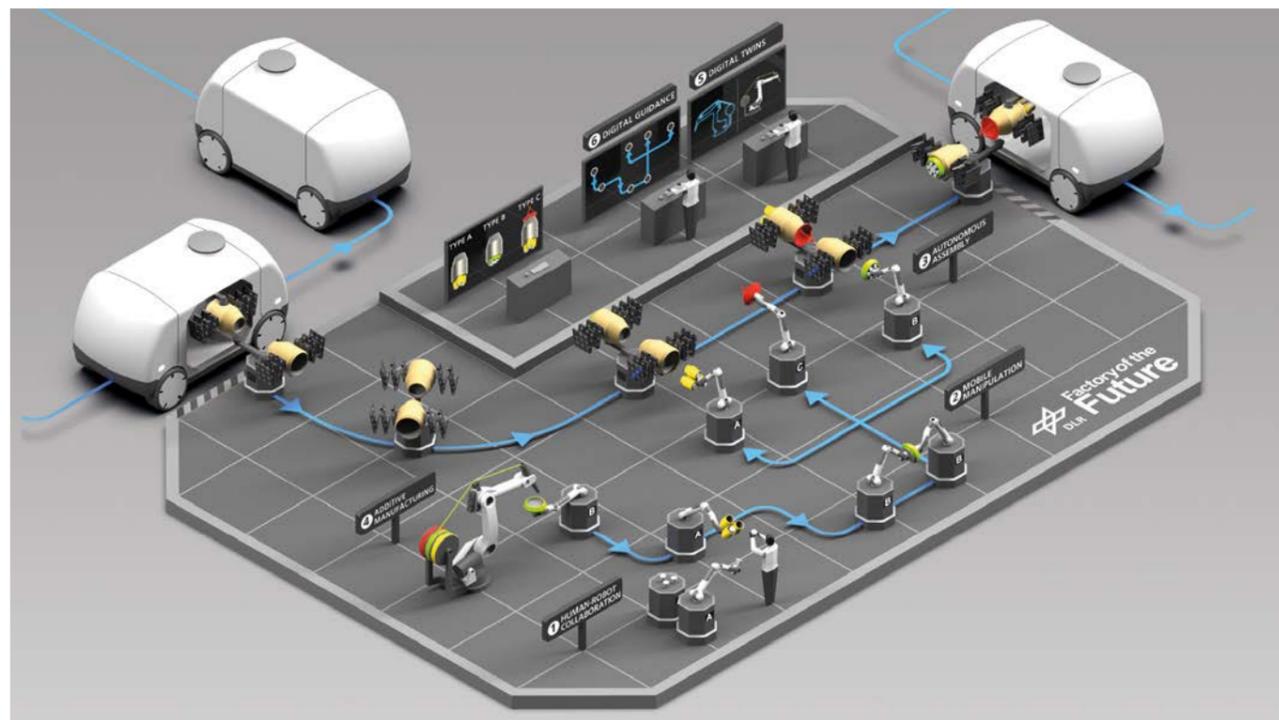
Verkehr:

- Institut für Verkehrsforschung
- Institut für Fahrzeugkonzepte

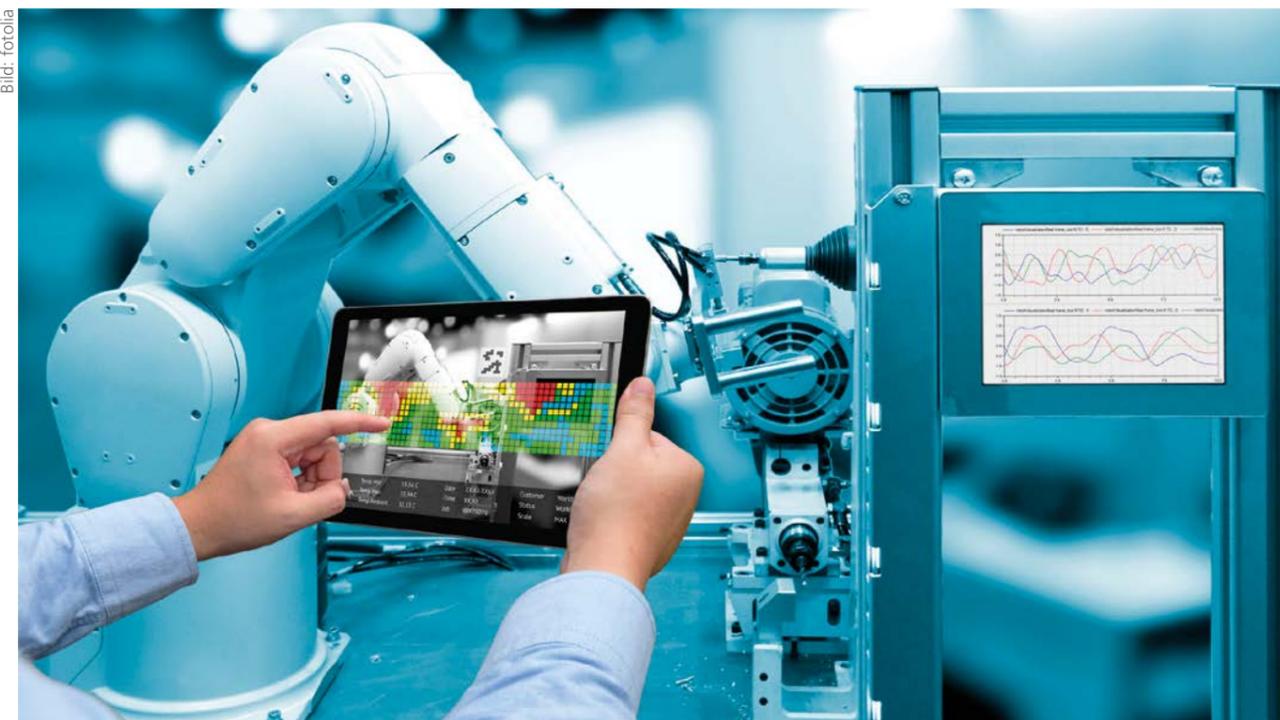
Assoziierte Institute:

- Institut für Instandhaltung und Modifikation
- Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt

Die Fabrik der Zukunft: In ihr arbeiten Mensch und Roboter eng in einer digitalisierten Produktion zusammen. Die Roboter entlasten den Arbeiter als „intelligente Helfer“ bei der Durchführung der Tätigkeiten. Um die Factory of the Future zu entwickeln, arbeiten am DLR Institute aus Raumfahrt, Luftfahrt und Verkehr zusammen.



In der Fabrik der Zukunft kooperieren Mensch und Maschine miteinander. Die Bedienung der Roboter erfolgt intuitiv.





Roboter, die sich ihren Arbeitsbereich selbst gestalten und an die jeweilige Aufgabe anpassen, sind in der Fabrik der Zukunft Produktionsalltag

Stückzahl einfach hergestellt werden. Beim Design eröffnen sich neue Perspektiven: Die Produktion wird materialeffizienter, weil nur dort Material eingesetzt wird, wo es auch tatsächlich benötigt wird. Auch unterschiedliche Werkstoffe wie Leichtmetall oder Kunststoff zu verwenden, Faserverstärkungen und die Hybridisierung von Bauteilen bieten Vorteile. Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig: In der Luftfahrt sind beispielsweise für Reparaturen und Nachrüstungen Einzelteile erforderlich, die in sehr kleinen Stückzahlen oder sogar individuell gefertigt werden müssen. Bei Straßenfahrzeugen ändern sich die Ansprüche: Für Elektromobilität und autonomes Fahren müssen neue Fahrzeugkonzepte und -strukturen entwickelt werden. In der Raumfahrt sind es Satelliten, deren metallische Komponenten in der additiven Fertigung hergestellt werden könnten. Im Projekt Factory of the Future greift man daher beim Thema 3D-Druck auf Erfahrungen der Institute für Fahrzeugkonzepte sowie für Bauweisen und Strukturtechnologie zurück, aber auch auf die Expertise aus Raum- und Luftfahrt.

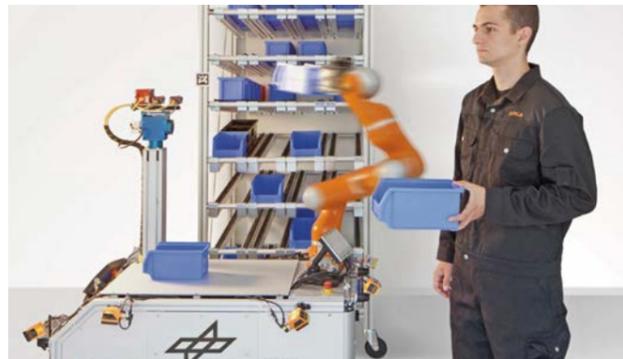
Ein Knopfdruck reicht

In der Kombination aus mobiler Manipulation, autonomer Montage, der Mensch-Roboter-Kollaboration, der rekonfigurierbaren robotischen Arbeitszelle und der additiven Fertigung entsteht so die Produktion auf Knopfdruck. Dies ist auch eines der Anwendungsszenarien, welches sich das Querschnittsprojekt Factory of the Future als Ziel gesetzt hat: Ein individuelles Produkt – ausgewählt und beispielsweise über ein Internetportal aus einem Baukastensystem konfiguriert – soll umgehend gefertigt werden. Per Knopfdruck wird der Auftrag an einen Lieferanten geschickt, der über die erforderlichen Produktionseinheiten verfügt. Wie und in welchen Schritten gefertigt wird, soll dann dort selbstständig geplant werden, ebenso wie die Aufgabenverteilung an die entsprechenden Produktionseinheiten.

Was in der Realität passiert, lässt sich auch in der digitalen Welt abbilden. Im Projekt findet sich daher auch ein Arbeitspaket zum „Digital Twin“, dem digitalen Zwilling. Dabei wird mit einem digitalen Zwilling ein Abbild der realen Bauteile sowie der Produktionsanlage erzeugt. Mit Hilfe von Sensoren werden sämtliche in der Realität vorgenom-



Fertigungsanlagen wie diese im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) des DLR in Augsburg müssen zukünftig möglichst variabel gestaltet sein, um an Nachfragen des Marktes angepasst werden zu können



Zukünftig wählt der Roboter seinen Einsatzort aus. Dafür muss er seine Umgebung wahrnehmen, Wege planen und Objekte identifizieren können.

menen Änderungen erfasst und in die digitale Welt übertragen. Zu jeder Zeit können somit die Funktionalität einer Anlage, ihre Produktivität und ihre Stabilität überwacht werden. Durch diese neuartige Technologie können Bauteile in Zukunft mit hoher Qualität hergestellt und Anlagen optimal genutzt werden.

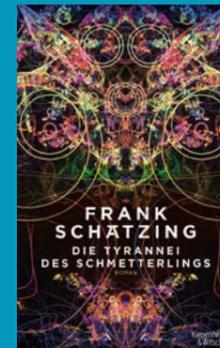
Vernetzt zum Ziel

Wie sehr all dies ineinandergreift und erst in der Kombination die Fabrik der Zukunft entsteht, zeigt die Modellzeichnung auf Seite 16, in der die neuen Abläufe dargestellt sind. Während in einem Bereich der Fertigung Vorprodukte angeliefert werden, stehen dank additiver Herstellung bereits weitere erforderliche Bauteile zur Verfügung. Von mobilen Robotern werden diese zur nächsten Station transportiert, an der Roboter und Mensch zusammenarbeiten. Je nach gewünschter Produktvariante montieren Roboter autonom die notwendigen Bauteile an. An Konsolen steuern Menschen den Produktionsfluss und arbeiten mit digitalen Zwillingen an der Optimierung der Produktionsprozesse.

Eines wird ebenfalls deutlich in der Fabrik der Zukunft: Es sind nicht viele menschliche Mitarbeiter, die im Fertigungsprozess arbeiten. „Die Jobs werden sich ändern“, sagt Projektkoordinator Roman Weitschat. Dies sei aber schon immer geschehen, wenn Technologien weiterentwickelt wurden: Auch die Mitarbeiterin, die in den Anfangszeiten des Telefons die Verbindungen vermittelte, gäbe es nicht mehr – dafür seien mit dem Fortschritt in der Technik andere Berufe in der Kommunikation entstanden. Vielmehr könnte die Factory of the Future neue Arbeitsstellen hervorbringen: „Viele Firmen sind mit ihrer Produktion in Billiglohnländer abgewandert – mit der Industrie 4.0 könnte es sich für Unternehmen lohnen, ihre Produktion wieder in Deutschland anzusiedeln.“ Auch die schnellere Reaktion auf Marktnachfrage und die größere Flexibilität würden der deutschen Industrie einen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Allerdings: „Noch wird der Roboter oft als Konkurrent des Menschen gesehen“, sagt Weitschat. Was so nicht stimmt. „Der Roboter ist keine Bedrohung, sondern eine Hilfe – der Mensch muss sich dann nicht mehr um jedes kleine Detail selbst kümmern.“

BÜCHER ZUM THEMA KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

SUPERCOMPUTER IM THRILLER



Frank Schätzing hatte in seinen Science-Fiction-Wälzern schon immer einen Riecher für die Themen, die gerade „in der Luft“ liegen. Mit „Der Schwarm“ widmete er sich einer unbekannteren Intelligenz im Meer, mischte Meeresbiologie, künstliche Intelligenz und Meeresverschmutzung zusammen und ließ die Natur gegen den Menschen kämpfen. In „Limit“ gibt es Mondhotels, neue Technologien in der Raumfahrt und einen wirtschaftlichen Wettlauf um den Abbau von Helium-3 auf dem Mond, um die Energieversorgung der Erde zu gewährleisten. Mit **Die Tyrannie des Schmetterlings (Kiepenheuer & Witsch)** hat er nun einen Thriller geschrieben, in dem er der künstlichen Intelligenz eine Hauptrolle gibt. Es geht um die Erschaffung der ersten maschinellen Superintelligenz, mysteriöse Experimente und Mordermittlungen. Und auch bei diesem Buch gilt: Unter 700 Seiten – mit manchmal ausufernden Abschweifungen und miteinander verschlungenen Handlungssträngen – macht es der Kölner Schriftsteller nicht. Das muss man mögen oder lassen – wer sich darauf einlässt, bekommt einen Schmöker mit ein wenig wissenschaftlichem Hintergrund.

PHILOSOPHISCH GESEHEN



Für Holger Volland ist die Lage nicht eindeutig – und das bringt er in **Die kreative Macht der Maschinen. Warum Künstliche Intelligenzen bestimmen, was wir morgen fühlen und denken (Beltz Verlag)** auch deutlich zum Ausdruck. Dabei konzentriert er sich auf die „kreativen künstlichen Intelligenzen“, die in Zukunft Texte schreiben werden, Bilder malen, Nachrichten verfassen oder eine enge persönliche Bindung zum Menschen haben werden. Volland ist Sohn einer Buchhändlerin und eines Computerexperten und vereint anscheinend beide Welten. Wenn er über künstliche Intelligenzen schreibt, ist auch immer eine skeptische Komponente zu spüren, eine, die an die Kreativität als eine dem Menschen vorbehaltene Fähigkeit glaubt. Aber auch eine begeisterte Komponente, eine, in der er die Leistungen und Potenziale der künstlichen Intelligenzen anerkennt.

Kapitelweise nimmt er sich Sprache, Bilder, Kreativität, Emotion, Gestalt, Sinne, Erlebnisse und Geschichte vor. „Mich interessieren weniger die Automatisierung von Fabriken oder Forschungsdurchbrüche in medizinischen Labors“, betont er in seinem Sachbuch. „Mich interessiert, was die unzähligen Programme aus dem Bereich Künstliche Intelligenz heute schon ganz konkret mit Ihrem und mit meinem Leben und mit unserem Zusammenleben in einer Gemeinschaft machen“. Volland verdammt die technologischen Entwicklungen nicht, er warnt vielmehr davor, diese unüberlegt und ohne Bedacht einzusetzen. Nicht alles, was technisch machbar ist, sollte einfach umgesetzt werden dürfen von den Unternehmen.“ Gut lesbar, mit einer individuellen und philosophischen Sicht auf ein technisches Thema.

IN EINER ROBOTISCHEN WELT



Die Ära der smarten Maschinen liegt nicht in der Zukunft – nein, sie beginnt gerade jetzt, sagt Ulrich Eberl in seinem Buch **Smarte Maschinen. Wie künstliche Intelligenz unser Leben verändert (Hanser)**. Sie werden Multi-milliarden-Euro-Märkte schaffen und die Gesellschaft verändern. Auf rund 400 Seiten erläutert der promovierte Biophysiker und Sachbuchautor, was die Maschinen mit Intelligenz leisten und wo ihre Grenzen liegen. Er hat mit Wissenschaftlern und Ingenieuren gesprochen, Firmen besucht, dabei eine erstaunliche Themenvielfalt abgeklöpft und gut lesbar sowie spannend dargestellt: Maschinen, die in der Gewebeanalyse Anzeichen für Brustkrebs identifizieren, Supercomputer, die pro Sekunde bis zu 34 Billionen Rechenoperationen durchführen und damit an das menschliche Gehirn reichen, dafür jedoch den Stromverbrauch einer 20.000-Einwohner-Stadt haben. Eberl listet aber nicht nur verschiedene Entwicklungen auf. Er setzt sie in Kontexte, gibt Einschätzungen und formuliert Fragen wie „Wer macht die Arbeit von morgen?“ oder „Wie bekommt man gesunden Menschenverstand in die Maschine?“ Die kleinen fiktiven Geschichten vor jedem Kapitel wären gar nicht nötig gewesen – die Informationen und wahren Geschichten sind schon für sich spannend und ein Link- und Literaturverzeichnis verweist auf Webseiten, Artikel und Videos. Eberl kommt am Ende seines Sachbuchs, das sich mühelos und angenehm lesen lässt, auch zu einem Fazit: Intelligente Maschinen sind eine Herausforderung – aber: „Wenn wir es richtig machen, werden sie uns weit mehr nützen als schaden.“

MENSCH UND MASCHINE KOMPAKT

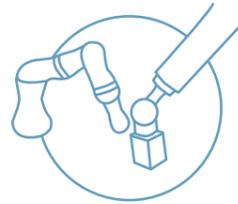


Reclam-Hefte kennt wohl jeder aus der Schule – zumindest die schmalen Heftchen, die für kleines Geld die Klassiker der Literatur an den Leser brachten. Der Verlag ist sich beim Design seiner Hefte immer treu geblieben: Auf wenig Raum viel Wissenswertes. Das gilt auch heute noch für Sachbücher, die der **Reclam-Verlag** zu vielen Themen veröffentlicht. **Mensch und Maschine. Wie künstliche Intelligenz und Roboter unser Leben verändern** heißt das Büchlein, in dem Autor Thomas Ramge auf 96 Seiten

die Leser schlau macht. Automatisierung, Maschinen, die Entscheidungen treffen, künstliche neuronale Netze, Deep Learning, die künstliche Intelligenz als Assistent im Alltag, als Verkäufer, Anwalt und Arzt, aber auch Maschinen, die Gefühle berechnen, und Superintelligenzen. Natürlich könnte man zu jedem dieser Themen ein dickes Sachbuch verfassen. Einen guten kondensierten Überblick, der die wichtigsten Begriffe liefert, erklärt und diskutiert, bietet das Reclam-Heft allemal. Und klüger wird man auch.

Manuela Braun

ROBOTERDUO AUF FEHLERSUCHE



Vor über 100 Jahren revolutionierte Henry Ford die Automobilherstellung. Er führte nicht nur das Fließband in die Produktion ein, er etablierte auch erstmals eine systematische Qualitätskontrolle. Diese half dabei, am Ende des Fertigungsprozesses fehlerhafte Autos zu erkennen. Heute untersuchen Wissenschaftler und Techniker des Zentrums für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) im DLR Augsburg, wie sich große Strukturen für Luft- und Raumfahrt mit Hilfe von Robotern automatisiert herstellen lassen – und wie die Qualität schon während des Produktionsprozesses sichergestellt werden kann. Dabei liegt der Fokus auf Leichtbaukomponenten aus Faserverbundmaterialien wie beispielsweise carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK).

Automatisierte Qualitätssicherung in der Produktion von Leichtbaustrukturen aus Faserverbundwerkstoffen

Von Nicole Waibel

Passieren Fehler in der Produktion, kann das schnell teuer werden. „Gerade in der Luft- und Raumfahrt, wo sehr große Strukturen gefertigt werden und hohe Sicherheitsstandards gelten, ist eine in den Produktionsprozess integrierte Qualitätssicherung enorm wichtig, um Ausschuss und Nacharbeiten zu vermeiden“, erklärt Prof. Dr. Michael Kupke, Leiter des ZLP in Augsburg. Um Strukturen schon während der Produktion prüfen zu können, arbeiten die DLR-Forscher am Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Augsburg an berührungslosen Prüfmethode und deren Automatisierung.

Luft statt Wasser

Zerstörungsfreies Prüfen ist Armin Hubers Fachgebiet: Am ZLP Augsburg forscht er in der Gruppe „Produktionsintegrierte Qualitätssicherung“ an der Luftultraschallmessung. „Um eine Ultraschallmessung durchführen zu können, ist ein Koppelmedium nötig, um den Schall zu übertragen. Man kennt das aus der Medizin, dort wird beim Ultraschall ein Gel verwendet“, schildert Huber den Sachverhalt. Bei der herkömmlichen Ultraschallprüfung von Bauteilen wird ein wassergekoppeltes Verfahren genutzt. Diese Art der Prüfung ist nicht berührungslos, denn das Bauteil wird ins Wasser getaucht oder bespritzt. Das erfordert eine aufwändige Infrastruktur, wie Wasserbecken oder Sprinkleranlagen. Beim Prüfen mit Wasser handelt es sich um einen eigenen Prozessschritt, anders als beim luftgekoppelten Ultraschall, der sich in den bestehenden Prozess integrieren lässt. Ein weiterer Nachteil ist, dass während des Prüfvorgangs Wasser ins Bauteil eindringt. Weil Bauteile aus CFK während des Produktionsprozesses noch unversiegelt sind, eignet sich das Verfahren dafür nur bedingt. „Die mögen es lieber trocken“, wirft Huber ein. „Deswegen arbeiten wir an einem Verfahren mit Luft als Koppelmedium.“

Auf der diesjährigen Automatica im Juni in München zeigten die DLR-Wissenschaftler den aktuellen Stand der Entwicklung. Ihr Ziel ist es, Bauteile mit Hilfe von Luftultraschall automatisiert zu prüfen. Bereits 2014 stellten die Wissenschaftler die Industrietauglichkeit des luftgekoppelten Verfahrens unter Beweis. In Zusammenarbeit mit einem Industriepartner prüften sie das Segment



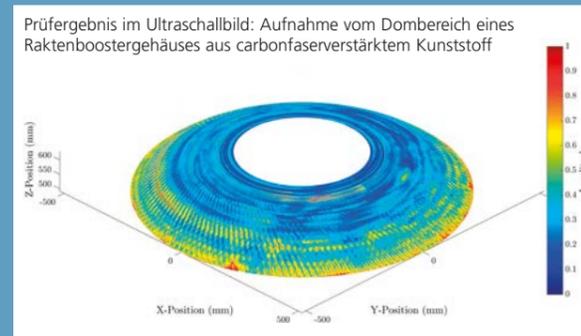
Adaptive luftgekoppelte Ultraschallprüfung

LUFTGEKOPPELTE ULTRASCHALLMESSUNG – CHANCEN FÜR DIE INDUSTRIE

Bereits 2014 wurde am ZLP Augsburg ein von der MT Aerospace AG entwickelter Druckbehälter eines Raketentriebwerks aus CFK (Länge: 3,7 m; Durchmesser: 1,4 m; Laminatdicken bis 40 mm) mittels luftgekoppeltem Ultraschall auf Fehlstellen geprüft. Dies geschah weitgehend automatisiert durch robotische Führung der Prüfsensoren.

Bei unterschiedlichen Dicken des Bauteils mussten die Einschallwinkel hier jedoch noch manuell eingestellt werden. Bei dem auf der Automatica 2018 ausgestellten Roboterduo übernimmt das nun der Leichtbauroboter automatisiert. Da die Schallwellen auf derselben Seite gesendet und empfangen werden, reicht es, wenn das Bauteil von einer Seite zugänglich ist. Vor allem bei komplexen Geometrien ist das ein Vorteil.

Bei der Prüfung wurden hohe Bahngeschwindigkeiten von 230 Millimetern pro Sekunde erreicht; möglich sind hier auch noch erhebliche Steigerungen. Das gesamte Prüfkonzept ist auf Flexibilität, hohe Geschwindigkeit und Reproduzierbarkeit ausgelegt. Damit ist es prädestiniert für den Einsatz in der Industrie.



eines Raketenboosters zerstörungsfrei. Um das Verfahren noch effizienter zu machen, wollen sie es weiter automatisieren. Zum einen lassen sich so Herstellkosten senken und damit die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen, zum anderen ermöglicht ein hoher Automatisierungsgrad, qualitätsrelevante Daten in Echtzeit zu erfassen und auszuwerten. „Um Probleme frühzeitig erkennen zu können, spielt das eine wichtige Rolle“, so Huber.

Kooperierende Roboter

Um ein Bauteil mittels Ultraschall zu prüfen, werden zwei Prüfköpfe – ein Sender und ein Empfänger – benötigt. Vom Sender gehen Ultraschallpulse aus. „Der Schall wird über das Koppelmedium, in unserem Falle Luft, übertragen und regt im Bauteil sogenannte Lambwellen an. – Das sind akustische Wellen, die durch das Bauteil laufen und es dabei ganz leicht zum Schwingen bringen“, erklärt Armin Huber. „Man kann es sich ähnlich vorstellen wie bei einer Membran einer Trommel. Durch die Schwingung des Bauteils gerät auch hier die Luft an der Grenzfläche in Bewegung.“ Diese Schallwellen werden vom Empfänger aufgenommen. Treffen die Lambwellen auf Fehlstellen im Bauteil, dann treten sie mit diesen in Wechselwirkung und lassen dadurch Rückschlüsse auf Defekte zu.

Um die Lambwellen im Bauteil im rechten Maß anregen zu können, ist der Winkel entscheidend, in dem Sender und Empfänger zur Bauteiloberfläche ausgerichtet sind. Er hängt davon ab, wie steif und wie dick das Material ist. „Bisher wurden die nötigen Einschallwinkel manuell ermittelt. Um sie anzupassen, musste der Prüfvorgang unterbrochen werden“, schildert Huber die herkömmliche Vorgehensweise. „Das war aufwändig und zeitintensiv.“ Mit Hilfe einer von Huber geschriebenen Software können die Winkel nun im Voraus berechnet werden. Damit sie automatisch eingestellt werden können, hat Hubers Kollege Manfred Schönheits in das System des Industrieroboters, der das Bauteil prüft, einen Leichtbauroboter integriert. Während des Scannens durch den Industrieroboter richtet der Roboter die Prüfköpfe entsprechend den errechneten Einschallwinkeln am Bauteil aus. „Die Schwierigkeit bei dem Prozess liegt darin, dass die Kopplung der beiden Roboter nicht fest ist, sondern sich abhängig von der Position gegenüber dem Bauteil ändern muss. Wir benutzen hierfür einen Leichtbauroboter als Zusatzkinematik, da dieser mit seinen sieben

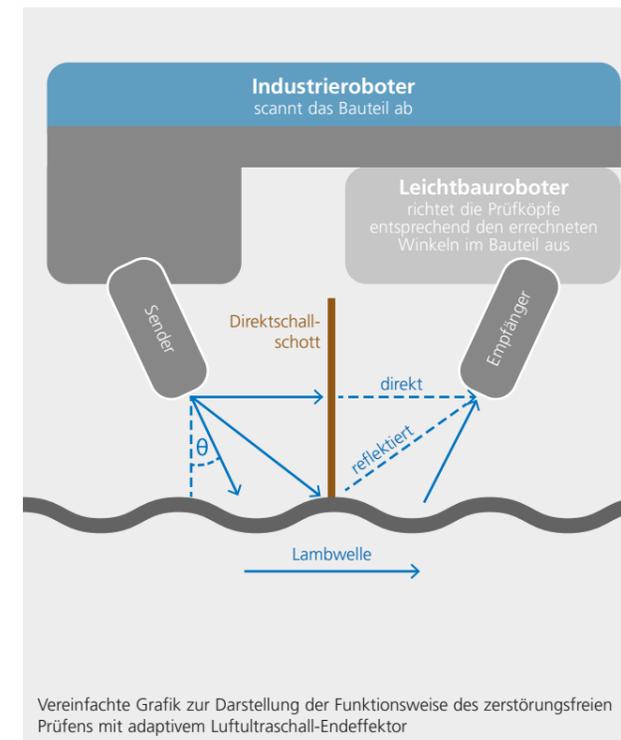
Freiheitsgraden viel Flexibilität für Untersuchungen bietet. Die Positionen der Roboter werden mit Hilfe der Algorithmen von Armin Huber vorausberechnet und die Roboter in Echtzeit entsprechend miteinander synchronisiert“, erklärt Schönheits, der in der Gruppe „Flexible Automatisierungssysteme“ tätig ist.

Die Luftultraschall-Prüfköpfe passen sich an die Gegebenheiten des Bauteils an und liefern auf diese Weise automatisiert geometrisch korrekte 2D- und 3D-Bilder. Diese zeigen die genaue Position von Defekten. Je nach Größe und Art des Fehlers kann das Bauteil dann aussortiert oder nachbearbeitet werden. So ist sichergestellt, dass in den Produktionsprozess nur Bauteile hoher Qualität eingehen. Die Fehlererkennung und Auswertung erfolgt automatisch mit Hilfe einer Software. Alle Messdaten werden für spätere Anwendungen gespeichert. Eine detaillierte Dokumentation der Messergebnisse ermöglicht es, die Herstellungsverfahren weiterzuentwickeln. So lässt sich die Engineering-Kette verbessern und zeitaufwändige Nacharbeiten verringern sich.

Teamarbeit entlang der gesamten Produktionskette

Dass der „adaptive Luftultraschall-Endeffektor“, so die wissenschaftliche Bezeichnung, einwandfrei funktioniert, ist einem weiteren DLR-Wissenschaftler zu verdanken: Philipp Gänswürger aus der Gruppe „Montage und Fügetechnologien“ schuf das Design, konstruierte und fertigte den Endeffektor. „Das ist eine teamübergreifende Entwicklung. Bei uns arbeiten Experten für produktionsintegrierte Qualitätssicherung und flexible Automatisierungssysteme genauso eng zusammen wie Spezialisten für Montage, Fügetechnologien und Prozessautomatisierung“, beschreibt Zentrumsleiter Kupke das Besondere am ZLP Augsburg. „Gerade im Hinblick auf Industrie 4.0 wird es immer wichtiger, dass diese verschiedenen Kompetenzen miteinander verknüpft sind.“ An Lösungen für die Industrie 4.0, für intelligente Robotik und digitalisierte Produktion forscht das Institut zusammen mit neun weiteren DLR-Instituten in ganz Deutschland im übergreifenden Projekt „Factory of the Future“.

Fließband, Rationalisierung der Produktionskette, Anfänge der Just-in-time-Produktion – Henry Fords Idee der standardisierten Massenproduktion führte dazu, dass Produkte erschwinglicher wurden und



Vereinfachte Grafik zur Darstellung der Funktionsweise des zerstörungsfreien Prüfens mit adaptivem Luftultraschall-Endeffektor

so einer größer werdenden Zahl von Menschen zur Verfügung stehen. Heute sollen auch individualisierte Produkte automatisiert entstehen. Möglich macht das die digitalisierte Fertigung. „In den riesigen Datenmengen in der Produktion diejenigen Daten zu identifizieren, die qualitätsrelevant sind, und diese dann in Echtzeit zu verarbeiten und auszuwerten, ist eine der Herausforderungen der Digitalisierung“, so Kupke. „Aber wenn man das beherrscht, ist das auch eine große Chance, die Effizienz zu steigern und zugleich die Qualität zu erhöhen.“

Für Henry Ford hatte die Güte und die stetige Verbesserung der Produkte einen hohen Stellenwert. „An einer durchgängigen, in den Prozess integrierten, automatisierten Qualitätssicherung hätte er gewiss Freude gehabt“, ist sich Kupke sicher. Um wirtschaftlich und in wiederholbarer Qualität zu produzieren, ist das unverzichtbar. Zerstörungsfreie Prüfverfahren werden in der Fabrik der Zukunft ihren festen Platz haben.

Nicole Waibel ist am Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) im DLR Augsburg unter anderem für Öffentlichkeitsarbeit zuständig.



Bei der Entwicklung des Ultraschall-Prüfroboters arbeiteten verschiedene Teams des Zentrums für Leichtbauproduktionstechnologie im DLR Augsburg Hand in Hand zusammen

AUTOMATISIERTE ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFMETHODEN AM ZLP AUGSBURG

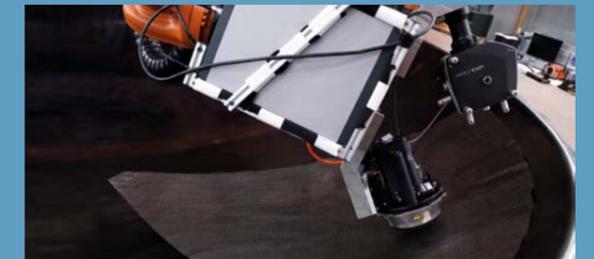
Durch die Integration der Messgeräte und Sensoren in einen Roboter können größere Flächen beziehungsweise Bauteile während des Produktionsprozesses automatisiert geprüft werden.

Thermografie



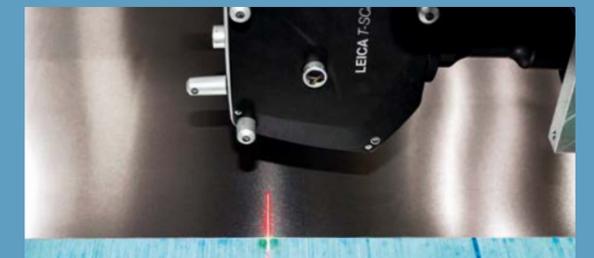
Die Prüfmethode mit Kamera und Halogenleuchten erkennt auch tiefliegende Defekte mittels optischer Anregung und Temperatursignalen.

Faserwinkelmessung



Die Faserorientierungen der abgelegten Zuschnitte beeinflussen wesentlich die Eigenschaften des Bauteils; schon bei einer geringen Abweichung des Faserverlaufs zur Lastrichtung nimmt die Festigkeit dramatisch ab. Das lässt sich mit Hilfe eines Faserwinkelsensors messen. Er besteht aus einer Kamera und einer Beleuchtung, die speziell auf die reflektierenden Eigenschaften der Kohlenstofffasern abgestimmt sind. Geprüft werden kann immer nur die oberste sichtbare Lage. Die gemessenen Winkel werden anschließend mit den in der Simulation berechneten verglichen.

3D-Laserscanner



Abgelegtes Aluminiumblech für die Fasermetalllaminat-Fertigung

Ein laserbasiertes Verfahren hilft, Position und Kanten der abgelegten Zuschnitte zu erkennen. So lässt sich gewährleisten, dass die Bauteile genau an der richtigen Stelle liegen, und zwar lücken- und faltenfrei.



Pascal Kuhn
Jahrgang 1989, wuchs in Tauberbischofsheim auf. Nach seinem Physikstudium kam er 2016 als Doktorand ins DLR-Institut für Solarforschung, für das er auf der Plataforma Solar de Almería, Europas größter Forschungseinrichtung für konzentrierende Solarsysteme, arbeitet.

AUGEN FÜR DIE SOLARBRANCHE

Mit Webcams wollen DLR-Forscher Schwankungen der Sonneneinstrahlung genauer vorhersagen. Stromnetze mit hohem Solaranteil könnten dadurch stabiler werden.

Florian Kammermeier im Gespräch mit DLR-Forscher Pascal Kuhn

Ein Hobbygärtner filmt seine Blumen beim Aufblühen, eine Webcam überträgt eine Almwiese mit Kühen, eine Verkehrskamera zeigt einen Stau auf der Autobahn. Videos, die den Solarforscher Pascal Kuhn schwärmen lassen: „Solche Bilder sind ein Datenschatz für die Meteorologie!“ Denn sie sind nahezu unbegrenzt im Internet verfügbar und bergen meist Informationen über das Wetter in sich. Kuhn möchte diesen Schatz heben. Tausende Kameras am Boden sollen die Daten von Wettersatelliten ergänzen und den Betreibern von Solaranlagen und Stromnetzwerken genauere Prognosen liefern, wie viel Strom die Anlagen wann produzieren werden. Wie das funktionieren soll, darüber hat das DLR-Magazin mit dem Solarforscher gesprochen.

Herr Kuhn, Sie wollen Strahlungsprognosen verbessern, indem Sie Daten aus öffentlich zugänglichen Kameras einbinden. Was leisten denn Landschaftskameras – zum Beispiel aus Skigebieten –, was Satelliten nicht schaffen?

Wettersatelliten sind technisch ausgefeilte Instrumente, die mit vielen Sensoren die Erde beobachten. Allerdings gibt es Wetter-Situationen, deren Unterscheidung Satelliten schwer fällt. Auch sind die räumlichen und zeitlichen Auflösungen von Wettersatelliten oft noch zu grob für bestimmte Anwendungen. Für Europa liefert der Satellit Meteosat-9 in Fünf-Minuten-Intervallen Vorhersagen mit einer Auflösung von höchstens einem Quadratkilometer pro Pixel. Hier helfen Informationen aus öffentlichen Kameras. Solche Bilder sind ein Datenschatz für die Meteorologie: So können beispielsweise Sichtweiten, Bewölkung oder Schneebedeckung erkannt werden. Der Vorteil dieser Kameras ist, dass es viele davon gibt und sie die lokalen Gegebenheiten gut erfassen.

Die Bildqualität von öffentlich zugänglichen Kameras ist nicht immer gut, ihre Einstellungen und die genaue Position nicht immer bekannt. Könnte das Schwierigkeiten bereiten?

Mit der Idee, Webcams für bessere satellitengestützte Solar-Vorhersagen zu nutzen, betreten wir Neuland. Bisher wurden ausschließlich professionelle Wetterkameras für solche Anwendungen eingesetzt. Diese sind teuer in Installation sowie Wartung und nicht allgemein zugänglich. Eine große Herausforderung ist es deshalb tatsächlich, dass bei öffentlichen Kameras viele Parameter unbekannt sind – etwa die Himmelsrichtung, in die sie filmen. Wir haben aber bereits gezeigt, dass man mit robusten Algorithmen dennoch relevante meteorologische Daten ableiten kann, wie etwa, ob Wolken vorhanden sind und wie sie sich bewegen. Der Trend der letzten Jahre geht außerdem klar hin zu immer höher auflösenden Kameras. Die Qualität der Daten dürfte sich daher weiter verbessern.

Wenn Kameras aus der ganzen Welt live Bilder übertragen und deren Auflösung immer besser wird – wie schaffen Sie es, diese Daten schnell genug auszuwerten?

In der Tat ist die Datenmenge eine Herausforderung. Derzeit beziehen wir unsere Daten vor allem von der Online-Plattform „foto-webcam.eu“, die aktuelle und historische Bilder auf eigenen Servern für jedermann frei verfügbar



Bilder: foto-webcam.eu

Bild: DLR/Ernsting

ins Internet stellt. Die Echtzeit-Fähigkeit hängt hier also vor allem von der Verbindung zum Server von Foto-webcam ab. Für solche Komplikationen konnten wir bereits Lösungen finden. Wenn jedoch nicht Hunderte, sondern Millionen Kameras eingebunden werden, muss man neue Konzepte entwickeln. Dazu versuchen wir, namhafte Hersteller von Überwachungskameras für Kooperationen zu gewinnen: Werden meteorologische Daten schon in einer intelligenten Kamera bestimmt, müssen nicht viele Bilder, sondern nur kompakte Datensätze übertragen werden.

Datenschutz im Internet ist in aller Munde. Wie gehen Sie damit um, wenn Webcams personenbezogene Daten zeigen?

Natürlich sind die komplexen Regelungen des Datenschutzes einzuhalten. In unserem Forschungsprojekt umgehen wir diese Problematik, indem wir von Foto-webcam eine entsprechende Erlaubnis zur Datenverarbeitung eingeholt haben. Foto-webcam verpixelt selbst kritische Bildbereiche. Und persönliche Merkmale zu erfassen, ist im Fernblick in der Regel nicht möglich.

Wie werden die verbesserten Prognosen dann in der Praxis wirken?

Genaue, hochauflösende Strahlungsvorhersagen können in Stromnetzen mit hohem Solaranteil das Netzmanagement optimieren und so helfen, das Netz stabiler und kostengünstiger zu führen. Strom kann ja im Netz nicht gespeichert werden, sondern muss im Moment der Erzeugung auch verbraucht werden. Wird weniger Strom erzeugt als benötigt, sinkt die Netzfrequenz. Aufgrund technischer Beschränkungen darf diese aber nur minimal schwanken. Gegebenenfalls müssen Reservekraftwerke einspringen oder variable Lasten geschaltet werden, wofür jedoch häufig Vorlaufzeiten von einigen Minuten nötig sind. Mit Vorhersagen, die diesen Zeitraum abdecken, ließe sich das Stromnetz vorausschauend stabilisieren.

Wäre es dadurch auch möglich, den Bedarf an Stromspeichern zu reduzieren?

Auf Kraftwerks-Ebene können bessere Vorhersagen deutlich teurere Stromspeicher teilweise ersetzen, die in Ländern mit einer sogenannten negativen Rampen-Beschränkung bereits heute notwendig sind. Negative Rampen-Beschränkungen definieren den maximal erlaubten Leistungsabfall eines Kraftwerks pro Zeiteinheit. In Puerto Rico beispielsweise sind das zehn Prozent der Kraftwerks-Kapazität pro Minute. Studien zeigen, dass diese Regularien bei Wolkenverschattungen nicht ohne Weiteres eingehalten werden können. Die zur Stabilisierung eingesetzten Batterien sind allerdings sehr teuer. Kurzfristvorhersagen können durch dynamisches Abregeln von Solarkraftwerken die Schwankungen der abgegebenen Leistung preisgünstig glätten. In Mikro-Grids – also sehr kleinen Stromnetzen – in abgelegenen Regionen mit hohem Solarstromanteil, wie im Westen Australiens, helfen kamerabasierte Vorhersagen, rechtzeitig Reserve-Aggregate zu starten.

Ist es vorstellbar, dass Ihre Idee, Satelliten- mit Kameradaten zu kombinieren, nicht nur in der Solarbranche Anwendung findet, sondern auch die Wettervorhersage verbessert?

Der Fokus unseres Forschungsprojekts liegt auf der Bestimmung von Bewölkungsinformationen aus Kameradaten. Wolken sind hauptverantwortlich für kurzfristige Leistungseinbrüche in Solarkraftwerken. Allerdings spielen Wolken ebenso für Wetter und Klima eine große Rolle. Es ist daher perspektivisch möglich, dass mehr verfügbare Wolken-Informationen insbesondere durch eine detailreichere Verifikation ebenfalls die Wettervorhersagen verbessern.



Dorottya Gúban

„Ich habe einen langen Atem“, sagt Dorottya Gúban. Die aus Ungarn stammende Chemie-Ingenieurin arbeitet an Grundlagen für eine klimaneutrale Düngemittelherstellung.

IDEEN GEGEN EINEN VERBORGENEN KLIMAKILLER

Schnell und zielsicher bewegen sich die Finger von Dorottya Gúban über ihre Versuchsanlage. Sie stellt noch einige Parameter ein, dann startet sie den Infrarot-Ofen und heizt das von ihr entwickelte Redox-Material auf bis zu 800 Grad Celsius. Eine von unzähligen Versuchsreihen, mit denen die promovierte Chemie-Ingenieurin ein geeignetes Verfahren entwickelt, mit dem Düngemittel nachhaltig aus Sonne, Luft und Wasser hergestellt werden können.

Solarforscherin Dorottya Gúban entwickelt ein klimaneutrales Herstellungsverfahren für Düngemittel

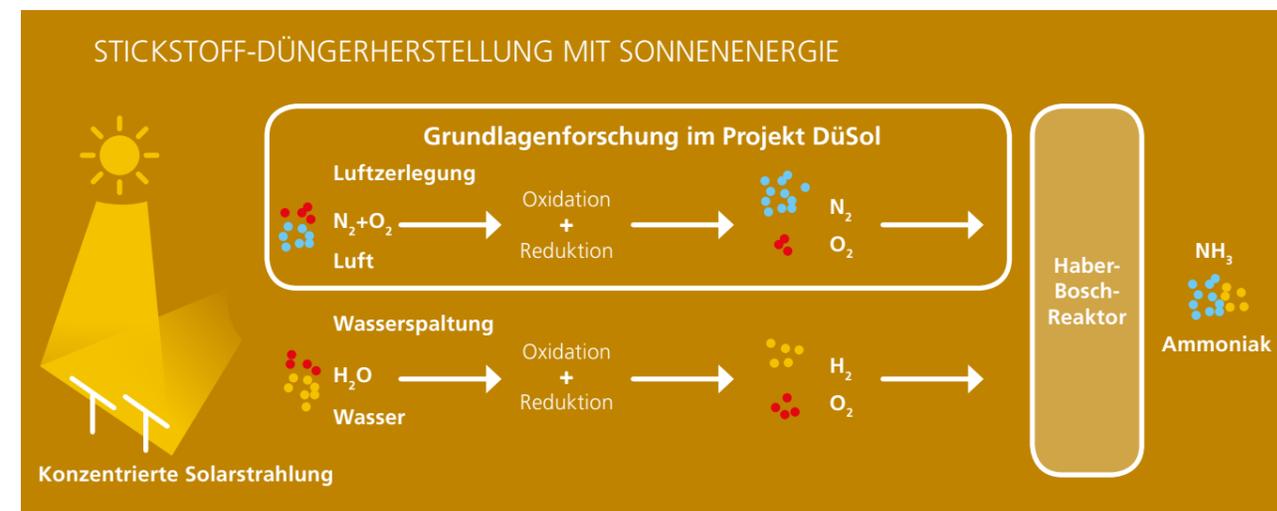
Von Dorothee Bürkle

Zwei bis drei Prozent des weltweiten Energiebedarfs und damit ein entsprechend hoher Kohlendioxidausstoß gehen auf die Produktion von Stickstoff-Düngemitteln zurück. Ziel von Dorottya Gúbans Arbeit im Projekt DüSol (solare Düngemittelproduktion) ist die nachhaltige Herstellung von Stickstoff-Düngemitteln. „Über 90 Prozent der weltweit eingesetzten Düngemittel sind Stickstoffdünger. Wenn wir den Grundstoff – Ammoniak – nachhaltig gewinnen, können wir den Ausstoß umweltschädlicher Klimagase in die Atmosphäre deutlich verringern“, sagt die Wissenschaftlerin. Ginge es nach ihr, dann sollten in der Landwirtschaft vor allem organische Düngemittel pflanzlichen oder tierischen Ursprungs eingesetzt werden. Aber sie ist realistisch: „Weltweit kommen wir an industriell hergestellten chemischen Düngemitteln nicht vorbei.“ Bereits heute ernährt sich rund ein Drittel der Weltbevölkerung von Nahrungsmitteln, die mit Hilfe von Kunstdünger produziert werden, vor allem in dicht bevölkerten Staaten mit knappen Agrarflächen spielen sie eine große Rolle. Experten gehen davon aus, dass ihre Bedeutung für eine sichere Ernährung der Menschheit in Zukunft weiter ansteigen wird. „Ein klimaneutrales Herstellungsverfahren dieser Düngemittel ist daher ein wichtiger Beitrag zur Lösung unserer Klimaprobleme.“

Stickstoff und Wasserstoff aus Sonnenenergie

Grundstoff für alle Stickstoffdünger ist Ammoniak (NH_3), der sich aus Wasserstoff- und Stickstoff-Atomen zusammensetzt. Die beiden Elemente können seit über einhundert Jahren mit dem Haber-Bosch-Verfahren zusammengeführt werden. Das Ziel von Dorottya Gúban und ihrem Team ist es, die dafür benötigten Elemente Wasserstoff und Stickstoff mit Hilfe von Sonnenenergie herzustellen. Hier liegt ein großes Einsparpotenzial für klimaschädliche Gase, denn bislang verbraucht die Düngemittelindustrie dafür große Mengen an fossilem Erdgas (CH_4). Während Wissenschaftler bereits in vielen Forschungsprojekten, zum Beispiel den vier HYDROSOL-Projekten, daran arbeiten, Wasserstoff nachhaltig zu gewinnen, ist der solarthermische Prozess zur Produktion von Stickstoff ein noch sehr junges Forschungsfeld. Das Projekt DüSol verfolgt die Idee, den Stickstoff mit Hilfe von Sonnenenergie aus der Luft zu holen, wo er mit über 78 Prozent reichlich vorhanden ist. Dabei sollen die Sauerstoffmoleküle, die fast 21 Prozent unserer Atmosphäre ausmachen, durch einen thermochemischen Kreisprozess vom Stickstoff abgetrennt werden.

Ihr Engagement für erneuerbare Energien erklärt die ungarische Chemie-Ingenieurin unter anderem mit ihrer Kindheit in einem Vorort von Budapest, der von Braunkohle-Bergwerken umgeben war: „Das hat mich geprägt. Ich glaube schon, dass das ein Grund ist, warum ich heute an umweltfreundlichen Verfahren arbeite.“ Dass die nachhaltige Gewinnung von Stickstoff noch ganz am Anfang steht, stört sie nicht. Sie hat einen langen Atem. Derzeit erarbeitet sie die Grundlagen für einen solchen Herstellungsweg und sucht dabei nach dem geeigneten Material. Es soll unter Zufuhr von Wärmeenergie möglichst große Mengen Sauerstoff aus der Luft binden können. Das gelingt mit einem sogenannten Redox-Prozess, der in einem mit Solarenergie betriebenen Reaktor reversibel verläuft: Im ersten Schritt oxidiert das Material, bindet Sauerstoffmoleküle und die Stickstoffmoleküle bleiben als Gas zurück. Im zweiten



Im Projekt DüSol spalten Wissenschaftler Stickstoff (N_2) aus der Luft, der gemeinsam mit Wasserstoff über das Haber-Bosch-Verfahren zu Ammoniak und dann zu Stickstoffdünger weiterverarbeitet wird

Schritt wird das Material wieder reduziert, der Sauerstoff freigesetzt und der Reaktor damit wieder „aufgeladen“, sodass der Prozess von Neuem durchgeführt werden kann.

Ein Fleischwolf für die richtige Konsistenz

Ausschlaggebend für ein erfolgreiches Verfahren ist nicht nur die chemische Zusammensetzung des Redox-Materials, für die Reaktionsfähigkeit spielt auch dessen Struktur eine große Rolle. Die besten Ergebnisse erzielt die Wissenschaftlerin, wenn sie aus der knetartigen Redox-Masse ein Granulat aus kleinen, etwa drei Millimeter großen Kügelchen macht. Dann bietet der Werkstoff viel Oberfläche für die Reaktion. „Man kann ein solches Granulat nicht kaufen, zunächst mussten wir also einen Weg finden, wie wir es selbst gewinnen können.“ Ein teures Spezialgerät hätte das Budget des Projekts stark strapaziert. Zusammen mit ihrem Kollegen Sebastian Richter hat Gúban lieber an einer eigenen Lösung gearbeitet und kurzerhand einen Fleischwolf umfunktioniert: „Zusammen mit der DLR-Werkstatt haben wir passende Aufsätze entwickelt und mit einem 3D-Drucker produziert, damit können wir der knetartigen Paste die richtige Körnung geben und unsere Versuchsmaterialien herstellen.“

„Wenn ich im Labor arbeite, vergehen die Tage sehr schnell“, sagt Gúban. Das hat sie auch nach ihrem Chemie-Ingenieurstudium in Budapest am Institut für Material- und Umweltchemie des Forschungszentrums für Naturwissenschaften gemacht. Als sie die jährlich stattfindende internationale Hauptversammlung von Hydrogen Europe Research mit vorbereitete, nutzte sie die Gelegenheit, ein europaweites Netzwerk aufzubauen. So kam sie zur europäischen Gesellschaft Hydrogen Research Europe, einem der drei Mitglieder der PPP(Privat Public Partnership)-Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU) in Brüssel, und damit zu dem europäischen Brennstoffzellen- und Wasserstoffforschungs- und Entwicklungsprogramm.

Englischübersetzung für die Yogaschule

Für eine Stelle als Referentin hat sie für ein Jahr das Labor verlassen: „Diese Zeit war sehr wertvoll für mich, ich habe viel über die Wasserstoffforschung in Europa und die Vergabe von Fördermitteln gelernt.“ Die richtigen Voraussetzungen für ihre internationale Forschungstätigkeit hat Gúban noch während ihrer Doktorarbeit geschaffen und die Prüfung für ein UN-Übersetzungszertifikat für die Sprachen Ungarisch und Englisch abgelegt: „Ich bin froh, dass ich dieses

zweite Standbein habe, auch wenn ich es gerade nur nutze, um die Website der Yogaschule meiner Freunde in Budapest ins Englische zu übersetzen.“

Mit dem Projekt DüSol hat die Forscherin vom Wissenschaftsmanagement wieder auf die Seite der Forscher gewechselt und in den vergangenen Monaten nach vielen Messzyklen an sehr kleinen Proben im Infrarot-Ofen einige vielversprechende Materialien gefunden. Damit ging sie dann einen Schritt weiter und untersuchte größere Probenmengen im Solar-Ofen in Köln. Ziel ist es, herauszufinden, ob ihre Proben auch bei einem hochskalierten, also im größeren Maßstab angelegten Versuch, die erhofften Mengen an Sauerstoff aus der Atmosphäre binden können. Stück für Stück nähert sich die Wissenschaftlerin so dem optimalen Verfahren. Den langen Atem, den es für diesen Weg braucht, bringt Dorottya Gúban mit. Sie hofft, dass die Düngemittelproduktion nach und nach klimafreundlicher wird: „Wir können nicht bei hundert Prozent anfangen. Wichtig sind jetzt Herstellungsverfahren und Technologien, die funktionieren und genutzt werden. Nur so können sie sich ausbreiten und weiterentwickeln.“

DüSol

Nachhaltige Düngerproduktion aus Sonne, Luft und Wasser

Laufzeit 1. Dezember 2016 bis 30. November 2019

Projektpartner GTT Gesellschaft für Technische Thermochemie und -physik mbH, aixprocess GmbH

Gefördert durch NRW – Investition in Wachstum und Beschäftigung mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, EFRE

FLUG IM FLÜSTERGEWAND



Das Forschungsflugzeug ATRA testet nachrüstbare Technologien zur Lärminderung

Von Falk Dambowsky

Ein Airbus A320 befindet sich im Anflug. Landeklappen und Fahrwerke sind wie üblich schon weit vor dem Aufsetzen ausgefahren. Doch dann über dem Flughafen beschleunigt der Pilot das Flugzeug. Der Jet startet durch. Im Hintergrund sieht man die Silhouette des Harzes mit seiner höchsten Erhebung, dem Brocken. An diesem Septembertag 2018 fliegt hier kein gewöhnlicher Passagierjet. Es ist das DLR-Forschungsflugzeug A320 ATRA (Advanced Technology and Research Aircraft), das am Flughafen Cochstedt/Sachsen-Anhalt seine Bahnen zieht. Noch etwas ist anders, und zwar an dem Forschungsflugzeug selbst. Äußerliche Modifikationen, beispielsweise an den Düsen, wurden vorgenommen. Sie sollen das Fliegen leiser machen. Wie viele Dezibel genau, das wollen die Forscher am Boden mit zwei weiträumig verlegten akustischen Messsystemen herausfinden, die vielfach überflogen werden. Rund 270 Mikrofone liegen dafür auf der Start- und Landebahn, einer Fläche von 43.000 Quadratmetern. Zum Teil dicht an dicht in einem sogenannten Mikrofonarray. Mit dessen Hilfe sollen die Schallquellen am Flugzeug geortet werden. Zusätzlich haben die Forscher auch im An- und Abflugbereich Mikrofone montiert. Als sich ATRA dem Flughafen und den dort aufgebauten Mikrofonen erneut nähert, kann man die grell rotorange leuchtenden Anbauten an Klappen, Fahrwerken und Triebwerksauslässen erkennen. Michael Pott-Pollenske vom DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, neben Henri Siller einer der beiden Leiter des Projekts mit dem Namen „Low Noise ATRA“ (LNATRA), zeigt auf das sich immer schneller nähernde Flugzeug: „Alle diese Umbauten am ATRA haben wir vorgenommen, um aerodynamische Geräuschquellen zu mindern und damit zu zeigen, welche baulichen Veränderungen bei heutigen Passagierjets noch möglich sind.“

Der Spielraum für leisere Passagierjets ist da, aber wie viel bringen einzelne Maßnahmen genau und bei welchem Aufwand? Das ergründen die Forscher im Detail mit den lange vorbereiteten Flügen in Cochstedt. Dass der prototypische Umbau zunächst mit einem erheblichen Aufwand einhergeht, zeigt ein Blick auf die Vorbereitung der Flugversuche. Vor fünf Jahren wurden im Projekt die ersten Modifikationen geplant, die nicht nur entworfen und gebaut werden mussten, sondern – wie in der Luftfahrt üblich – auch einen aufwändigen Zulassungsweg zu durchlaufen hatten. Im DLR haben das Systemhaus Technik und der Entwicklungsbetrieb der DLR-Einrichtung Flugexperimente wesentliche Beiträge zur Entwicklung, Herstellung und Qualifizierung der Lärminderungsmaßnahmen geleistet. Im Juni 2018 begannen dann die aufwändigen Umbauarbeiten am ATRA, bei denen zusätzlich mit externen Industriepartnern zusammengearbeitet wurde.

Die Triebwerke erhielten neue Auslässe mit einem speziellen Kantenmuster. Die Fahrwerke haben in ihrer heutigen Form zahlreiche Spalte, die unangenehm laute Geräusche verursachen. So wurden im DLR verschiedene teildurchlässige Abdeckplatten entwickelt, die diese



Bild: DLR/Lindner

Low Noise ATRA: Orangerot erkennbare Umbauten an den Landeklappen, Fahrwerken und Triebwerksauslässen sollen den Flug leiser machen

UMBAUTEN AN FAHRWERKEN, TRAGFLÄCHEN UND TRIEBWERKEN



Teilweise Verkleidung des Hauptfahrwerks



Verkleidung am Bugfahrwerk



Poröse Vorflügelseitenkante



Spoiler Splitter Plate an den Tragflächen
(Flugtest geplant für 2019)



Abdeckplatte am oberen Bugfahrwerk



Modifikation der Schubdüse

Spalte von der Luftströmung im Flug abschirmen. Ebenso befinden sich kleinere Platten zwischen den Rädern der Fahrwerke. Bei den Landeklappen sind es beim Ausfahren die großen Spalte zwischen Tragfläche und Klappen, die – ebenso wie die Klappenkanten – deutlich zur Geräuschemission beitragen. Hier haben die Forscher spezielle Materialien eingesetzt, durch die strömungsbedingter Schall erheblich reduziert werden soll. „Zusammengenommen sind wir mit acht Lärminderungsmaßnahmen geflogen“, berichtet Pott-Pollenske. „Besonders die Verkleidungen an den Fahrwerken und die neuartigen Schubdüsen an den Triebwerken haben großes Potenzial, das Fliegen zukünftig noch ein Stück leiser zu machen.“ Aber auch die lärmreduzierende Einstellung der Spalte zwischen Tragfläche und Vorflügel sowie die Umbauten an den Landeklappenseitenkanten werden eine Rolle spielen.“ Die Modifikationen sind zunächst prototypisch mit dem Schwerpunkt Lärminderung entwickelt worden, dabei aber auch Basis für eine spätere breite Anwendung.

Vergleich zu Flügen ohne Umbauten aus dem Jahr 2016

Für die Piloten und Mitarbeiter der DLR-Flugexperimente ist das Projekt mit seinen Einzelumbauten am Flugzeug eine Premiere. Noch bei keinem Experiment zuvor wurde der Airbus A320 ATRA mit acht Einzelumbauten in Eigenregie des DLR, unterstützt von weiteren Partnern, modifiziert. „Es ist schon etwas Besonderes, unseren bekannten ATRA quasi als Prototypen mit so vielen neuen Bauteilen zu fliegen“, sagt DLR-Forschungspilot Jens Heider, der für die Experimentalflüge im Cockpit sitzt. Er war schon 2016 an Bord, als die ersten ATRA-Flugversuche in Cochstedt erfolgten, um das akustische Profil des Airbus A320 noch ohne die geplanten Modifikationen aufzunehmen.

Beim Blick zum Himmel sieht man ATRA auf seiner Platzrunde gerade in einiger Entfernung südlich des Flughafens im Licht der Sonne verschwinden, um dann erneut zum Anflug anzusetzen. „Die ersten

Flüge aus dem Jahr 2016 mit dem noch nicht modifizierten ATRA benötigen wir als Vergleich, um die akustischen Verbesserungen durch die Umbauten klar identifizieren und quantifizieren zu können“, erläutert Pott-Pollenske. Damals flog ATRA exakt die gleichen Flugmuster in Höhe und Geschwindigkeit und die Mikrofone waren an den gleichen Stellen aufgebaut wie heute.

Schon jetzt sind neue Flugzeuge durch aerodynamische Verbesserungen und weiterentwickelte größere Triebwerke viel leiser als noch vor Jahren oder gar Jahrzehnten. Doch Spalte an den Landeklappen, die verschiedensten Strukturelemente an den Fahrwerken sowie der Ein- und Auslass der Triebwerke tragen noch immer zum typischen Flugzeuggeräusch bei. Diese Schallabstrahlung zu mindern, haben sich die Forscher des DLR vorgenommen. An diesen „Stellschrauben“ beim Flugzeuglärm zu drehen, hat dabei einen besonders anwendungsnahen Vorteil: Während Neuentwicklung und Marktdurchdringung neuer leiserer Flugzeuge oft Jahrzehnte benötigen, bieten lärmindernde Umbauten eine kurz- bis mittelfristige Perspektive mit wesentlich schnellerer Durchdringung. Das macht das Projekt LNATRA und die Flugversuche in Cochstedt so bedeutsam. Die Fluglärmforschung ist ein wichtiger Schwerpunkt im Programm Luftfahrtforschung des DLR.

Neben den Triebwerkgeräuschen ist vor allem das Umströmungsgeräusch für die Lautstärke der Flugzeuge verantwortlich. Dieses dominiert bei Anflug und Landung den Gesamtschalldruckpegel. Überall wo die Luft über Öffnungen und Spalte strömt, wird es laut, für jedermann einfach erfahrbar etwa durch Anblasen der Kante einer Personalausweiskarte. Gerade im Tief- und Langsamflug, also bei Start und Landung, ist dies ein Thema: Ausgefahrene Landeklappen geben Spalte zur Tragfläche hin frei und Fahrwerke stemmen sich im Flug mit all ihren Ecken, Kanten und Öffnungen gegen die verwirbelte strömende Luft. Für die Tankdruckausgleichsöffnung unter der Tragfläche des

Airbus A320 gibt es übrigens bereits eine lärmindernde Lösung, die schon weithin Anwendung findet: Vor 17 Jahren entwickelte das DLR einen kleinen Wirbelgenerator, der die lästigen Töne vom Flügel beseitigt und heute als Nachrüstsatz verfügbar beziehungsweise serienmäßig in neuen A320-Flugzeugen eingebaut ist.

Auswertung der akustischen Daten dauert noch an

Am Flughafen Cochstedt ist ATRA nun ein letztes Mal im Anflug aus Richtung Osten. Es ist fast still. Die Forscher sitzen abwartend an ihren Kontrollbildschirmen, die sie in einem Container in ausreichender Entfernung zur Start- und Landebahn aufgebaut haben. Die Abteilung Triebwerksakustik des DLR-Instituts für Antriebstechnik ist hier speziell für die Schallquellenortung am Flugzeug verantwortlich. Nur eine leichte Spätsommerbrise weht über das Rollfeld und die Sonne wärmt noch immer die weiten Betonflächen. Langsam hört man das näher kommende Flugzeug. Jetzt fliegt ATRA in nur 120 Meter Höhe über die Mikrofone. Das ist heute die minimale Höhe bei den insgesamt 59 Überflügen, die sich entsprechend einem ausgeklügelten Messplan staffeln. Das hilft den DLR-Wissenschaftlern, die akustischen Signaturen für verschiedene Anflugphasen besser zu verstehen.

Anschließend nimmt ATRA Kurs auf den nur 20 Flugminuten entfernten Heimatflughafen in Braunschweig. In den Rechnern der Forscher bleiben umfangreiche Akustikdaten zurück, deren Auswertung sie noch einige Monate beschäftigen wird. Erst dann werden sie genau wissen, welche Umbauten das Potenzial haben, Eingang in den alltäglichen Flugverkehr zu bekommen. Projektleiter Michael Pott-Pollenske blickt nach vorn: „Bei den vorderen Hochauftriebshilfen, den sogenannten Vorflügeln, und den Luftbremsen, also den Spoilern, haben wir noch zwei vielversprechende Modifikationen vorbereitet. Deren Wirkung wollen wir bei weiteren Flugversuchen im kommenden Jahr testen.“

PROJEKT LNATRA: UMFANGREICHE ZUSAMMENARBEIT FÜR LEISERES FLIEGEN

Einige der neuartigen Modifikationen am A320 ATRA entstanden in Kooperation mit dem EU-Förderprojekt AFLoNext (Active Flow Loads & Noise control on next generation wing). Die Bremsabdeckungen und die Verkleidung des unteren Hauptfahrwerks wurden gemeinsam mit dem Partner Safran Landing Systems entwickelt. Weitere Lärminderungsmaßnahmen an Bug- und Hauptfahrwerk entstanden unter DLR-Führung im Projekt Low Noise ATRA. Die poröse Landeklappenseitenkante ist ein Produkt der Zusammenarbeit zwischen Airbus Group, Airbus Operations und dem DLR. Eine ähnliche Konstruktion wurde an allen Vorflügel-seitenkanten installiert. Die Lautstärke der Luftbremsen an den Tragflächen wird mit Hilfe einer sogenannten Spoiler Splitter Plate reduziert, die die Ausbreitung der Schallwellen von den Luftbremsen zum Boden mindert und 2019 erprobt werden soll. Insbesondere das laute Triebwerkgeräusch beim Start, so die Erwartung, könnte durch die neue Schubdüse, die gut sichtbar hinten am Triebwerk angebracht ist, leiser werden.

Partner des DLR für die umfassenden Änderungen am A320 ATRA: AMAS Engineering, Deharde, Spörl, Donaris, Leichtwerk, Lufthansa Technik, SONACA und ASCO.

SCHALLMESSVORRICHTUNGEN AUF DER START- UND LANDEBAHN



Anordnung der weit verteilten Feldmikrofone am Boden



Speicher- und Funksteuereinheit für den Betrieb von zwei weit verteilten Feldmikrofonen



Freifeldmikrofon nach Zertifizierungsnorm



Messdatenerfassungseinheit und Kabeltrommeln

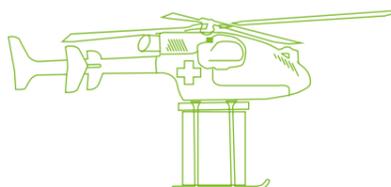


Kabeltrommeln für Versorgungs- und Datenleitungen zu Mikrofonen des Bodenarrays (Hintergrund)



Überflugsituation mit Mikrofonarray auf der Bahn

EIN HOFFNUNGSVOLLER FALL



Unbemannter Hubschrauber superARTIS im Probetrieb zur humanitären Hilfe

Ein Erfahrungsbericht von Johann C. Dauer

» Seit einer Woche sind wir in der Karibik, abseits von Postkartenstränden und All-inclusive-Hotels. Das echte Leben also: Hitze, Unwetter, ausgetrocknete Landschaften, Gegenden geprägt von Armut und – Begegnungen mit freundlichen Menschen. Unsere Mission: Simulation einer humanitären Hilfsaktion zur Versorgung schwer zugänglicher Gebiete im Krisenfall.

Und hier stehen wir nun, auf einer Straße, die unserem superARTIS als Startplatz dient. Wobei Straße schon zu viel gesagt ist, die Piste ist zerklüftet und zum Teil in dem sich ausbreitenden Salzsee Enriquillo versunken. Es ist Samstagmorgen und viel zu früh. Doch statt dass der Himmel aufhellt, wird er dunkler. „Da kommt ein Unwetter, schaffen wir das noch rechtzeitig?“, fragt Jörg Rößner, unser Sicherheitspilot. Es ist die letzte Chance, denn wir liegen im Zeitplan zurück. Längere Wartezeiten am Zoll und Schwierigkeiten bei der Beschaffung von Kerosin Jet A1 haben uns fast zwei Tage unseres zweiwöchigen Aufenthalts in der Dominikanischen Republik gekostet. Wir haben nur noch den heutigen Tag für die erste von mehreren Missionen. Also versuchen wir es. Unser unbemannter Hubschrauber superARTIS, ein Dragon SDO 50 der Firma SwissDrones, soll – so das Szenario – eine durch Überschwemmung abgeschnittene Siedlung mit Hilfsgütern versorgen.

Es herrscht noch Morgendämmerung, als wir alles aufbauen. Die Bodenstation wird eingerichtet, der autonom fliegende Hubschrauber erhält seine Rotorblätter, wir führen die Vorflugtests durch und befüllen spezielle Transportkartons mit Nahrungsmitteln.

Weniger als eine Stunde ist seit dem Aufbruch aus unserem Hotel vergangen. Rekordzeit für den Aufbau! Doch Jan Binger, der Bediener unserer Bodenstation, bezweifelt, dass wir schnell genug sind. Die Wolken, die den Himmel zunehmend verfinstern, verunsichern uns. Doch es ist alles vorbereitet. Wir wollen unsere Chance nicht verspielen. Vorzeitig aufgeben ist keine Option. Nur wenige Worte sind nötig, als wir die Checkliste für die letzten Startvorbereitungen durchgehen. Das Team hat sich in den letzten Tagen perfekt eingespielt. Ein Anruf von uns löst die vorbereitete Straßensperre aus; ein Handzeichen aktiviert den Sicherheitsbereich. Niemand darf sich ab jetzt uns und unserem Hubschrauber nähern. Leonor, unsere Ansprechpartnerin der zivilen Luftfahrtbehörde vor Ort, bestätigt, dass der Luftraum für uns freigegeben ist. Ich erteile die Starterlaubnis.

Die Turbine wird angelassen, die Rotoren laufen auf Nenndrehzahl und unser superARTIS hebt ab. Sein Ziel befindet sich weit außer Sicht, auf der anderen Seite des Sees. Dort soll er die Kartons mit den Hilfsgütern abwerfen. Der Hubschrauber macht sich auf den Weg. In 100 Meter Flughöhe entfernt er sich aus unserem Sichtfeld, bis er nur noch ein kleiner Punkt am Horizont ist. Ein komisches Gefühl befällt uns, so wie immer, wenn der Hubschrauber die Sichtgrenze hinter sich lässt. Und uns wird bewusst, wie außergewöhnlich dieser Test hier in der Dominikanischen Republik ist.



Die Bodenstation hat Camp-Charakter, verfügt aber über alles, was die Crew braucht, um den autonom fliegenden Hubschrauber zu verfolgen



Die Mission des superARTIS: lebensnotwendige Güter schnell, günstig und sicher an den Ort zu transportieren, wo die Hilfe benötigt wird



Mit Bedacht werden Fluggerät und Technik in die verschiedenen Testgebiete der Dominikanischen Republik transportiert



Der Salzsee Enriquillo breitet sich bei Regen rasch aus – ein gutes Testgebiet für schnelle humanitäre Hilfe



Die für Hilfeinsätze mit Drohnen angepassten Kartons entfalten sich automatisch beim Abwurf

Die Missionen

Gemeinsam mit dem World Food Programme (WFP) der Vereinten Nationen und dem niederländischen Unternehmen Wings for Aid untersuchte das DLR-Team die Versorgung mit Drohnen in nachgestellten Notfallsituationen. Der Hubschrauber warf dafür automatisch Hilfsgüter an einem schwer zugänglichen Ziel ab. Die Güter sollten dabei natürlich keinen Schaden nehmen. Gleichzeitig musste die Umverpackung aber möglichst kostengünstig sein, denn sie würde in den schwer zugänglichen Zielgebieten verbleiben und könnte kein zweites Mal genutzt werden. Aufwändiges Anbringen teurer Fallschirme kam somit nicht infrage.

Das Unternehmen Wings for Aid hat dafür spezielle Pappboxen entwickelt. Durch sich entfaltende Klappen wird der Fall der Boxen gebremst und stabilisiert. Eine Knautschzone schützt die Inhalte zusätzlich beim Aufprall. Die Kartons werden in gefaltetem Zustand transportiert und sind im Feld schnell einsatzbereit zu machen; die Pappe selbst ist biologisch abbaubar. Im regulären Notfallbetrieb können so nach und nach verschiedene Ziele mit je 20 Kilogramm Hilfsgütern pro Abwurf versorgt werden. Auch technische Hilfsmittel wie Funkgeräte können so an den Krisenort gebracht werden.

Dass Abwürfe von Drohnen prinzipiell technisch realisierbar sind, war bei der Projektplanung schon klar. Auftrag der DLR-Wissenschaftler war es, zu klären, inwiefern dieses Auslieferungsverfahren wirklich einen Mehrwert für die humanitäre Hilfe vor Ort hat. Um dies zu untersuchen, wurde vom WFP die Dominikanische Republik ausgewählt, da dieses Land schon Erfahrung beim Probetrieb von Drohnen hat. In der jüngeren Vergangenheit litt das Land unter Naturkatastrophen. Vor allem Überschwemmungen nehmen hier häufig kritische Ausmaße an. Deshalb wurden solche Szenarien als Anwendung ausgewählt. Betroffene Anwohner und offizielle Stellen begleiteten den Probetrieb und sollten ihn bewerten. So sollte festgestellt werden, ob sich die technische Lösung auch unter den Bedingungen bewähren würde, mit denen sich Nothelfer in der Praxis konfrontiert sehen.

Die Gegend um den 375 Quadratkilometer großen Salzsee Enriquillo war schon oft überschwemmt und war nun Schauplatz der Tests in der ersten Woche des Aufenthalts. Der Hubschrauber sollte an der Stelle abheben, wo kein Durchkommen mehr war, und eine kleinere Siedlung namens Nuevo Boca de Cachón versorgen. Automatisch fliegend überquerte er dabei ungefähr sechs Kilometer Wasserfläche sowie eine Straße und verharnte am Zielort für eine vorgegebene Zeitspanne. Hier wartete der Nutzlastoperator, der das Zielgebiet überwachte und den Abwurf auslöste. Der Hubschrauber kehrte dann auf gleichem Weg wieder zurück.

Ein weiteres Gebiet, in dem in der zweiten Woche geflogen wurde, liegt im nördlichen Teil der Insel am Fluss Bajo Yuna. In dem gleichnamigen Gebiet wird hauptsächlich Reis angebaut. Hier kommt es sehr häufig zu Überschwemmungen, da die Landfläche niedriger liegt als das Flussbett selbst. Das WFP und andere Hilfsorganisationen vor Ort berichteten davon, dass hier fast zu jeder Hurrikan-Saison Menschen durch Hochwasser von der Umgebung abgeschnitten werden. In dieser Region wäre sogar die dauerhafte Stationierung einer Drohne wie superARTIS denkbar, die Boote oder bemannte Hubschrauber ergänzt.

Für diese zweite Region wurden mehrere Missionen mit unterschiedlichen Herausforderungen entworfen. Der Hubschrauber überwand dabei Distanzen zwischen 800 Metern und 3,5 Kilometern. Start- und Landepunkte waren meistens Feldwege, die während des Fluges für den Straßenverkehr gesperrt wurden. Die Ziele, an denen die Fracht abgeworfen wurde, liegen nahe an Siedlungen, die im Ernstfall versorgt werden müssten.

Nicht nur auf technischer und logistischer Seite wurde Pionierarbeit geleistet, auch für die Genehmigung der Flüge vor Ort bedienten sich die Forscher eines neuen Verfahrens. Die Genehmigung des Drohnenbetriebs im allgemeinen Luftraum ist derzeit eines der Kernthemen in der unbemannten Luftfahrt. Gemeinsam mit der zivilen Luftfahrtbehörde des Landes beschlossen die DLR-Wissenschaftler, erstmals ein neues Verfahren der Sicherheitsbewertung anzuwenden: Das sogenannte Specific Operations Risk Assessment (SORA) betrachtet nicht nur die Drohne als Produkt selbst, sondern auch die Mission, für die sie gedacht ist. Es soll ein Maß an Sicherheit hergestellt werden, das dem der bemannten Luftfahrt entspricht. Die konkreten Bedingungen einer Mission machen es nicht immer notwendig, eine Drohne vollständig zu zertifizieren. Birgt die Mission nur geringe Risiken für Mensch und Umgebung, so kann der Aufwand für zu erbringende Nachweise verringert werden.

Dieses Verfahren ist der in der zivilen unbemannten Luftfahrt bisher fehlende Schlüssel, um einen aufwändigeren Betrieb, wie den Flug außerhalb der Sichtweite, hinsichtlich seiner Sicherheit zu beurteilen und formal zu genehmigen. So strebt die EASA (European Aviation Safety Agency) an, dieses Verfahren zeitnah in verbindlichen Regelwerken zu verankern. In diesem Einsatzfall kam ein unbemannter Hubschrauber mit vergleichbar großem Abfluggewicht zum Einsatz. Der Betrieb wurde auf spezielle dünn besiedelte Gebiete und Flughöhen unterhalb von 500 Fuß eingeschränkt. Die Luftfahrtbehörde stellte sicher, dass kein anderer Flugbetrieb stattfand.



Die Lieferung erreicht ihr Ziel

Der erwartete Regenguss bleibt bisher aus. Unser Hubschrauber hat die Sichtgrenze hinter sich gelassen. Jan Binger überwacht in der Bodenstation die Flugparameter. In Vorversuchen haben wir die Böen, mit denen wir über dem See zu rechnen hatten, ermittelt. Jetzt frischt der Wind allerdings auf und der Hubschrauber hat zu kämpfen, der künstliche Horizont steht schon längst nicht mehr gerade und die Turbinentemperatur droht unter dem Einfluss der Böen in den roten Bereich zu kippen. Wir haben klare Abbruchkriterien für die Mission ... Doch unsere Hoffnung erfüllt sich: Die Windbedingungen sind zwar herausfordernd, aber nicht kritisch. Der Hubschrauber erreicht sicher das andere Ufer und überquert die abgesperrte Straße.

Unser Nutzlastoperator schilderte anschließend, dass der Hubschrauber einen beeindruckenden Auftritt hingelegt hat. „Allein die Geräuschkulisse verriet, dass keine kleine Drohne, sondern ein ordentliches Fluggerät auf uns zukam“, berichtete Barry Koperberg, Geschäftsführer von Wings for Aid und verantwortlich für den Abwurf der Fracht in diesem Probetrieb.

Während der Hubschrauber zuverlässig über dem Abwurfpunkt schwebt, schauen wir gebannt auf die Kontrollinstrumente in der Bodenstation. Da wir die gesamte Kapazität des Fluggeräts für den Transport nutzen, sind keine zusätzlichen Kameras an Bord. Also beobachten wir die Antriebskennzahlen. Als der Treibstoffdurchsatz plötzlich abfällt, wissen wir, der Hubschrauber muss spontan leichter geworden sein. Nur wenige Herzschläge später kommt per Telefon die Bestätigung, dass unser Nutzlastoperator den Abwurf ausgelöst hat und die Fracht sicher und planmäßig gelandet ist.



Autor Johann Dauer ist erleichtert, dass die Regenwolken ein Nachsehen mit den Forschern haben

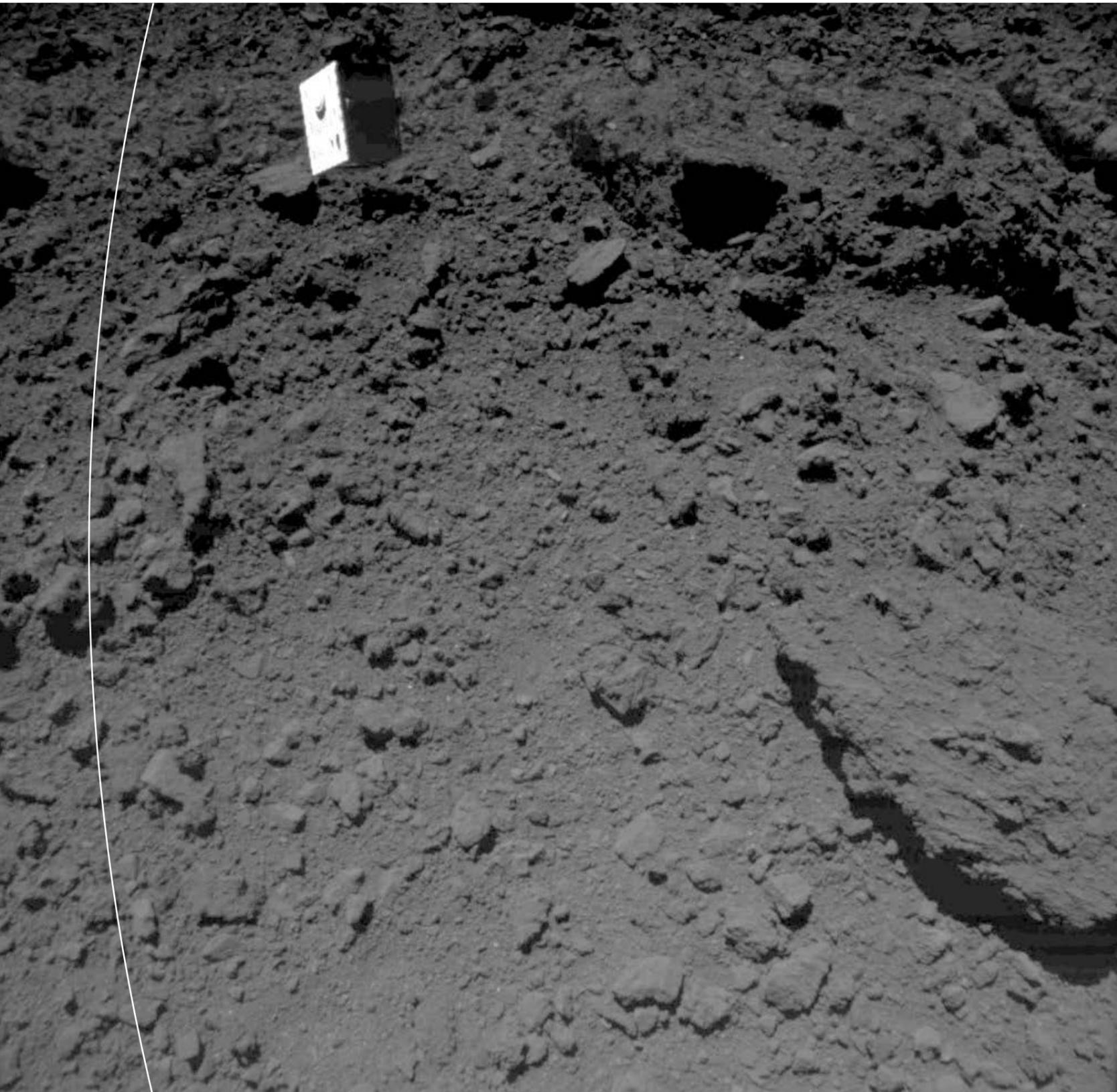
Nach der vorgegebenen Wartezeit macht sich unser superARTIS auf den Rückweg. Wir beobachten den Horizont und tatsächlich: Nach einigen Minuten kann man am Himmel wieder einen größer werdenden schwarzen Punkt ausmachen. Der Hubschrauber nähert sich, fliegt zu seinem Landeplatz und setzt sicher auf. Doch zum Jubeln und Schulterklopfen bleibt uns keine Zeit, wir wollen den Flug unbedingt wiederholen, bevor sich die dunklen Wolken entladen. So macht sich der Hubschrauber kurze Zeit später erneut auf den Weg und liefert einen weiteren Karton ab.

Nachdem wir die Tage zuvor unserem Zeitplan hinterhergelaufen waren, haben wir nun den ersten Teil unserer Mission erfolgreich absolviert. Das ganze Team ist stolz auf dieses Ergebnis. Auch das positive Feedback der Interviews mit den Bewohnern der Region und Vertretern lokaler Hilfsorganisationen freut uns natürlich sehr. Man kann spüren, wie eine große Last von den Schultern des Flugversuchsteams abfällt und in einer fast euphorischen Grundstimmung packen wir zusammen. Auf zum zweiten Testgebiet für die folgende Woche!

Als wir aufbrechen, zeigt uns die Wetterkarte eine komplett in Rot und Violett aufleuchtende Dominikanische Republik. Und schon trommelt es auf das Autodach und der strömende Regen verringert die Sichtweite auf nur wenige Meter – Glück gehabt!

Die darauf folgende Woche dient dazu, Routine beim Flugbetrieb in Variationen der Missionen aufzubauen. Die daraus ableitbaren Kennzahlen helfen uns, die Leistungsfähigkeit des Transportbetriebs zu bewerten. So absolvieren wir verschiedene Flüge in Bajo Yuna und wiederholen die Prozedur. Das Wetter bessert sich glücklicherweise und wir bringen reichlich Erfahrungen und Daten für die Auswertung mit nach Hause. Sie werden unsere Forschung an Technologien zur unbemannten Luftfahrt ein gutes Stück voranbringen. Und ganz zum Schluss, bevor unser Flieger gen Heimat aufbricht, bleibt uns dann doch noch ein Moment für den Postkartenstrand.

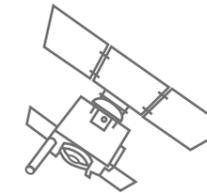
Johann Dauer forscht im DLR-Institut für Flugsystemtechnik in Braunschweig an unbemannten Luftfahrzeugen (Unmanned Aircraft Systems, UAS). Er leitet das Projekt Automated Low Altitude Air Delivery, kurz ALAADY, das sich dem unbemannten Lufttransport in niedrigen Lufträumen widmet und unter anderem neue Verfahren der Sicherheitsbewertung und Nachweisführung für zivil eingesetzte UAS erforscht.



Ein Foto, das im Buch der sechzigjährigen Raumfahrtgeschichte einen prominenten Platz bekommen wird: Das Bildaufnahmesystem der Raumsonde Hayabusa2 hält kurz nach dem Abtrennen von MASCOT in 51 Meter Höhe den Fall des deutsch-französischen Landemoduls über der von Steinen und Geröll übersäten Oberfläche von Ryugu fest.

Bild: JAXA/UTokyo/Kochi-UR/RIKKYO U/Nagoya U/Chiba Inst Tech/Meiji U/U Aizu/AIST

MASCOT IM WUNDERLAND



Den Tag der Deutschen Einheit 2018 werden diejenigen, die ihn im DLR-Nutzerzentrum für Weltraumexperimente in Köln verbrachten, nicht vergessen. Denn es wurde ein ganz spezieller ‚Feiertag‘. Er fing für die Mannschaft im Kontrollzentrum früh an. Schon am Abend zuvor waren die meisten da. Kurz nach Mitternacht trafen auch die restlichen Wissenschaftler aus Deutschland, Frankreich und Japan ein. Vier Experimente, vier Teams. Es war eine leise, konzentrierte Atmosphäre inmitten dutzender Monitore und aufgeklappter Laptops, voller Spannung. Alle versuchten, so gelassen wie nötig, aber eben auch so fokussiert wie möglich zu sein. Denn in etwa 300 Millionen Kilometer Entfernung zur Erde, auf der anderen Seite der Sonne, würde es um 3 Uhr 57 und 21 Sekunden in 51 Meter Höhe über dem kleinen Asteroiden Ryugu geschehen und dann ohne die Möglichkeit, noch Einfluss zu nehmen, seinen Lauf nehmen: Das Experiment MASCOT – die Landung eines Kastens in der Größe einer Küchenmikrowelle, vollgepackt mit robotischer Hightech, auf einem noch nicht einmal 900 Meter großen Asteroiden namens Ryugu.

Mit der Mission Hayabusa2 und dem Lander MASCOT geht die Weltraumforschung neue Wege

Von Ulrich Köhler

„Die Abtrennung von Hayabusa2 ist bestätigt“, gibt MASCOT-Projektleiterin Tra-Mi Ho vom DLR-Institut für Raumfahrtssysteme bekannt. „Die Signale vom Magnetometer zeigen es an.“ – Riesenjubiläum! Alles verläuft wie geplant. Nominal. Nominal ist das Zauberwort der Raumfahrt: Alles im Soll. Dann wieder Stille. Warten auf den wichtigsten Moment der Mission. MASCOT hat kein Antriebssystem und nähert sich Ryugu im freien Fall mit einer Geschwindigkeit von wenigen Zentimetern pro Sekunde. Eingriffe von der Bodenstation sind nicht möglich und geradezu sinnlos, denn die Laufzeit eines Funksignals beträgt über 17 Minuten – für die einfache Strecke. Schon nach sechs Minuten und somit zehn Minuten früher als erwartet, um 4.03 Uhr, meldet Flugleiter Christian Krause: „MASCOT hat Bodenkontakt“. Verhaltener Jubel nur, denn die meisten waren vom schnellen Ende der Abstiegsphase und dem ersten Aufsetzen nach so kurzer Zeit überrascht. Schließlich würde der am DLR entwickelte deutsch-französische MASCOT, der „Mobile Asteroid Surface Scout“, von dieser Stelle der ersten Bodenberührung noch einige Meter in unkontrollierten Bewegungen zurücklegen, ehe er in der Minimalgravitation des Asteroiden seine vorläufig endgültige Position erreicht. Auch das geschieht: nominal.

MASCOT, das quaderförmige Instrumentenrack aus einem stabilen Kohlefaser-Verbundstoff in den Außenmaßen von 30 mal 20 mal 20 Zentimetern und mit einer Masse von gerade einmal zehn Kilogramm, war zum Stillstand gekommen. Der Asteroid Ryugu hat nur ein Sechshunderttausendstel der Anziehungskraft der Erde, so- dass MASCOT dort eine Gewichtskraft von weniger als einem Gramm erfährt. Das „Ausrollen“, wie bei einem Würfel auf dem Spielbrett, macht weder der Struktur etwas aus, noch der Technik und den Instrumenten in seinem Innern. Das haben die Ingenieure vorher ausgiebig getestet. MASCOT birgt vier Experimente in sich. Der Lander befand sich genau im anvisierten Landegebiet bei 310 Grad östlicher Länge und 30 Grad südlicher Breite. Die Wissenschaftler taufte es spontan „Alice’s Wonderland“, nach dem gleichnamigen Kinderbuch von Lewis Carroll.

Es war Mittag auf Ryugu, wo Tag wie Nacht nur eine Länge von dreidreiviertel Stunden haben. Die Funkverbindung zum Mutterschiff Hayabusa2, das zum Empfang der Signale von MASCOT wieder auf zehn Kilometer Höhe gestiegen war, zeigte sich stabil. Beim vorausgegangenen Abstieg hatte das Aufnahmesystem MASCAM 20 Fotos gemacht und zur Sonde übertragen. Sie zeigen im Anflug eine überall von kantigem Geröll und spitzen Steinen übersäte Asteroidenlandschaft. Auch der erste Kontakt von MASCOT mit Ryugu erfolgte an einem fünf Meter großen Felsen. Überall Geröll – nirgendwo Staub: was für eine Überraschung! Die drei Kameras von Hayabusa2 hatten den Abstieg des Experimentenpakets in zahlreichen Bildern festgehalten, sodass der Fall von MASCOT auf Ryugu und seine Ausrollbewegungen aus diesen Bildern rekonstruiert werden konnten.



Bild: JAXA

Hayabusa2 ist eine sehr komplexe Raumfahrtmission. Hauptaufgabe ist die Erforschung von Ryugu, eines kaum einen Kilometer großen erdbahnkreuzenden, primitiven Asteroiden aus der Zeit der Planetenentstehung. Höhepunkt werden drei Probenahmen im kommenden Jahr sein. Ende 2020 soll dann eine Kapsel mit Asteroidenmaterial auf der Erde ankommen.

Landung in Rückenlage!

Bei seinem ersten Bodenkontakt prallte MASCOT zunächst ab und berührte dann noch acht Mal den Boden. Nach einer halben Stunde erreichte er seine Ruheposition. Wie im Bordcomputer einprogrammiert, begann MASCOT sofort mit den vier Experimenten auf dem Boden von Ryugu. Gleichzeitig trafen via Hayabusa2 Systemdaten von MASCOT im Kölner Kontrollzentrum ein: Ladezustand der Batterie, Temperatur der Instrumente, Speicherbelegung, Orientierungsdaten, Status der Datenübertragung. Nach deren Analyse bekamen Wissenschaftler und Missionskontrolle einen ordentlichen Schrecken, denn MASCOT lag wie ein Maikäfer auf dem Rücken. Das war zunächst nicht ungewöhnlich, denn bei einem quaderförmigen Körper mit sechs flachen Seiten ist die Wahrscheinlichkeit, dass er gleich in der richtigen, für die Experimente vorgesehenen Orientierung liegen bleibt, etwa eins zu sechs. Genau aus diesem Grund wurde für MASCOT ein System entwickelt, mit dem es automatisch seine Lage verändern kann. Ein Metallgewicht aus Wolfram kann mit einem Schwungarm in Rotation versetzt werden und sorgt so für das nötige Momentum, um MASCOT dank der geringen Anziehungskraft von Ryugu sich drehen und sogar über die Oberfläche hüpfen zu lassen.

Aber jetzt führte MASCOT diesen Schwung nicht aus! In Köln wurde kurz und intensiv beraten. Wegen der auf 16 Stunden begrenzten Kapazität der Batterie musste schnell eine Entscheidung fallen. Eigentlich hätten die Signale der Lagesensoren die ungünstige Position erkennen und autonom ein Kommando an den Schwungmechanismus senden sollen. Da dies nicht geschah, wurde entschieden, einen Befehl an den regungslosen Lander zu senden, damit er sich um 180 Grad dreht. Zwar ging dadurch wertvolle Beobachtungszeit verloren, eine Alternative gab es aber nicht. Kamera, Spektrometer und Radiometer blickten ins Weltall! Dann das große Aufatmen: Das Manöver erbrachte den gewünschten Effekt, und MASCOT war nun in einer günstigen Lage. Automatisch begannen die Instrumente, ihre Messprogramme durchzuführen. Die kleine Landesonde hatte inzwischen ihren ersten Tag-und-Nacht-Zyklus hinter sich. Um 9.52 Uhr, fast sechs Stunden nach dem ersten Kontakt, begann der zweite Tag auf Ryugu.

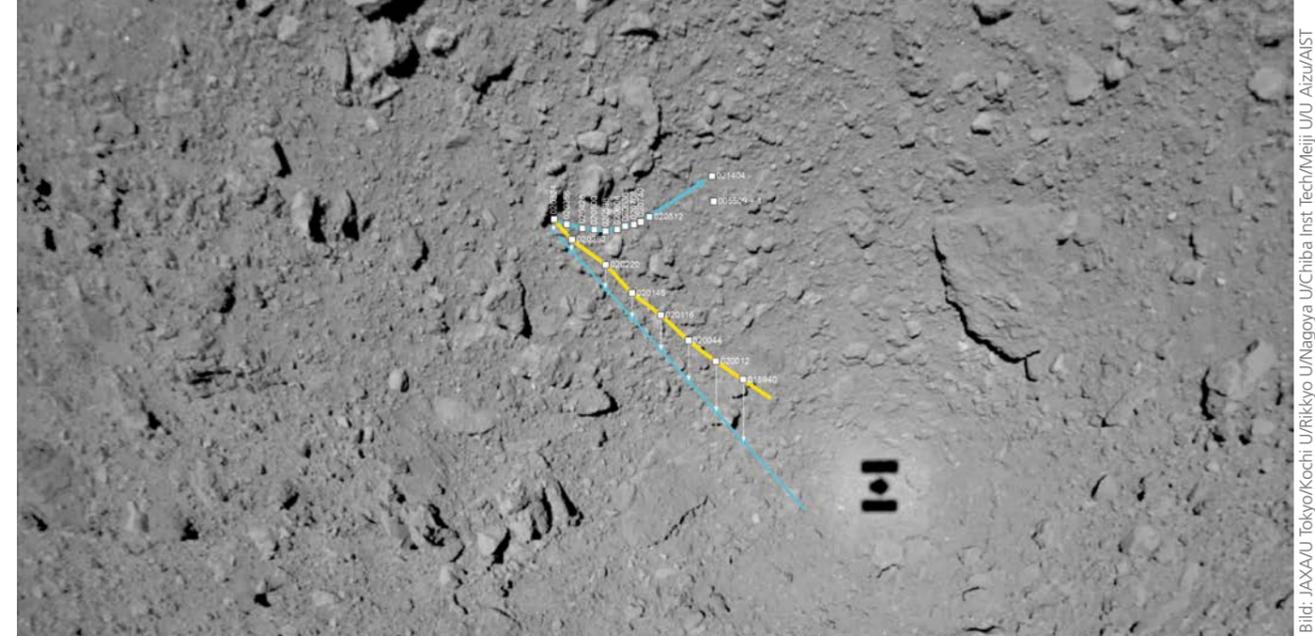
Hayabusa2 – nichts ist unmöglich!

Rückblick und Vorausschau: Die Raumsonde Hayabusa2, gestartet am 3. Dezember 2014, erreichte Ryugu im Juni 2018. Die Mission der japanischen Weltraumagentur JAXA ist hochkomplex. Zunächst beobachtete der „Wanderfalk“ den Asteroiden aus einer Art Parkposition in 20 Kilometer Höhe. Die Sonde ist Nachfolger der Mission Hayabusa, die 2005 vom Asteroiden Itokawa Proben entnommen hatte und diese trotz technischer Schwierigkeiten 2010 zur Erde bringen konnte. Mit dem zweiten Wanderfalken soll dieses Mal auf

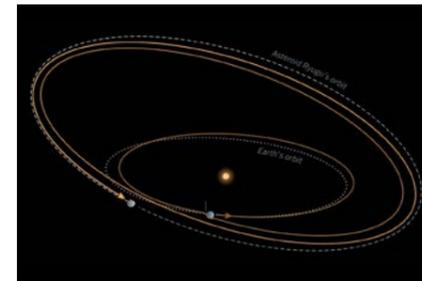
einem Asteroiden mehr Staub, auch Staub von verschiedenen Stellen gesammelt werden – und es sollte ein erdbahnkreuzender Asteroid sein. Das Szenario dafür ist höchst anspruchsvoll: Von der Annäherung der Raumsonde Hayabusa2 an Ryugu Anfang 2019 bis auf einen Meter bis zum Aufsetzen direkt auf dem Boden und der Aktivierung seines Probensammelrohrs. Darin wird eine Kugel aus Tantal nach unten geschossen werden, um Staub aufzuwirbeln. Der im Sammelrohr emporsteigende Staub wird dann fixiert und in eine Probenkammer eingeschlossen. Bei einem zweiten Bodenkontakt Wiederholung des Ganzen.

Spektakulär schließlich die dritte Probenahme: Hayabusa2 trennt einen Sprengsatz ab, der über der Oberfläche explodiert und ein konisches Kupfergeschoss mit zweieinhalb Kilogramm Masse auf zwei Kilometer pro Sekunde beschleunigt und auf Ryugu schießt. Um das Raumschiff nicht zu gefährden, geht Hayabusa2 auf der anderen Seite Ryugus in Deckung. Eine gleichzeitig ausgebrachte Minikamera nimmt den Einschlag auf, um festzuhalten, was dabei an Material zur Seite spritzt. Dann nähert sich Hayabusa2 der freien Fläche, setzt auf und nimmt darin frisches, nicht oder kaum von kosmischer Strahlung und vom Sonnenwind beeinflusstes Asteroidenmaterial auf. Damit wird Hayabusa2 dann Ende 2020 zur Erde zurückkehren. Neben MASCOT werden von der Sonde noch acht weitere, teils bewegliche Minimodule auf den Asteroiden abgesetzt. Sie markieren den künstlichen Krater beziehungsweise nehmen mit Stereokameras die Landschaft auf. Auf keiner bisherigen Explorationsmission kam derart innovative, aber auch unkonventionelle Technik zum Einsatz.

Einen Himmelskörper mit einer Raumsonde aus der Nähe zu beobachten, ist allein schon wissenschaftlich wertvoll, Proben zu nehmen und zur Erde zu bringen, die Königsdisziplin. Schließlich noch Experimente auf der Oberfläche durchzuführen, ein mächtiges Sahnehäubchen. Das vom DLR und der französischen Weltraumagentur CNES entwickelte Modul MASCOT verkörpert ein völlig neuartiges Konzept einer Landung auf einem Körper mit geringer Anziehungskraft. Die DLR-Kamera MASCAM, die schon während des Abstiegs Aufnahmen machte, fotografierte die Umgebung der Landestelle bis zum Horizont in hoher Auflösung. Am Ende waren es 120 Bilder, mehr als doppelt so viele wie geplant, Leuchtdioden ermöglichten sogar Nachtaufnahmen. Das französische Infrarot-Spektromikroskop MicrOmega ermittelte die mineralogische Zusammensetzung des Asteroidenstaubs, indem es seinen Sensor auf der Unterseite von MASCOT auf die Oberfläche setzte. Das an der Technischen Universität Braunschweig entwickelte Magnetometer MasMag sammelte Daten über ein mögliches Magnetfeld von Ryugu, das der kleine Körper in den Anfangszeiten des Sonnensystems aufgeprägt bekommen hatte. Und das DLR-Radiometer MARA schließlich erfasste die Temperatur und thermischen Eigenschaften des Asteroidenbodens.



Das Aufnahmesystem der japanischen Raumsonde Hayabusa2 verfolgte den Abstieg von MASCOT. Rechts unten ist der Schatten der Sonde zu sehen. Die Punkte im Bild geben die Zeitpunkte an, zu denen Aufnahmen von MASCOT gemacht wurden. Die gelbe Linie markiert die Positionen, an denen MASCOT noch im Abstieg auf Ryugu war. Die blaue Linie unterhalb der gelben Linie ist die Projektion dieser Positionen auf die Asteroidenoberfläche. MASCOT legte also eine geradlinige Flugroute zurück.



Die Bahn des Asteroiden Ryugu kommt dem Orbit der Erde auf 95.000 Kilometer nahe



17 spannende Stunden im Kontrollzentrum für die Mission MASCOT im DLR Köln



Die DLR-Kamera MASCAM zeigte die größte Überraschung: überall Steine, Felsen, Geröll – keinen Staub

Bild: JAXA U/Tokyo/Kochi U/Rikkyo U/Nagoya U/CNRS Inst. Tech/Meiji U/U Aizu/IST

Bild rechts: MASCOT/DLR/JAXA

Urmaterie, die auch gefährlich werden kann

Asteroiden sind Überbleibsel der Planetenentstehung. Mehr als 750.000 solcher Körper sind bekannt. Die meisten von ihnen umrunden die Sonne in einem breiten Band zwischen den Planeten Mars und Jupiter. Vor allem aber gibt es Asteroiden, die den Weg der Erde um die Sonne kreuzen. Heute kennt man 17.000 dieser erdbahnkreuzenden Asteroiden. Die Bahnen der meisten sind hinlänglich gut bekannt und stellen keine Gefahr für die Erde dar. Eines der großen Themen der Exploration und Raumfahrt ist die Charakterisierung dieser „NEOs“ (Near-Earth Objects) und das Vermeiden von Kollisionen mit der Erde durch technische Mittel. Zwei wissenschaftliche Ziele sind es also, die mit Hayabusa2 und dem Landemodul MASCOT verfolgt werden: Zum einen soll mit Ryugu, Vertreter einer besonders „primitiven“, kohlenstoffreichen Klasse von Asteroiden, ein Körper aus der frühesten Zeit des Sonnensystems Informationen zur Planetenentstehung preisgeben. Und zweitens wollen die Wissenschaftler genau wissen, wie so ein Erdbahnkreuzer beschaffen ist.

Köln, am 3. Oktober 2018, halb sechs nachmittags: Für MASCOT begann der dritte Tag auf Ryugu. Der Lander führte jetzt auf Kommando eine kleine Bewegung aus, einen „Mini-Move“, um die Lage der Sensoren zu optimieren. Und weiter ging es mit den Messungen. Um 20.04 Uhr wurde vom Kontrollraum im DLR Köln aus der letzte Sprung von MASCOT ausgelöst. Nüchtern, wie Ingenieure zuweilen sind, kündigten sie die „End of Life“-Phase der Mission an. Und noch immer lief das Messprogramm weiter. Um neun Uhr abends sind in Köln und weitab davon in den Tiefen des Sonnensystems 16 intensive Stunden mit MASCOT verstrichen, die maximale Laufzeit der Batterien. Entgegen den Berechnungen lieferte die Batterie immer noch etwas Strom, bevor der Kontakt zu MASCOT durch den Eintritt eines Funkschattens und die bevorstehende Nacht abbrach. Statt 16 Stunden konnten die Experimente 17 Stunden und sieben Minuten lang arbeiten, mehr als eine wertvolle Stunde länger als geplant.

Der Palast des Drachengottes

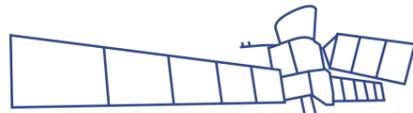
Ryugu ist in der japanischen Mythologie der Unterwasserpalast des Drachengottes. Ein braver Fischer, so sagt die Legende, wurde mit einem Besuch des Prachtbaus belohnt. Er brachte eine Schatzkiste zurück, in der ein Geheimnis verborgen war. So könnten auch die Erkenntnisse von MASCOT zusammen mit den Materialproben, die mit Hayabusa2 vom Asteroiden Ryugu in einer hermetisch versiegelten Landekapsel zur Erde gelangen sollen, zum wissenschaftlich wertvollen Schatz aus der Welt der Asteroiden werden. Die Erforschung von Ryugu aus der Nähe, die Ergänzung dieses Wissens durch das kleine, mobile Landemodul MASCOT und die Analyse der Proben werden die Beobachtungen von Asteroiden dieses Typs revolutionieren. Hayabusa2 könnte somit der Standard werden, an dem sich vor allem zukünftige Teleskopbeobachtungen orientieren können.

Ulrich Köhler ist Planetengeologe am DLR-Institut für Planetenforschung und war dabei, als 1991 beim Vorbeiflug der NASA-Jupitersonde Galileo am Asteroiden (951) Gaspra zum ersten Mal ein Asteroid aus der Nähe fotografiert wurde.

MASCOT – EIN KIND DES DLR

Das DLR-Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen entwickelte federführend zusammen mit CNES in Frankreich den Lander und testete ihn. Das DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in Braunschweig war für die stabile Struktur des Landers zuständig. Das DLR Robotik und Mechatronik Zentrum in Oberpfaffenhofen entwickelte den Schwungarm, der MASCOT auf dem Asteroiden hüpfen ließ. Das DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin steuerte die Kamera MASCAM und das Radiometer MARA bei. Überwacht und betrieben wurde der Asteroidenlander aus dem MASCOT-Kontrollzentrum im Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC) am DLR Köln.

WANDERER MIT EISENHERZ



Planeten: Wanderer, rastlose Gesellen am Himmelszelt – so bezeichneten die alten Griechen die merkwürdigen Wandelsterne, die vor dem fixen Hintergrund der Lichtpunkte des Universums jede Nacht ihre Position ein klein wenig verändern. Wie kein Zweiter verkörpert Merkur, der innerste und kleinste der acht Planeten, dieses Unstete. Nur selten bekommt man ihn in der Morgen- oder Abenddämmerung zu Gesicht. Aber der Merkur hat es auch im wahrsten Sinn des Wortes in sich. Es gibt eine Menge Gründe, diesen sonnennahen Himmelskörper genauer unter die Lupe zu nehmen. Im Herbst 2018 startete die Mission BepiColombo der Europäischen Weltraumorganisation ESA, um den Merkur ab Dezember 2025 aus einer Umlaufbahn zu beobachten. Mit an Bord: zwei DLR-Experimente. Und eine japanische Sonde, die das Magnetfeld des Planeten untersuchen wird. Neben der Finanzierung aus den Budgets der beteiligten Institute fördert das DLR Raumfahrtmanagement die deutschen Beiträge zu BepiColombo mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Mit der Mission BepiColombo machen sich Europa und Japan auf zu einem Sonderling

Von Ulrich Köhler

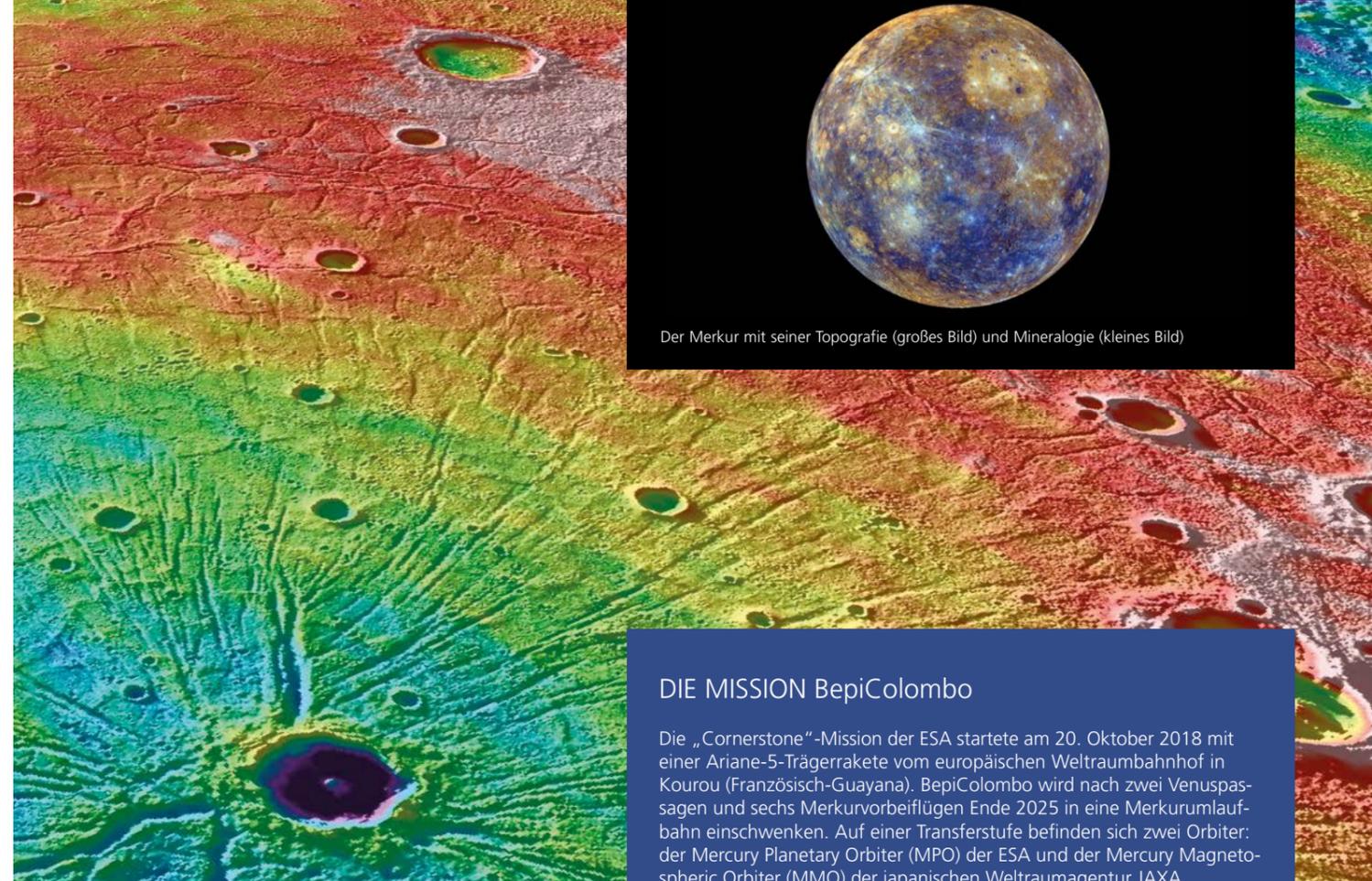
Was ist nur mit dem Merkur passiert? Das fragen sich Planetenforscher seit Jahrzehnten. Denn wie in jeder großen Familie gibt es Mitglieder, die anders sind als die anderen. Das gilt auch für die acht Planeten unseres Sonnensystems. Der Merkur unterscheidet sich deutlich von den vier benachbarten Gesteinskugeln namens Venus, Erde, Mond und Mars. Er ist ein Sonderling. Äußerlich noch nicht einmal so sehr: Sein Antlitz ähnelt auf den ersten Blick dem des Mondes. Wie bei diesem ist die Oberfläche von Tausenden Kratern übersät, die in der Frühzeit des Sonnensystems entstanden sind, als Einschläge von Asteroiden aller Größen quasi an der Tagesordnung waren. Wie beim Erdmond ist diese vernarbte Gesteinskruste Ausdruck dafür, dass der noch nicht einmal 5.000 Kilometer durchmessende planetare Körper schon seit drei, vielleicht vier Milliarden Jahren in seinem Innern keine geologischen Kräfte aufbringt, die zu Veränderungen an der Oberfläche führen. Selbst die stellenweise über Tausende von Quadratkilometern ausgedehnten Flächen erstarrter, dünnflüssiger Lava zeigen zahlreiche Krater – Beweis für deren geologisch hohes Alter von weit über drei Milliarden Jahren.

Was aber macht den Merkur zum Sonderling? Die Astronomen wunderten sich über die merkwürdigen Bahn- und Rotationseigenschaften des Planeten. Sein Weg um die Sonne weicht stärker von einer Kreisbahn ab, als es bei allen anderen Planeten der Fall ist. Am sonnenfernsten Punkt sind es 70 Millionen Kilometer bis zum Sonnenzentrum, auf der gegenüberliegenden Seite der Bahn sind es nur 46 Millionen Kilometer. Für eine vollständige Umrundung des Zentralgestirns benötigt der Merkur 88 Erdtage, um seine eigene Achse dreht sich der Planet jedoch in 59 Erdtagen. Dies führt dazu, dass sich die Länge eines Merkurjahres in einer ungewöhnlichen 3:2-Resonanz mit der Umlaufzeit befindet: Während zweier Merkurjahre dreht sich der Planet dreimal um seine eigene Achse. In den Worten der Astronomen: Merkur befindet sich in einer gebrochen gebundenen Rotation. Warum das so ist, will geklärt werden.

Eine knifflige Angelegenheit

Nur zwei Missionen führten zu dem „Götterboten“, der nah der Sonne so schnell ist. Mit der NASA-Sonde Mariner 10 wurde 1973 zum ersten Mal ein Raumschiff zu einem anderen Himmelskörper als den Nachbarn Mond, Mars oder Venus geschickt. Den Merkur anzusteuern ist wegen der enormen Anziehungskraft der Sonne und der hohen Temperaturen eine knifflige Angelegenheit. Der italienische Mathematiker Giuseppe Colombo (1920–1984) berechnete den idealen „Bremsweg“ für die 1973 gestartete Sonde Mariner 10. Mit der Namensgebung ‚Bepi‘ für die aktuelle ESA-Mission bekommt seine große Leistung eine posthume Würdigung. 1974 und 1975 passierte die Sonde Mariner 10 ihr Ziel dreimal, fotografierte die Hälfte des Planeten und führte grundlegende physikalische Messungen durch; unter anderem wurde dabei das Magnetfeld des Planeten entdeckt. Erst 2011 folgte mit MESSENGER die zweite Merkurmission. Nun war der Merkur zwar vollständig kartiert, doch aufgrund der Bahnmechanik musste sich die NASA-Sonde auf die Nordhalbkugel konzentrieren, der Süden ist lange nicht so gut erforscht: Das soll nun mit BepiColombo nachgeholt werden.

Neben der Frage nach der geologischen Geschichte und Entwicklung des Planeten ist ein Aspekt von besonderem Interesse: Die Drehachse des Merkurs steht auf seiner Bahn um die Sonne nahezu senkrecht. Beide sind Himmelskörper ohne Atmosphäre. Das heißt, die eingestrahelte Sonnenenergie kann auf diesem Weg



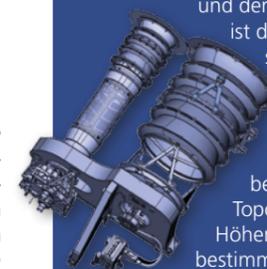
Der Merkur mit seiner Topografie (großes Bild) und Mineralogie (kleines Bild)

DIE MISSION BepiColombo

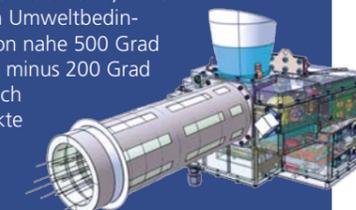
Die „Cornerstone“-Mission der ESA startete am 20. Oktober 2018 mit einer Ariane-5-Trägerrakete vom europäischen Weltraumbahnhof in Kourou (Französisch-Guayana). BepiColombo wird nach zwei Venuspassagen und sechs Merkurvorbeifügen Ende 2025 in eine Merkurumlaufbahn einschwenken. Auf einer Transferstufe befinden sich zwei Orbiter: der Mercury Planetary Orbiter (MPO) der ESA und der Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO) der japanischen Weltraumagentur JAXA.

Der ESA-Orbiter wird den Merkur mit elf Instrumenten untersuchen, darunter BELA (BepiColombo Laser Altimeter) zur Vermessung von Form, Topografie und Rotationseigenschaften des Planeten und MERTIS (Mercury Radiometer and Thermal Infrared Spectrometer) zur Bestimmung von Zusammensetzung, Mineralogie und Temperatur der Planetenoberfläche.

BELA wurde vom DLR-Institut für Planetenforschung gemeinsam mit der Universität Bern, dem Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung und dem Instituto de Astrofísica de Andalucía entwickelt. Es ist das erste Laser-Altimeter auf einer planetaren europäischen Mission. Wegen der in Sonnennähe herrschenden extremen Temperaturen auf der Sonnen- und Nachtseite des Merkurs ist die aufwändige und dennoch wenig Raum und Masse beanspruchende innovative Konstruktion für den Thermalhaushalt ein besonderes Merkmal des Experiments. BELA wird die Topografie der Oberfläche global bis lokal mittels Laser-Höhenmessungen ermitteln, die Oberflächenrauigkeit bestimmen und den Rotationszustand des Planeten genau vermessen.



MERTIS wurde von den DLR-Instituten für Planetenforschung und für Optische Sensorsysteme sowie der Universität Münster entwickelt und gemeinsam mit der deutschen Industrie gebaut. Das Experiment wird eine globale Karte der Mineralogie und die erste Temperaturkarte des Merkurs liefern. Die Sensorik von MERTIS – bei nur 3,3 Kilogramm Masse – wurde für die extremen Umweltbedingungen am Merkur mit Temperaturen von nahe 500 Grad Celsius auf der Sonnenseite und von fast minus 200 Grad Celsius auf der Nachtseite optimiert. Auch MERTIS zeichnet sich durch eine kompakte Bauweise, miniaturisierte Sensorsysteme und einen geringen Leistungsverbrauch von nur 19 Watt aus.

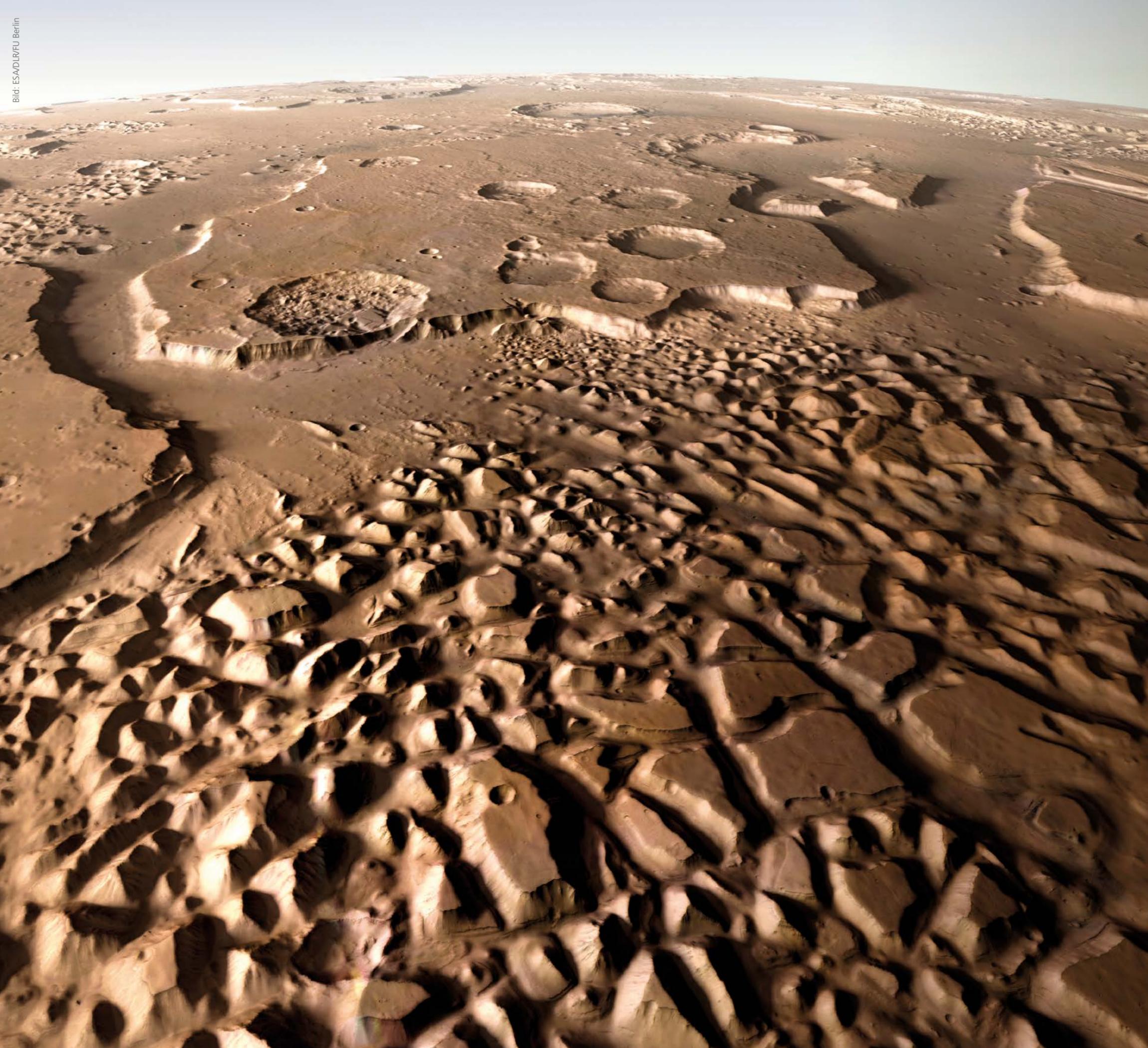


also nicht von einem Ort zum anderen transportiert werden. Und an den Polen beider gibt es tiefe Krater, bei denen nur der Rand von Sonnenlicht beschienen und erwärmt wird, den Kraterboden erreicht nie ein Lichtstrahl, weshalb dort extrem tiefe Temperaturen herrschen. Es dürfte sich dort also gefrorenes Wasser von herabgestürzten Kometen und Asteroiden befinden. Erste Hinweise darauf lieferten Radarbeobachtungen des Merkurs von der Erde aus, MESSENGER bestätigte diesen Befund aus dem Orbit – BepiColombo soll den endgültigen Beweis liefern.

Dünnere Mantel, massiver Kern

Für viele Wissenschaftler die spannendste Frage ist die nach dem inneren Aufbau des Merkurs. Denn er ist ungewöhnlich schwer – im Verhältnis zu den anderen Planeten hat er eine viel zu große Masse. Das schlägt sich in einer durchschnittlichen Dichte von 5.300 Kilogramm pro Kubikmeter nieder, einem Wert, fast so hoch wie jener der Erde. Nur hat der Merkur aber einen viel kleineren Durchmesser, seine Proportionen an Metallen und Gesteinen müssten, bei ähnlichem Aufbau mit Kern, Mantel und Kruste, eine viel geringere Dichte ergeben. Erklärt werden kann die große Masse nur durch einen sehr hohen Metallanteil. Modellrechnungen gehen von etwas mehr als zwei Dritteln einer Eisen-Nickel-Mischung mit unbekanntem Schwefelanteil und nur knapp einem Drittel Gestein aus. Vermutlich ist das Metall in einem überproportional großen Kern konzentriert, der fast zwei Drittel des Volumens des Planeten und mehr als zwei Drittel seiner Gesamtmasse ausmacht. Entsprechend dünn, nämlich nur 600 Kilometer mächtig, ist der silikatische Gesteinsmantel, der den großen Eisenkern umgibt. Warum dies so ist, soll –neben vielen weiteren Fragen – BepiColombo klären.

Bilder: NASA/JHU-APL/CIORW



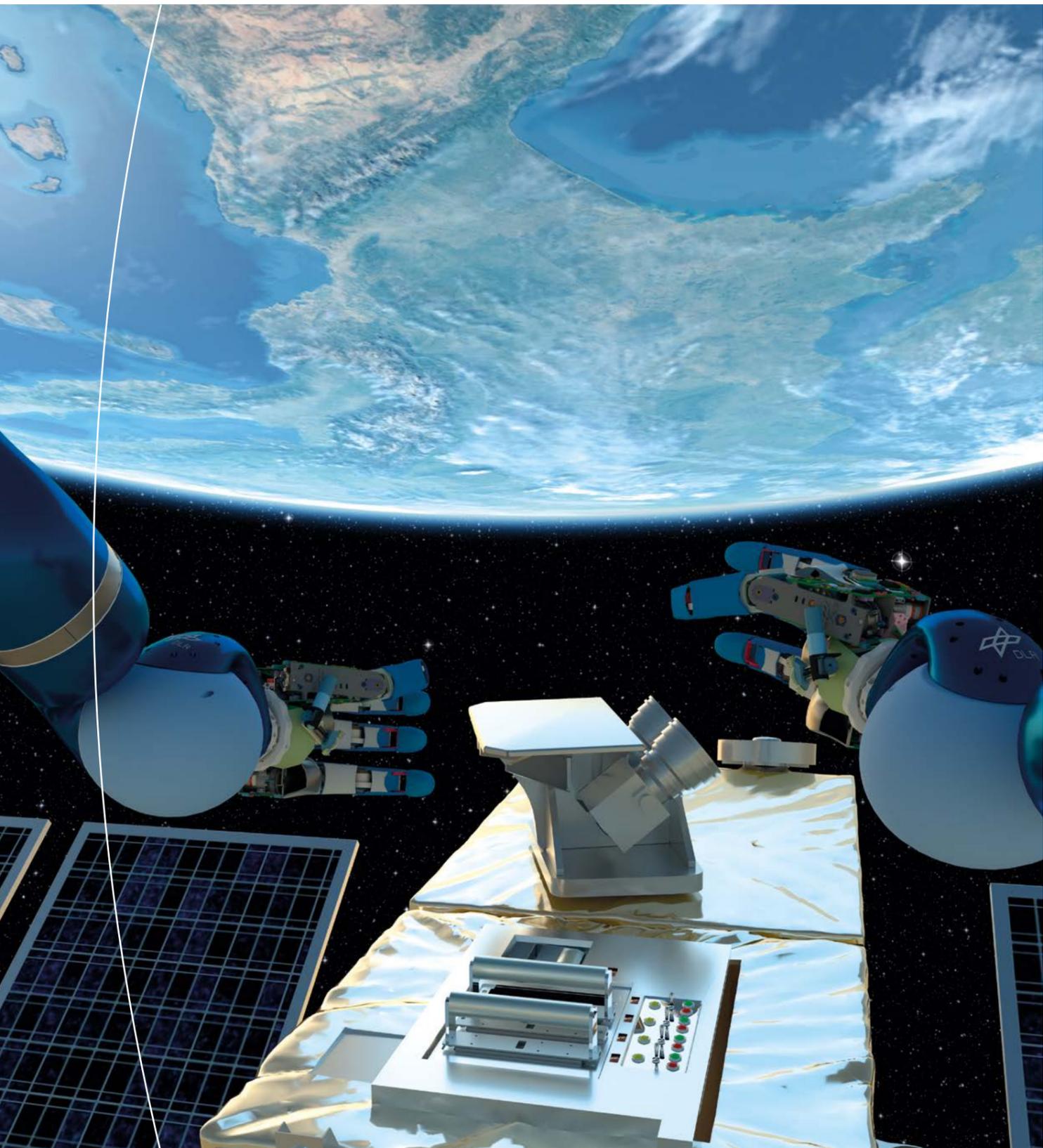
NACH 15 JAHREN: EIN NEUES BILD VOM CHAOS

Der Mars stand sehr günstig, damals, am 2. Juni 2003, als in Baikonur eine Sojusrakete mit der ersten Planetensonde der Europäischen Weltraumorganisation ESA abhob. Wenige Stunden später war die Nutzlast, ein Satellit mit sieben Messgeräten, auf seinem Weg zum äußeren Nachbarn der Erde. Die Mission Mars Express nahm ihren Lauf. Nach 205 Tagen, am Heiligabend, erreichte die Sonde ihr Ziel, die Mars-Umlaufbahn. Bei aller Freude ahnte in dieser Christnacht niemand, dass dies der Auftakt zu einer der längsten und erfolgreichsten Missionen zur Erforschung eines Körpers des Sonnensystems werden sollte. Noch bis mindestens Ende 2020 soll der Orbiter den Roten Planeten umkreisen und weiter erforschen. Vor Kurzem erst überraschten italienische Wissenschaftler die Welt mit dem Befund, dass sich gemäß ihren Messungen mit dem Mars-Express-Radar in anderthalb Kilometer Tiefe unter der Eiskappe des Südpols ein sich über 20 Kilometer erstreckender See befinden könnte. Auch das am DLR entwickelte Kamerasystem HRSC (High Resolution Stereo Camera) liefert seit 15 Jahren viele wertvolle Erkenntnisse zur geologischen Entwicklung und zur Klimageschichte des Mars.

Das erste Bild, das im Januar 2004 der Öffentlichkeit präsentiert wurde, zeigte das Gebiet Hydraotes Chaos, ein Labyrinth von Tafelbergen, das durch die erodierende Kraft abfließender Wassermassen und in sich zusammenstürzender Hohlräume entstanden ist. Seither umkreiste die Sonde den Mars rund 18.500 Mal in unterschiedlichen Höhen. Dadurch wurde die globale Abdeckung mit Bildauflösungen von bis zu zwölf Metern pro Bildpunkt immer besser. – Die hier abgebildete Szene zeigt einen Blick vom Äquator in Richtung Norden, über jene ganz am Anfang aufgenommene markante Landschaft von Hydraotes Chaos mit ihren über 2.000 Meter hohen „Zeugenbergen“ im Vordergrund. Bis zum Horizont erstrecken sich die bis zu 80 Kilometer breiten und über 1.000 Kilometer langen Ausflusstäler Simud Valles (links) und Tiu Valles (rechts).

Die Auswertung der Bilddaten unseres Nachbarplaneten wird die Wissenschaftler auch noch die nächsten 15 Jahre beschäftigen.

Ulrich Köhler



Reparaturen im Weltraum – ganz ohne Weltraumanzug und nur mit Datenbrille.
Wie das möglich werden kann, untersuchen Wissenschaftler im DLR Braunschweig und Oberpfaffenhofen.

ICH SEHE WAS, WAS DU AUCH SIEHST



Unmengen ausgedienter Satelliten, alte Raketenteile und andere Bruchstücke rasen mit hohen Geschwindigkeiten durchs All. Dieser Weltraumschrott ist eine Gefahr für die Raumfahrt, die mit den zunehmenden Weltraumaktivitäten steigt. Geht ein Satellit kaputt, wird er heutzutage üblicherweise nicht repariert. Eine berühmte Ausnahme ist das Hubble-Weltraumteleskop, das erst durch mehrere sehr komplexe bemannte Missionen mit dem Spaceshuttle zu seiner eigentlichen brillanten Sehschärfe gelangte. Doch bemannte Weltraummissionen sind extrem aufwändig und nicht ungefährlich. Gesucht sind also neue Lösungen, die zudem am Ende nicht auch wieder als Weltraumschrott im Orbit verbleiben. Die Vision der DLR-Forscher ist es, in Zukunft beschädigte Satelliten mit Hilfe eines Roboters und einer Datenbrille, der HoloLens®, zu reparieren. Die DLR-Ingenieure zeigen zudem, dass die HoloLens nicht erst bei der Reparatur eingesetzt werden kann, sondern schon jetzt den Satellitendesign und das Training für zukünftige Reparaturmissionen wirkungsvoll unterstützt.

Hologramme für den Weltraumservice und die Industrie 4.0

Von Andreas-Christoph Bernstein und Sebastian Utzig

Fallen Satelliten während ihres Betriebs aus, können der finanzielle und auch der ideale Schaden enorm sein. Übrig bleibt dann nur noch Weltraumschrott, der wiederum weitere Raumfahrtmissionen bedroht. DLR-Wissenschaftler arbeiten deshalb mit Nachdruck daran, defekte Satelliten direkt im Orbit wieder flottzumachen. Die Experten sprechen von On-Orbit Servicing, kurz OOS.

Hohe Risiken und Kosten bemannter OOS-Raumfahrtmissionen schließen diese für wiederkehrende Service-Leistungen aus. Deshalb sollen Roboter defekte Satelliten im Orbit reparieren. Der Service-Roboter arbeitet dabei nicht nur autonom, sondern er kann auch von einem Menschen von der Erde aus gesteuert werden. Hierfür ist er mit einer Stereokamera ausgestattet, deren Videosignal zur Erde übertragen wird. Der Service-Ingenieur betrachtet das Videosignal mit seinem Datenhelm, einem sogenannten Head-Mounted Display. Zusätzlich befindet sich der Service-Ingenieur in einer Eingabestation, einem dem Roboter nachempfundenen Gestell, mit dem die Arme des Service-Roboters im Orbit gesteuert werden. Diese Station vermag auch Kräfte auszugeben. Sobald der Roboter mit einem Satellitenbauteil in Kontakt kommt, werden die Kollisionskräfte zur Erde übermittelt. Der Ingenieur spürt diese und kann entsprechend reagieren. Zudem kann er durch dieses Kraft-Feedback die im All aufgetragenen Kräfte intuitiv steuern. Vervollständigt wird der Teleoperationsarbeitsplatz dadurch, dass die Kopfbewegung des Ingenieurs auf die Kamerabewegung des Service-Roboters übertragen wird.



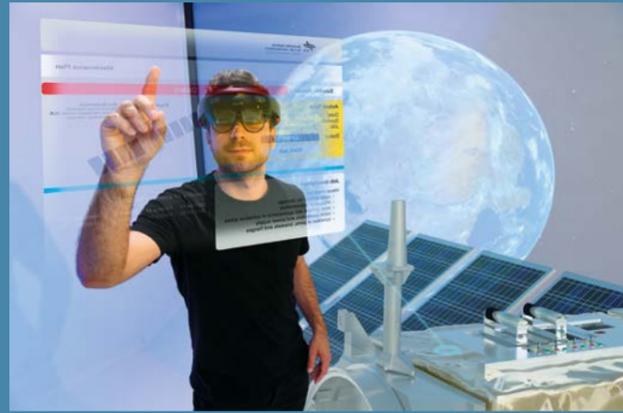
Die Eingabestation macht auch Kräfte spürbar



Ein Service-Roboter wie der humanoide Justin kann die Arm- und Kopfbewegungen des Service-Ingenieurs übernehmen



Darstellung einer Diskussion am virtuellen Satelliten



Über Handgesten kann man Menüeinträge auswählen



Der zugeschaltete Experte (im Bild grün umrandet) ist als Avatar zu sehen



Der Experte zieht mit den Händen eine Barriere auf. Der Roboter weiß: Bis hierher und nicht weiter.



FUNKTIONSWEISE DER HoloLens

Die Microsoft-HoloLens wird wie eine Brille getragen. Anstatt der Brillengläser sind zwei halbtransparente Bildschirme eingebaut, durch die der Träger die reale Umgebung sieht. Zusätzlich lassen sich direkt auf diesen Minibildschirmen virtuelle Objekte anzeigen, die der realen Umgebung überlagert werden. Auf den jeweiligen Brillengläsern wird das virtuelle Objekt mit leicht unterschiedlichen Perspektiven angezeigt. Dadurch ergibt sich der Eindruck, dieses Objekt dreidimensional vor sich zu sehen. So liegt aus Sicht des HoloLens-Trägers beispielsweise ein Satellitenmodell scheinbar im Raum. Alle benötigten Bauteile, wie Sensoren, Kameras und der Computer, sind direkt in die Datenbrille integriert. Es führt kein behinderndes Kabel zu einem anderen Rechner. Derart ausgerüstet erfasst die HoloLens kontinuierlich die Umgebung sowie die Kopfposition und auch die Blickrichtung des Benutzers. Das angezeigte Satellitenmodell wird ständig auf die Bewegung des Nutzers abgestimmt – es schwebt quasi fest verankert im Raum. Sogar Handbewegungen im Sichtfeld der HoloLens werden erkannt und als Gesten interpretiert. Zusätzlich können sich Kolleginnen und Kollegen, ebenfalls mit dem HoloLens-System ausgestattet, aktiv an einer Diskussion beteiligen. Befinden sich alle Personen im gleichen Raum und ist das Satellitenmodell für alle Brillen exakt an derselben Stelle registriert, so sind interaktive Diskussionsrunden wie an einem realen physikalischen Bauteil möglich.

Schon im Satellitenentwurf ist das Double virtuell dabei

Wenn es im Orbit ein Problem gibt, kann auf solides Wissen der Ingenieure am Boden zurückgegriffen werden. Denn sie kennen ihren Satelliten in- und auswendig. Schon in der Entwurfsphase wird ein detailliertes virtuelles Modell erstellt. Computermodelle ermöglichen es, schnell verschiedene Konfigurationen zu diskutieren und anzupassen. Die Anordnung aller Sensoren, Antriebs Elemente und der generelle Aufbau eines Satelliten sind somit genauestens spezifiziert. Die HoloLens bietet ganz neue Möglichkeiten, den Entwurf zu planen. Durch die dreidimensionale Visualisierung des Satellitenmodells können Experten direkt an ihrem Arbeitsplatz die Lage und die Montagepfade von Bauteilen bewerten. Um auch in das Innere des Satelliten zu blicken, werden sichbehindernde Bauteile einfach ausgeblendet. Ein realistisches räumliches Verständnis für den Aufbau des Satelliten entsteht dadurch, dass das Modell in Originalgröße dargestellt wird und man sich beliebig um dieses herum bewegen kann.

Sehen, was der Kollege sieht: neue Art der Zusammenarbeit

Da die HoloLens zudem Handgesten erkennt, ist eine natürliche Interaktion mit dem virtuellen Satellitenmodell ohne Maus und Tastatur möglich. So kann ein Ingenieur eine Komponente aus dem virtuellen Satelliten herausnehmen, genauer anschauen, modifizieren und anschließend wieder einsetzen. Diese Methoden ermöglichen es, schneller verschiedene Entwürfe zu testen und Designentscheidungen zu treffen. Äußerst hilfreich ist außerdem, dass mehrere HoloLens-Nutzer gemeinsam das Satellitenmodell anschauen, verändern und dabei diskutieren können. Da durch die HoloLens immer auch die Umgebung wahrgenommen wird, können sich die Ingenieure gegenseitig sehen. Somit ist erkennbar, auf welche Bauteile der Arbeitskollege zeigt oder blickt. Diese Möglichkeiten der Zusammenarbeit sind im Vergleich zum traditionellen PC-Arbeitsplatz sehr vorteilhaft. Selbst Techniken der virtuellen Realität (VR) können solch intuitive Arbeitsumgebungen nur schwer abbilden.

Jede Reparatur durchläuft einen Planungsprozess

Kommt es nun bei einer Satellitenmission zu einem Schadensfall, kann das vorhandene virtuelle Entwurfsmodell verwendet werden, um die Arbeitsschritte einer Reparatur zu planen. Hierfür werden zusätzlich virtuelle Modelle des Service-Roboters und der zur Verfügung stehenden Werkzeuge benötigt. Ohne diese ist die Durchführung der Reparatur nicht zu überprüfen. Zur Analyse gehört auch, dass die wichtigsten Satellitenkomponenten gut erreichbar sind und dass der Roboter defekte Bauteile greifen und entfernen kann, ohne andere Bauteile zu beschädigen.

Ist das alles gewährleistet, kann die Reihenfolge der notwendigen Reparaturschritte endgültig festgelegt und in Form einer Reparaturanleitung notiert werden. Dies passiert direkt am virtuellen Satelliten, indem virtuelle Notizen als Informationsfenster mit Text- und Bildmaterial angeheftet werden. Die bei jedem Reparaturschritt involvierten Komponenten, Schrauben und Steckverbindungen werden visuell hervorgehoben. Durchzuführende Operationen werden als Animationen eingeblendet. Und zu guter Letzt lassen sich über das in der HoloLens verbaute Mikrofon auch Kommentare aufnehmen und abspeichern.

Diese audio-visuelle Reparaturanleitung ist die Grundlage für das Training der Reparaturmission. Der Service-Ingenieur befindet sich an seinem Teleoperationsarbeitsplatz, wo er den virtuellen Roboter durch das zweiarmlige Eingabegerät fernsteuern kann. Auf dem Kopf trägt er die Datenbrille, die ihm die virtuelle Szene aus Sicht des ange-dockten Service-Roboters präsentiert. Nun kann der Ingenieur die Schritte der Reparaturanleitung abarbeiten und die Reparatur einüben. Ein Trainer begutachtet parallel die Durchführung mit einer HoloLens, durch die er den realen Service-Ingenieur und davor das virtuelle Satellitenmodell sieht. Er ist – anders als der ausführende Ingenieur – nicht an einer Stelle des Satelliten angedockt, sondern kann sich frei um den Satelliten bewegen, die Umsetzung aus allen Blickwinkeln kontrollieren und auf Probleme hinweisen.

Kombination mit einem Avatar

Jede tatsächliche Bewegung des Service-Roboters lässt sich exakt protokollieren und auf die Bewegung eines virtuellen Robotermodells übertragen. Somit könnten weltweit verteilt sitzende Experten die Service-Missionen im Weltraum live begleiten und bei Bedarf der Reparatur beitreten. Zentral sind auch hier wieder die Möglichkeiten der HoloLens: Am Arbeitsplatz des Experten werden das virtuelle Satellitenmodell sowie der angedockte virtuelle Service-Roboter eingeblendet. Dabei sind die Bewegungsabläufe des Roboters in Echtzeit nachvollziehbar. Während der Experte sich frei um das Modell bewegt, erhält er auch Sicht auf Teile des Satelliten, die dem Service-Ingenieur verborgen sind. So kann er ihn auf Probleme hinweisen und das weitere Vorgehen mit ihm diskutieren. In Erweiterung dieses Verfahrens ließe sich der Trainer als Avatar in das Sichtfeld des Reparateurs einblenden. Das könnte auch bei der tatsächlichen Ausführung der Reparaturmission Anwendung finden. In diesem Fall würde das 3D-Video bild des Roboters mit dem virtuellen Avatar kombiniert.

Neben der Einblendung von (gleichzeitig mehreren) Avataren ist es natürlich auch möglich, Notizen in das 3D-Video bild einzubinden. Dazu gehört zuallererst die im Vorfeld ausgearbeitete audio-visuelle

Reparaturanleitung. Ebenso können die zu reparierenden Komponenten am realen Satelliten räumlich exakt hervorgehoben werden. Aber auch Ad-hoc-Erkenntnisse von Experten lassen sich durch virtuelle Notizen visualisieren. Ein Beispiel ist die Situation, in der ein Experte verhindern möchte, dass die Roboterarme Teile des Satelliten beschädigen, die nicht im Sichtfeld des Roboters liegen. Dann kann der Experte die Bewegung des Roboters einschränken. Dazu würde er mit seinen Händen virtuelle Barrieren am Satellitenmodell platzieren. Bei virtueller Berührung durch den Service-Ingenieur beziehungsweise den Service-Roboter würde eine Kraft auf das Eingabegerät gegeben, sodass die Roboterarme letztendlich diese Barriere, die auch angezeigt werden kann, nicht durchdringen. Falls nötig, können die Bewegungsmöglichkeiten noch weiter eingeschränkt werden, bis sich beispielsweise einer der Arme nur noch in einer Ebene bewegen lässt oder dieser entlang eines Pfades geführt wird.

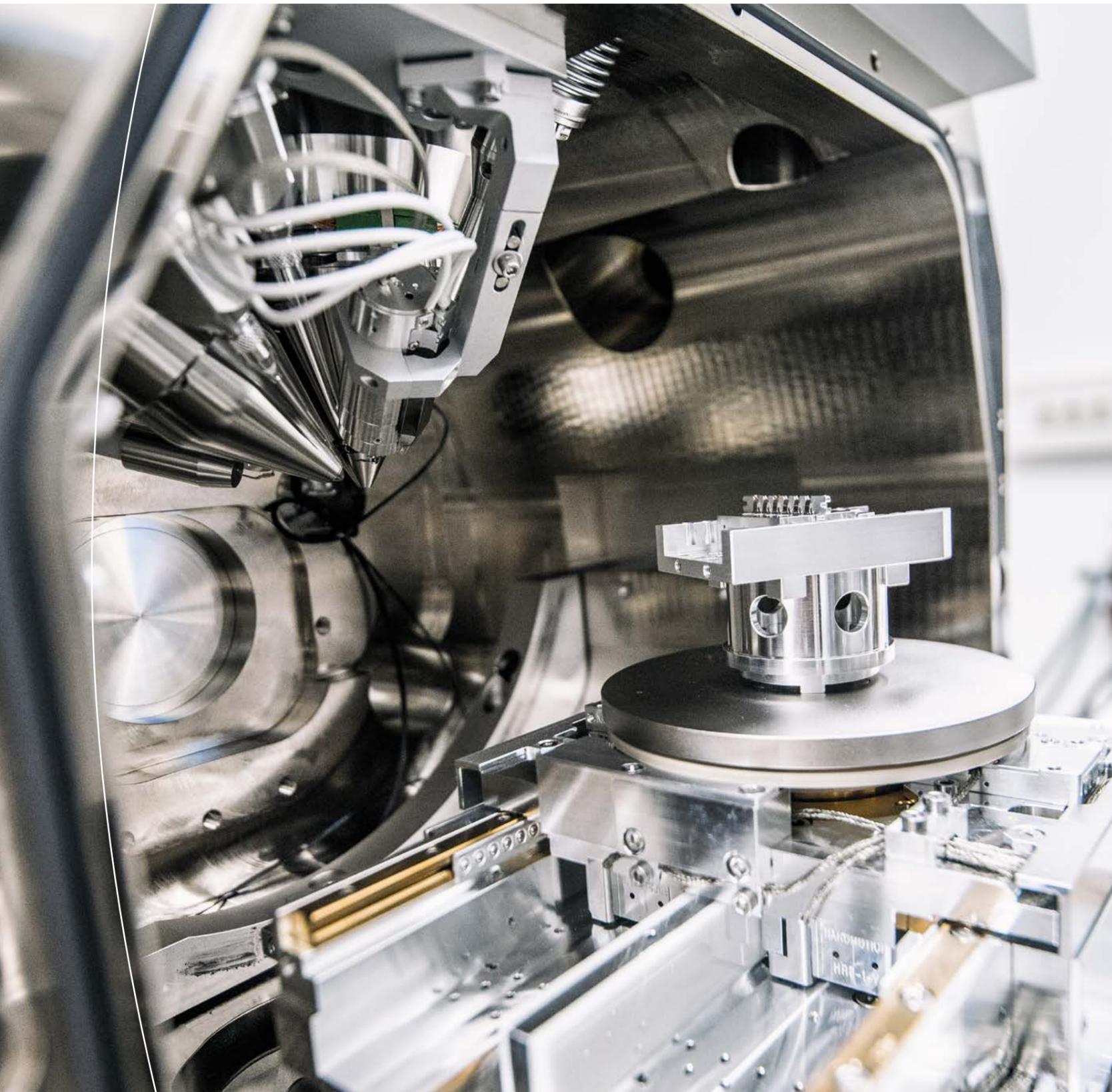
Blick in die Zukunft von Space 4.0

Die beschriebene Reparaturmission ist nur eines von vielen Szenarien, in denen die HoloLens genutzt werden kann. Als innovatives Werkzeug eröffnet diese Technik neue faszinierende Möglichkeiten für Entwurf, Training und Missionsdurchführung in allen ingenieurorientierten Forschungsaktivitäten des DLR und darüber hinaus. Im Zentrum der beschriebenen Anwendung für das On-Orbit Servicing steht das dreidimensionale Satellitenmodell, die Basis zum digitalen Bauteil-Zwilling für die Raumfahrt. Von besonderem Wert sind die neuen Kooperationsmöglichkeiten in Teams. Indem die reale Umgebung sichtbar wird, sowohl auf der Erde als auch im Weltraum, verschwimmen Realität und Virtualität. Dies führt zu einer hohen Akzeptanz beim Einsatz in zukunftsorientierten Projekten für die Industrie 4.0, Space 4.0 und die weitere Digitalisierung beispielsweise auch in der Luftfahrt oder für zunehmende Fahrzeugintelligenz.

Andreas-Christoph Bernstein arbeitet in der DLR-Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik in der Arbeitsgruppe interaktive Visualisierung. Er erforscht Verfahren zur fotorealistischen Darstellung von Objekten in virtuellen Arbeitsumgebungen.

Sebastian Utzig entwickelt und erforscht in der gleichen Arbeitsgruppe neue Interaktionsmethoden für Mixed-Reality-Anwendungen mit der HoloLens.

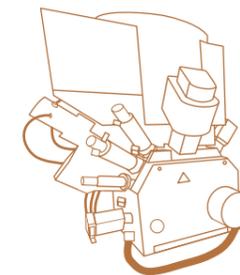
Die in diesem Artikel beschriebenen Arbeiten sind Teil des gemeinsamen DLR-Forschungsvorhabens VR-OOS der DLR-Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik und des DLR-Instituts für Robotik und Mechatronik (RM). Die Autoren bedanken sich bei Maximilian Denninger (RM) für die Bereitstellung des virtuellen Modells des Roboters Justin.



Blick in das Focused-Ion-Beam-Mikroskop, in dem ein Ionenstrahl wahre Wunder vollbringt

OPERIEREN MIT DEM NANO-MULTITOOL

Materialproben, tausendmal dünner als ein Haar, schneiden oder mikrometergenau an einem speziellen Objektträger befestigen, das können Forscher mit dem Focused-Ion-Beam-Mikroskop. Die Magazin-Serie Grobanlagen zeigt diesmal ein Gerät, ohne das die stärksten Elektronenmikroskope ihre volle Leistung nicht bringen könnten, und das deshalb eine wichtige Rolle in der Material- und Werkstoffforschung spielt.



Für die winzigsten Proben brauchen Werkstoffforscher außergewöhnliche Werkzeuge und handwerkliches Geschick

Von Florian Kammermeier

Diese Forschungsanlage könnte Gegenstand eines alten Rätsels sein: „Ich kann schneiden, habe aber keine Klinge. Ich kann feilen, habe aber keine Zacken. Ich kann Schichten abtragen und bin doch keine Schaufel. Was bin ich?“ Das Focused-Ion-Beam-Mikroskop, kurz FIB, ist eine Art Multitool für den Mikro- oder Nanomaßstab. Sein Herz ist – wie der Name sagt – ein Ionenstrahl. Seine Funktionsweise ähnelt einem Rasterelektronenmikroskop, statt Elektronen werden aber Gallium-Ionen verwendet. Diese sind zigfach schwerer als Elektronen. Energetisch wirkt ein Elektron, das auf eine Oberfläche prallt, ähnlich wie ein Sandkorn, das auf eine Wand geworfen wird – das Gallium-Ion ist im Vergleich dazu eine Bowlingkugel. Schießt man genügend Ionen auf eine Oberfläche, kann man sie im Mikro- und Nanometer-Bereich bearbeiten, ähnlich wie mit einem Sandstrahler. Fokussiert der Operator, der das Gerät bedient, den Strahl länger auf einen Ort, so kann er damit auch Scheiben aus Proben herausschneiden und diese dann Schicht für Schicht ausdünnen, Querschnitte vom Material anfertigen und untersuchen sowie diese zu dreidimensionalen Modellen, sogenannten Tomogrammen, zusammenfügen.

Mikrostrukturen kennen, um die Eigenschaften zu verstehen

Die dünnen Scheiben – von den Wissenschaftlern auch Lamellen genannt – sind die Grundlage für genaue Material-Untersuchungen im Transmissionselektronenmikroskop (TEM). Mit der Kombination aus den dünnen Lamellen des FIB und den starken Vergrößerungen des TEM erreichen die Wissenschaftler aktuell die höchsten Auflösungen weltweit. FIB und TEM nehmen in der Forschung daher eine wichtige Rolle ein: Werkstoffforscher erkunden damit die Zusammenhänge zwischen

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Elektronenmikroskopen: Das Rasterelektronen- und das Transmissionselektronenmikroskop (REM und TEM). Vereinfacht gesagt durchleuchtet das TEM wie ein Röntgengerät ein sehr dünnes Objekt; die Elektronen, die durchkommen, erzeugen ein Bild. Oder die Elektronen prallen bei dickeren Proben auf die Oberfläche und regen diese dazu an, selbst Elektronen zurückzuwerfen, wie es bei einem REM der Fall ist. Diese werden aufgefangen und genutzt, um die Oberfläche zu visualisieren. Letztgenanntes Verfahren kann auch mit den schweren Gallium-Ionen durchgeführt werden. Der Preis dafür ist allerdings, dass diese die Oberfläche leicht verändern.

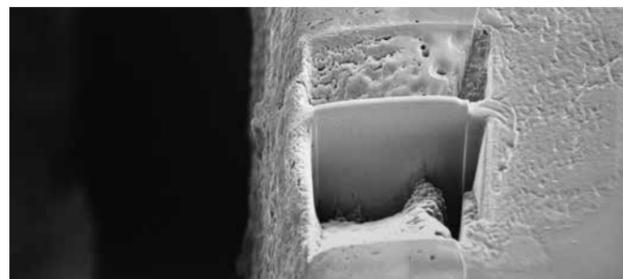
den Mikrostrukturen des Werkstoffs und seinen Eigenschaften beispielsweise in Legierungen und Halbleitermaterialien. Biologen können nur mit diesen hohen Auflösungen bestimmte Viren, Proteine und Zellorganellen, die Bestandteile der Zellen, abbilden und untersuchen.

Mikroskopisch arbeiten kann das Ionenstrahlmikroskop auch allein, allerdings mit geringerer Auflösung als das TEM. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten: In den meisten FIB-Mikroskopen sind neben dem Ionenstrahl auch Elektronensäulen verbaut, wodurch gleichzeitig das Material bearbeitet und beobachtet werden kann. Die Gallium-Ionen können aber auch analog zu Elektronen zur Visualisierung einer Oberfläche verwendet werden.

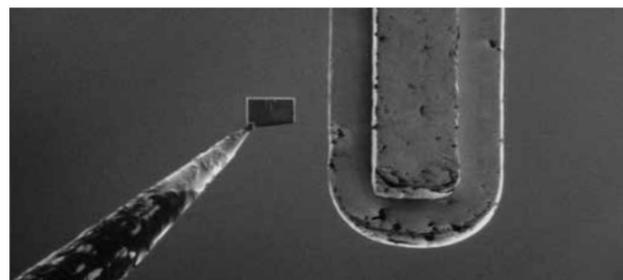
Die Ionen stammen aus einer Flüssig-Gallium-Quelle. Über elektrostatische Felder werden sie beschleunigt und fokussiert. Ihren Weg bis zur Probe legen die Ionen im Hochvakuum zurück. Die Kammer, in der gearbeitet wird, enthält eine Milliarde Mal weniger Atome als ein gleich großer Raum im Labor, die Säule teilweise sogar zehn Billionen Mal weniger. – Würde Alexander Gerst auf der Außenhaut der Internationalen Raumstation Sauerstoffatome jagen, würde er leichter fündig werden.

Lamellen für das TEM zu schneiden ist eine Aufgabe, die von Gerät und Operator gleichermaßen Präzision erfordert. „Es ist eigentlich eine Routine-Arbeit, bei der man aber dennoch jeden Schritt genau und konzentriert machen muss“, sagt Frederic Kreps, der Operator des FIB-Mikroskops im Institut für Werkstoff-Forschung im DLR Köln. „Überspringt man einen Schritt oder macht man etwas nicht ganz genau, muss die Arbeit von Stunden noch einmal gemacht werden.“

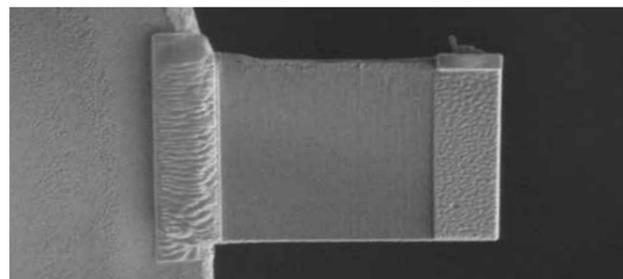
Die maximale Probendicke für eine TEM-Analyse beträgt 200 Nanometer, also 0,0002 Millimeter. Um Proben derart dünn zu bekommen, präpariert man Lamellen mit dem Ionenstrahl. Eine Lamelle zu erzeugen beginnt damit, aus einer großen Probe eine „Scheibe“ vorsichtig rauszuschneiden, deren Maße etwa 0,005 mal 0,01 mal 0,0001 Millimeter sind. Löst man diese Lamelle zu schnell, können elektrostatische Effekte sie in die Vakuumkammer schleudern. Der Operator trennt deshalb alle ihre Verbindungen zur Probe, bis auf eine, und führt dann eine winzige, feine Nadel heran. Durch das Elektronenmikroskop sieht sie aus wie ein übergroßes Insektenbein, in der Realität ist sie zehn Mal dünner als ein durchschnittliches Menschenhaar, an der Spitze sind es etwa fünf Mikrometer. Diese berührt die Lamelle und wird mit Platin daran befestigt. Das Platin wird in einer gasförmigen Verbindung über die Stelle geleitet und dann mit Ionen bestrahlt. Prallt eines der Ionen



Eine dünne Scheibe, die Lamelle, wird aus einer Probe geschnitten. An der Unterseite der Lamelle sieht man Material, das beim Ausschneiden zurückgeblieben ist. Es besteht aus anderen – isolierenden – Elementen, die den Ionenstrahl abgelenkt haben.



Mit einer Nadel führt der Operator die Lamelle zum Mikro-Objektträger. An ihm wird sie mit Platin befestigt und anschließend für die Untersuchung im Transmissionselektronenmikroskop vorbereitet.



Sobald die Lamelle am Objektträger befestigt ist, beginnt der Operator damit, sie auszudünnen. Zu diesem Zeitpunkt ist sie bereits so klein, dass das menschliche Auge sie nicht mehr wahrnehmen kann.

DAS FOCUSED-ION-BEAM-MIKROSKOP

Name	Dual-Beam Typ FEI Helios 600i
Kosten	etwa eine Million Euro
Auflösung der Tomahawk-Ionensäule	2,5 Nanometer bei 30 kV
Auflösung des integrierten Rasterelektronenmikroskops	0,9 Nanometer bei 1 keV
	Gas-Injektionssysteme (GIS) können Platin, Wolfram und Kohlenstoff in Verbindungen einführen

auf ein Molekül der Platinverbindung, löst sich diese auf; das Platin bleibt an der Oberfläche darunter haften. Danach wird die letzte Verbindung zwischen Probe und Lamelle gekappt. Die Lamelle ist zu diesem Zeitpunkt bereits so klein, dass Menschen sie mit bloßem Auge nicht mehr sehen können. Dann befestigt der Operator die Lamelle an dem 40 Mikrometer kleinen Ausläufer des Grids, einer Art Objektträger für das TEM. Anschließend dünnt er sie Schicht um Schicht aus.

Basis für dreidimensionale Darstellungen

Neben dem Schneiden von Lamellen kann man mit dem FIB-Mikroskop auch dreidimensionale Modelle von Proben erstellen. Mit dem Ionenstrahl ist es möglich, Proben wie einen Laib Brot in Scheiben zu schneiden, und jeder Querschnitt lässt sich dann mit dem eingebauten Elektronenmikroskop betrachten. Mit Hilfe einer Software werden diese Bilder anschließend zu einem 3D-Modell des untersuchten Werkstoffs zusammengerechnet.

Obwohl das FIB-Mikroskop ein Hightech-Gerät ist, hat die Arbeit damit auch Handwerks-Charakter. Der Operator muss Erfahrung haben, es gibt Feinheiten zu beachten und so manchen Trick zu beherrschen. Da ist zum Beispiel das abgetragene Material: Wie beim Abrieb einer Feile verschwindet es nicht einfach, sondern bleibt liegen – im FIB-Mikroskop setzt es sich sogar wieder fest. „Wenn man das nicht beachtet, kann es sein, dass man eine Probe auf der einen Seite ausdünnen, sich das Material an einer anderen Stelle wieder sammelt und die Probe kaum dünner wird. Wie bei einem Bauarbeiter, der einen Graben aushebt, die Erde hinter sich wirft und damit alles wieder zuschüttet“, beschreibt Frederic Kreps das Prinzip. Gerade weil die Arbeit auch etwas von Handwerk hat, gibt es eben auch keine hundertprozentige Gewissheit, dass immer alles auf Anhieb klappt. „Bei schwierigerem Material kann es sein, dass man mehrere Versuche braucht“, sagt Kreps. Ein Risiko für die Materialproben ist das nicht: Weil die Lamellen so klein sind, könnten Tausende aus einer Probe geschnitten werden. Selbst, wenn sie nur einen Millimeter groß ist.



Operator Frederic Kreps vor dem FIB, wie es im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung kurz genannt wird

VIEL ERFAHRUNG UND BAUCHGEFÜHL

Ein Vormittag am FIB-Mikroskop mit heiklem Material

Es ist einer jener heißen Sommertage dieses Jahres. Es sind über 33 Grad Celsius. Kaum jemand bewegt sich draußen außerhalb eines klimatisierten Autos, vereinzelt eilen Mitarbeiter des DLR in Köln von einem Baum-Schatten zum nächsten. Im Labor des Instituts für Werkstoff-Forschung, in dem das Mikroskop mit dem Focused Ion Beam (FIB) steht, wird es jedoch im T-Shirt frisch. Frederic Kreps sitzt vor dem Mikroskop-Rechner, mit dem er das Gerät steuert. Für die Untersuchung mit dem Transmissionselektronenmikroskop, die eine Kollegin plant, will er eine Lamelle aus einer Probe schneiden.

„Das Material ist heikel“, sagt Frederic Kreps. In der Vakuumkammer des Mikroskops liegt die Probe einer Wärmedämmschicht, die elektrisch isolierend ist. „Je länger ich das Material mit geladenen Teilchen beschleibe, desto stärker lädt es sich auf. Leitfähige Proben geben ihre Ladung an die Plattform ab, auf der sie befestigt sind. Isolierende Proben behalten sie.“ Die Folge: Die geladene Probe baut ein eigenes elektrostatisches Feld auf und kann dadurch den Ionenstrahl ablenken. „Beachtet man das nicht, kann man minutenlang mit dem Ionenstrahl auf eine Stelle schießen und nichts passiert“, erklärt Frederic Kreps.

Kreps legt eine kleine Lamelle in der Probe frei. Er positioniert die Nadel an der Lamelle und beginnt, sie mit Platin zu befestigen. Es klackt und zischt leise, als die Gas-Injektionssysteme sich der Lamelle nähern und die Platinverbindung freisetzen. Alle 30 Sekunden aktualisiert sich das Bild am Computer – über mehrere Minuten beobachtet Kreps, wie die Platinschicht dicker wird. Dann trennt er die letzte Verbindung der Lamelle zur Probe. Im nächsten Schritt befestigt er die Lamelle am Mikro-Objektträger. Immer im Auge haben muss er dabei die Spannung in der Probe. Bricht die Lamelle aus irgendeinem Grund aus den Platinbefestigungen aus, ist sie verloren. „Dann schleudert die elektrostatische Aufladung die Lamelle in die Vakuumkammer“, sagt Kreps.

Sobald die Lamelle am Grid befestigt ist und die Nadel zurückgezogen wurde, dünnt der Operator sie aus. Schicht um Schicht trägt er Material ab. Wieder ist die Spannung in der Probe entscheidend: „Manchmal dehnen sich verschiedene Schichten unterschiedlich stark aus. Nimmt man diese Stück für Stück weg, kann die Lamelle sich verbiegen. Dadurch würde sie unbrauchbar werden“, sagt Kreps. Genau vorherzusagen könne man aber nicht, wann so etwas passiert. Im letzten Arbeitsgang poliert er die Lamelle. Mit einem feinen Ionenstrahl entfernt er die Spuren, die der stärkere Strahl hinterlassen hat. Wie ein Handwerker, der sein fertiges Werk noch einmal säubert und poliert, bevor er es dem Auftraggeber präsentiert. Nur eben viel, viel kleiner ...

EIN PALAST FÜR PFERDESTÄRKEN

Zeitreise im Verkehrsmuseum Dresden

Von Cordula Tegen

Die Hillman-Story. Sie könnte der Stoff für einen Film sein, ein Roadmovie vielleicht. Hillman ist Engländer und verirrt sich in den Sechzigerjahren in die DDR. Sein edles Antlitz fällt auf im Straßenbild. Hillmans Zweitname ist Minx, sein Herz ein Viertakt-Motor. Im Herbst 1960 wird dieses ganz besondere Fahrzeug an einen thüringischen Arzt ausgeliefert. Ärzte gehören zu den Berufsgruppen, die man unbedingt halten will im Osten Deutschlands. Da gibt es schon mal das eine oder andere Privileg. In dem Fall eine im englischen Coventry gebaute Limousine, 1.500 Kubikzentimeter Hubraum, 55 Pferdestärken, immerhin.

23 Jahre lang trägt der Hillman seinen Besitzer durch Thüringen, dann und wann wohl auch mal bis zur Ostsee oder ins befreundete Nachbarland, die Tschechoslowakische Sozialistische Republik, kurz CSSR. Viel weiter kommt er nicht. Als der Arzt stirbt, trennt sich seine Witwe von dem in die Jahre gekommenen Auto. Der Fahrer, der es 1989 erwirbt, macht damit einen Ausflug nach Tschechien. Doch sein eigentliches Ziel liegt weiter im Westen: Er passiert die Grenze zur BRD. Sein „Fluchtauto“ begleitet ihn dann nicht weiter. Der inzwischen schon zum Oldtimer gereifte Wagen gelangt nach Ahlen zu einem westfälischen Autoliebhaber. Dieser schließlich bietet das seltene Stück Thomas Giesel an. Giesel ist Kurator im Verkehrsmuseum Dresden. Er horcht auf und sorgt schließlich dafür, dass das historische Fahrzeug mit der spannenden Autografie per Trailer von Ahlen nach Dresden gelangt.

Die technische Ausstattung des Wagens entspricht dem Standard der Dreißiger- bis Fünfzigerjahre. Doch für den endgültigen Ruhezustand ist es noch zu früh. Dresdner Handwerksfirmen nehmen sich seiner an, suchen mit detektivischem Spürsinn nach Ersatzteilen und restaurieren ihn. 2014 wird der zu einem Prachtstück hergerichtete Wagen mit seinen roten Ledersitzen, mit Lenkradschaltung und der Handbremse auf der linken Seite neu zugelassen. Und: Er startet zu einem seiner letzten großen Abenteuer: der Sachsen-Classic – der Hillman Minx nimmt an der dreitägigen Oldtimer-Rallye teil ...

Und es soll nicht die einzige Rallye bleiben. Übers Jahr lässt sich der feinpolierte Hillman in der Dauer- ausstellung bewundern. Im Spätsommer zeigt er, dass er mehr kann als stehen. Für einen Platz im Mittelfeld ist er noch immer gut genug. Vom 23. bis zum 25. August 2018 führte der Rundkurs der Sachsen-Classic von Zwickau ins tschechische Karlsbad und zurück. Grenzüberschreitungen scheinen noch immer Hillmans Ding zu sein. Danach kehrte er wieder auf sein Podest im Verkehrsmuseum zurück. So majestätisch, wie er da steht, möchte man sich fast vor ihm verbeugen. Und einen Film über seine abenteuerliche Geschichte sehen.

Der Mann, der auf die Spur dieser Story führt, weiß von zig solcher Geschichten. Benjamin Otto ist Bereichsleiter Ausstellungen im Verkehrsmuseum Dresden. Er weist auf das aus Kanada stammende Automobil Baker Electric hin. Es fällt zunächst durch seine edle dunkelblaue Lackierung, goldfarbene Scheinwerfer und ebensolche Zierleisten auf. Richtig interessant macht es die Tatsache, dass das 1910 gebaute Auto elektrisch fuhr. Es war leichter zu bedienen als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, die zum Start angekurbelt werden mussten. Das und sein abgasfreies und geräuscharmes Fahren machten das Automobil sehr beliebt. In einer Zeit, in der – hört, hört – fast ein Drittel aller Autos elektrisch fuhr.

Allein mit Muskelkraft indessen war einst das Hochrad in Bewegung zu bringen. Wer das Zweirad aus dem ausgehenden 19. Jahrhundert ausprobiert (das ist im Museum ausdrücklich erlaubt), kommt sich ziemlich ungenügend vor und versteht, warum sich diese Fahrradvariante nicht durchsetzte. Benjamin Otto weiß dann auch zu berichten: „Es kam wohl zu dem einen oder anderen Arm- oder Beinbruch. Das Rad blieb eine Episode.“

VOM MARSTALL ZUM ERLEBNISRAUM DER MOBILEN WELT VON HEUTE

Am Anfang war das Pferd. Wer nicht zu Fuß gehen wollte, reiste hoch zu Ross. Auf besonders hohem Ross saßen die sächsischen Herzöge. Doch ihrem Schloss in Dresden mangelte es an einem repräsentativen Stall für die Leib-Pferde. Und so erging 1586 der Befehl zum Bau des Marstalls. Es folgte eine Rüstkammer, bald auch eine Kunstsammlung, die mit der Zeit immer stärker musealen Charakter annahm. Der Bau wurde das erste Museumsgebäude Dresdens (von heute mehr als fünfzig -I- Museen der Stadt). 1876 dann erhielten die Stallhallen zu Ehren des kunstsinnigen Königs Johann die Bezeichnung Johanneum. Den Namen trägt das Bauwerk bis heute. Bekannt ist es aber als Verkehrsmuseum. Denn im 19. Jahrhundert wurden die Sammlungen immer technischer – die Bahn trat auf den Plan.

In der jungen DDR zogen neue Pferdestärken ein: Der Eisenbahn folgten Automobile und Zweiräder, bald auch Exponate aus Luft- und Schifffahrt. Das Land brauchte Ingenieure, das Haus bekam einen Bildungsauftrag, das DDR-Ministerium für Verkehrswesen wurde Träger des Hauses. Nach der Auflösung des Ministeriums machten die Dresdner mit Fahrzeugschauen und einer Unterschriftensammlung auf die inzwischen stattliche Sammlung aufmerksam. 2008 wurde das Johanneum saniert. Heute zählt das Verkehrsmuseum Dresden mehr als 200.000 Besucher jährlich. Ihnen bietet sich ein prächtiges Haus mit einem Sammlungsbestand von 413.500 Exponaten und mehr als 30 Sammlungen. Zudem gibt es eine Vielzahl von museumspädagogischen Angeboten: Führungen (700 im Jahr 2016), Ausrichtung von Kindergeburtstagen, Bobby-Car-Führerscheine, Workshops ...



Die Hillman-Story in der Zeitschrift Oldtimermarkt (2/2016)

Schön wie 1960: der Hillman Minx aus Coventry, England



Einen Raum weiter, in der Bahnhofhalle, kommt man sich dann ziemlich klein vor, wenn man vor der Dampflokomotive Muldenthal steht. Sie stammt aus dem Jahr 1861 und ist damit die älteste komplett erhaltene deutsche Dampflokomotive. Sie war das erste Großexponat des nach dem Zweiten Weltkrieg neugegründeten Verkehrsmuseums. Und überhaupt, die Eisenbahn: Mit ihr begann quasi die Nachkriegsgeschichte des Museums. Die Reste des Sächsischen Eisenbahnmuseums bildeten den Grundstock des Verkehrsmuseums, das am 1. Mai 1952 gegründet wurde. Vier Jahre später eröffnet die erste Ausstellung „120 Jahre sächsische Verkehrsgeschichte“ im Johanneum, das 1945 durch die Luftangriffe auf Dresden schwer beschädigt worden war. Sieben Jahre später folgte die Schifffahrtsausstellung.

Heute gibt es fast nichts, was es nicht gibt in diesem Museum: Reitwagen und Flügelluftschiff, Pferdestraßenbahn und Küstenrettungsboot, Schwebbahn und erste Eindecker, Schienenzeppelin und Lilienthal-Gleitflieger, ein Strahltriebwerk und ein Aluminiumflugzeug. Und natürlich darf in einer Sammlung in Sachsen „Der letzte Versuch“ nicht fehlen. Während der ausgestellte himmelblaue Trabant (Baujahr 1971) in seiner ersatzteilgespickten Garagenszenerie noch einen Zweitakt-Motor hat, wurde in den Achtzigerjahren versucht Viertakt-VW-Motoren in Ost-Fahrzeuge zu integrieren. Ersatzteile waren wie eine zweite Währung: Man konnte sie gegen nahezu alles eintauschen. Außerdem brauchte man sie früher oder später ja selbst, in Anbetracht einer meist jahrzehntelangen Nutzung des Fahrzeugs. Auf einer eingezogenen Ebene über dem Trabant steht ein Wartburg 1.3 aus dem Jahr 1988. Mit einem VW-Motor war er – wenn man so will – „modern“, wenn auch nur für einen sehr kurzen Zeitraum.

Mord im Orient-Express und die tollkühnen Männer in ihren fliegenden Kisten

Einige der ingenieurtechnisch hochinteressanten Fahrzeuge werden ergänzt von Ebenbildern historischer Personen oder von zeitgemäßem Interieur. Schaut man in den Hofsalonwagen von Prinzessin Mathilde von Sachsen, mit Öfen, Sessel und Waschtisch, fühlt man sich in die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts zurückversetzt. Gedanken an den Orient-Express drängen sich auf, in dem Agatha Christie in ihrem Buch von 1934 Hercule Poirot einen Mord aufklären lässt.

Vom Blick durch Waggonsscheiben zum Blick nach oben: In der Luftfahrtausstellung ein Stockwerk höher stehen wir unter dem Eindecker von Hans Grade, gebaut 1909. Das fragile Fluggerät erinnert mit seinen stoffbespannten Tragflächen aus Bambusrohr an den



Älteste komplett erhaltene deutsche Lokomotive: Muldenthal, 1861, Chemnitz

Flugwettbewerb in dem englischen Spielfilm „Die tollkühnen Männer in ihren fliegenden Kisten“ aus dem Jahr 1965. In der realen Luftfahrtgeschichte indessen gab es auch Frauen. Sie standen den männlichen Abenteurern in ihrem Mut nicht nach. Hélène Dutrieu zum Beispiel. Dreiunddreißigjährig erhielt sie anno 1910 als erste Belgierin ein Pilotenzeugnis. Für ihren Flug musste zunächst flugtaugliche Damenbekleidung hergestellt werden. Dutrieus Fliegerkostüm von einem Pariser Modemacher finden wir hier ausgestellt. – Nun ja, wichtiger als Pariser Chic war schließlich die Funktionalität.

Noch einmal ein Blick in luftige Höhe: Neben Grades Eindecker, einem Ballon und einem Zeppelin halten zwei Stelen eine Super Aero 45 über den Köpfen der Besucher. Das 1954 aus Metall und Kunststoff gebaute Flugzeug gehörte zu den ersten Flugzeugtypen, die in der DDR zum Einsatz kamen. Die im tschechischen Kunovice entwickelte und gebaute Super Aero DM-SGE wurde bis 1964 genutzt, zunächst für Rund- und Zubringerflüge, später als Verbindungsflugzeug bei den Luftstreitkräften. An einen wirtschaftlichen Betrieb war bei zwei bis drei Passagieren, die in der Super Aero Platz fanden, allerdings nicht zu denken.



Klein und unwirtschaftlich: Super Aero 45, 1954, Kunovice

Sag mir, wie du reist, und ich sag dir, wer du bist

Das Verkehrsmuseum Dresden allein als Technische Sammlung zu bezeichnen, hieße, auf halbem Wege stehen zu bleiben. Direktor Joachim Breuning: „Die Frage, die wir uns stellen, ist: Was verändert die Technik für den Menschen?“ Und so liegt ganz oft der Reiz der Ausstellung im Detail: In einem abgegriffenen Fahrausweis oder alten Fahrplan, in einer Ansichts- oder Scherzpostkarte, einem Verkehrsschild oder einem Abzeichen, in einer Zahlmünze oder einer Uniform. Führerschein, Schaffnertasche, Koffer oder Geschirr mit Markenzeichen von Transportunternehmen lassen den Reisealltag lebendig werden. „Exponate, die zeigen, wie sich das Leben der Menschen wandelte – durch die vielen Fahrzeuge, die auf den Straßen unterwegs waren“, so Breuning.

Zu den ältesten Exemplaren der Sammlung von Kursbüchern gehört ein Fahrplanheft von 1848. Es zeigt Eisenbahn- und Dampfschiffverbindungen von Kopenhagen bis Wien, inklusive Hotelanzeigen und Reiseliteratortipps aus der Zeit der deutschen Märzrevolution. Doch nach dem Scheitern des Versuchs, einen einheitlichen deutschen Nationalstaat zu schaffen, fand auch der Traum vom freien Handel und dem Wegfall der einengenden Zollpolitik der Fürstentümer schnell wieder ein Ende.

Nach dem Zweiten Weltkrieg waren für das alltägliche Leben diverse Dokumente unerlässlich, und das nicht nur zum Lebensmittelerwerb. Emma Mammitzsch aus Zschachwitz musste für ihr gebrauchtes gekauftes Fahrrad Marke „Sachsenland“ den „grünen Fahrradbrief“ vorweisen. Und erst wenn auch eine Arbeitsbescheinigung vorlag, wurde ihr bestätigt, dass „von einer Beschlagnahme abzusehen ist.“ – In Deutsch und Russisch. Auch im Original: Eine Ansichtskarte vom Trabant 601, gebaut 1989, mit diversen Ansichten des Zweitakters. Das Fahrzeug ist noch heute mit dem ersten Nachwendekennzeichen zugelassen, es gehört zur Sammlung der IFA-Freunde im sächsischen Zschopau. Auf der Karte stehen anstelle der üblichen eingedruckten Grußzeilen mehr oder weniger liebevolle Kosenamen: von „Zwickauer Hangziege“ über „Asphaltblase“ und „Rennpappe“ bis „Fluchtkoffer“. – Nun ja: Kaum ein anderer, den es in den Westen zog, dürfte die Grenze wohl mit einem Hillman Minx überquert haben.

Der „Fluchtkoffer“ und der Hillman blieben schlussendlich ihrer Heimat doch treu. Sie erzählen heute den Nachgeborenen ihre Geschichte.



Zeug: zum Fahren ...



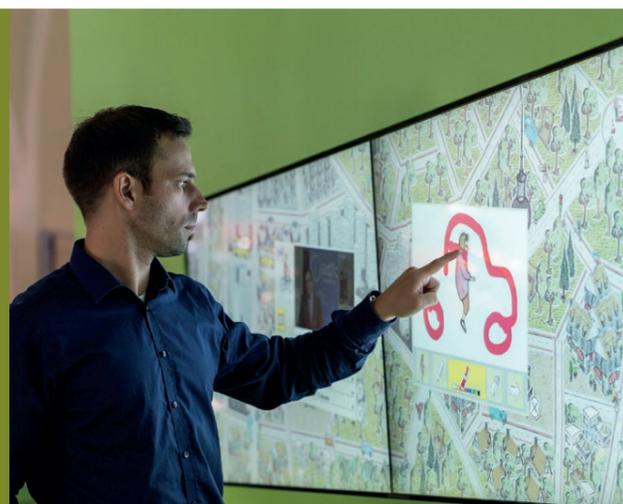
... zum Fliegen ...



... zum Segeln

IM ZUKUNFTSLABOR: STADTVERKEHR SELBST GESTALTEN

Wie werden wir Menschen in Zukunft unterwegs sein? Im „Zukunftslabor“ kann man darauf eine Antwort suchen und finden. Es wurde vom Verkehrsmuseum in Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden für die Straßenverkehrsausstellung „Vorfahrt“ entwickelt. Dabei handelt es sich um eine digitale Wissens- und Mitmachstation. In einem riesigen interaktiven Wimmelbild an der Wand lässt sich die Szenerie per Bildschirmberührung verändern. So kann man Gebäude „zurückbauen“ und den Grünanteil erhöhen, Radwege oder zweispurige Straßen einfügen und beobachten, wie sich der Einsatz bestimmter Verkehrsmittel auf das Verkehrsgeschehen auswirkt. Obendrein hat der Besucher die Möglichkeit, sein eigenes Fahrzeug von morgen digital zu zeichnen und es im Stadtbild fahren zu lassen. In der Multimedia-Präsentation sind zudem Experten (beispielsweise aus der Automobilindustrie, vom ADFC, vom ADAC, der TU Dresden oder den örtlichen Nahverkehrsbetrieben) „unterwegs“, die in kurzen Interviews Rede und Antwort zur Mobilität der Zukunft stehen – wenn man sie anklickt.



Ausstellungsleiter und Kurator Benjamin Otto zeigt, wie es geht: Bau dir dein eigenes Auto und gestalte den Verkehr in deiner Stadt der Zukunft.

VERKEHRSMUSEUM DRESDEN

Im Johanneum am Neumarkt

Öffnungszeiten:

Dienstag bis Sonntag: 10 bis 18 Uhr

Eintrittspreise:

Kinder bis 5 Jahre frei, Erwachsene: 9 Euro, ermäßigt: 4 Euro
Kleine Familienkarte (maximal 1 Erwachsener als Begleitung von mindestens 1 Kind und maximal 2 Kindern bis 16 Jahre): 9,00 Euro
Große Familienkarte (maximal 2 Erwachsene als Begleitung von mindestens 1 Kind und maximal 4 Kindern bis 16 Jahre): 18,00 Euro
Jahreskarte: 30,00 Euro (ermäßigt: 14,00 Euro)

Sonderprogramme, Führungen und Events:

www.verkehrsmuseum-dresden.de



LEBEN AUF DEM MOND – LEICHTGEMACHT

Selten sagt schon der Titel so deutlich, was der Autor denkt: Dr. Florian M. Nebel hat sein Werk nicht nur **Die Besiedlung des Mondes** genannt, sondern hat dem im **Landwirtschaftsverlag Münster** erschienenen Buch auch noch einen eindeutigen Untertitel mitgegeben – „Technisch machbar. Finanziell profitabel. Logisch sinnvoll.“ Nebel ist Physiker und arbeitet als Systemingenieur in der Luft- und Raumfahrtbranche. „Eine Reise zum Mond dauert nur wenige Tage. Zeitlich gesehen liegt der Mond für die ersten Pioniere näher an der Erde als Amerika zu Europa.“ Eine Besiedlung des Mondes könne also genauso gut gelingen. Sechs Jahre, so schätzt er, werden die Vorbereitungen für eine Mondbesiedlung dauern. Dann folgt eine einjährige Erkundungsphase, drei Jahre dauert die Vorbereitung der Gründung, die Gründung selbst fünf Jahre und für die anschließende Wachstumsphase plant er 15 Jahre ein. Die jährlichen Kosten kalkuliert er auf mindestens 70,3 Milliarden US-Dollar, höchstens 275,3 Milliarden US-Dollar.

Sollte Deutschland die Mondbesiedlung auf eigene Faust durchführen, hat Nebel auch schon Finanzierungsvorschläge: Man könnte die Mehrwertsteuer erhöhen, den Solidaritätszuschlag verwenden, die Gelder für die ARD streichen, die Tabak- und Alkoholsteuer erhöhen oder die Mondkolonisation wie die eines 17. Bundeslandes unterstützen. Bei einer internationalen Finanzierung wirft er den Rückfluss der Mittel in die Diskussion, die beste Verteilung der Arbeitspakete und erwägt die Finanzierung durch Kredite von vermögenden Einzelpersonen oder aber durch Crowdfunding beziehungsweise Branding.

Das alles klingt sehr simpel. Und der Autor kann dies auf den 259 Seiten natürlich auch nicht im Detail darstellen und begründen. Wer einen dicken Wälzer erwartet, der sich auf ein Thema spezialisiert, sollte die Finger von Nebels Buch lassen. Wer aber Spaß daran hat, sich dem Thema Mondbesiedlung zu nähern und beim Planen ohne Skepsis loslegen will, findet in Nebel einen Verbündeten. Nach einem Überblick über die „Historie von Mensch und Sternen“, dem Kapitel „Warum sollten wir den Mond besiedeln?“ und einem Kapitel zum Mond und den bisherigen und geplanten Missionen geht es mit der verfügbaren Technik auf der Erde, dem ersten Schritt, nämlich der Besiedlung des Erdorbits, und dem Flug zum Mond weiter. Am ausführlichsten beschäftigt sich Nebel mit dem Bau einer Mondsiedlung. Tabellen, prägnante Überschriften, Zeichnungen und gut verständliche Texte geben vor allem dem interessierten Laien die Möglichkeit, mit in die Planung einer Mondsiedlung einzusteigen.

Kurz und knapp werden mögliche Standorte mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt. Baumaterialien, Ansprüche an Tür- und Fensterelemente, Raumschiffkonfigurationen, Kostenschätzungen, Raketenantriebe, Berufe und Fertigkeiten der ersten Siedler, Beispielsiedlungen und deren industrielles Wachstum am Ende der Gründungsphase oder auch Zukunftsprojekte wie der Weltraumaufzug oder das Terraforming finden einen Platz im Buch. Das alles erfolgt ohne Quellenangaben und Belege. Für Wissenschaftler vermutlich ein einziger Graus, für Laien eine große Freude, dem Gedankenspiel einer Mondbesiedlung einmal kreuz und quer durch alle Aspekte zu folgen.

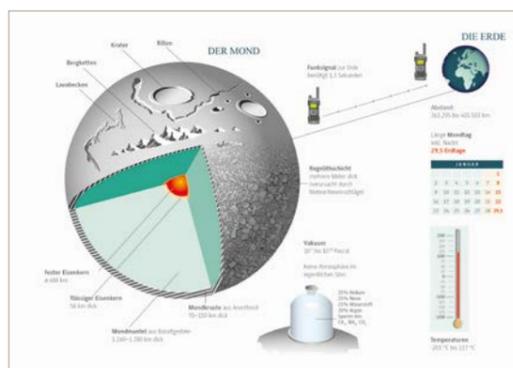
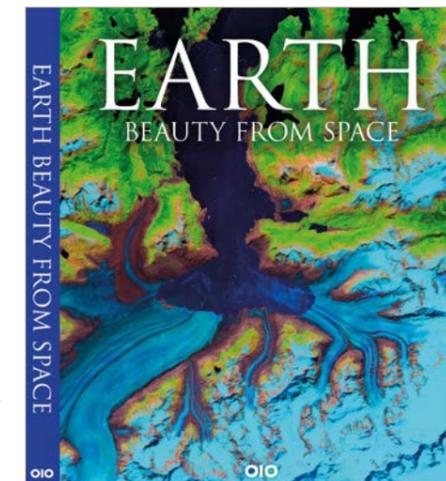
Manuela Braun

BETRACHTEN ALLEIN DER SCHÖNHEIT WEGEN

„Die NASA ist der beste Fotograf der Welt.“ So zu lesen auf der letzten Seite des Bildbands **Earth. Beauty from Space (oio Books)**. Auf 160 Seiten zeigt Herausgeber Robert Gabor die Erde, wie sie nur aus dem All gesehen werden kann. Dabei hat er sich strikt an ein Auswahlkriterium gehalten: Schön, bunt und mit beeindruckenden Formen sollen die Landschaften wirken, die von den Satelliten Terra, Landsat 5, Landsat 7, EO-1 und Aqua von ihrem einzigartigen Blickpunkt aus aufgenommen wurden.

Das „Land des Terrors“ – das Tanezrouft-Becken in Algerien – sieht wie eine Palette aus, auf der alle Farben ineinander verlaufen. Als Struktur in Dunkel- und Hellgrün zeigt sich das Okavangodelta, das Erongogebirge scheint aus dunkelroten und gelben Farbkleckschen zu bestehen. Zu jedem Bild gibt es eine kleine Weltkarte zur Einordnung der Region sowie einige Sätze zu Ort und Aufnahmedatum. Robert Gabor verlässt sich dabei ausschließlich auf das Auge und die visuelle Wirkung, die die 62 NASA-Aufnahmen auslösen. Der Text auf der Rückseite erläutert lediglich, dass die Kameras der NASA sowie ein neuartiges Verfahren zur Kolorierung den Bildband ermöglichen. Die Erklärungen, warum welche Farben so zu sehen sind, oder detaillierte Angaben, welcher Satellit hier auf die Erde geblickt hat, liefert das Buch nicht. Im Vorwort des NASA Science Mission Directorate wird dies auch betont: „Die Bilder sind weniger zur wissenschaftlichen Interpretation als zum Betrachten ihrer Schönheit wegen gedacht.“ Mit „Earth. Beauty from Space“ liegt also eher ein Kunstbildband vor dem Leser, und den Künstler würde man auch nicht fragen, wie er diese schöne Farbkombination hinbekommen hat.

Manuela Braun



MUTMACHER FÜR MÄDCHEN

Wie empörend ungleich Frauen und Männer in den vergangenen Jahrhunderten in der Wissenschaft behandelt wurden, zeigt ein Buch von Rachel Ignatofsky. Vor allem aber zeigt es, wie 50 mutige Frauen bahnbrechende Forschung betrieben – trotz aller Widerstände: von separierten Sitzplätzen im Hörsaal, um Männer nicht durch ihre Anwesenheit abzulenken, bis hin zu Publikationsverboten. Dass es Frauen gab, die sich von diesen Schikanen nicht beirren ließen, beweisen diverse Durchbrüche in Krebsforschung, Genetik, Psychologie, Physik und Mathematik. Das Buch **Furchtlose Frauen, die nach den Sternen greifen – 50 Porträts faszinierender Wissenschaftlerinnen (mvg-Verlag)** stellt Beispiele vor. Anekdoten und Zitate lockern den Text auf. Comicartige Zeichnungen machen das Buch zu einer kurzweiligen Abendlektüre, die man allerdings mit viel Licht und einer guten Brille genießen sollte, die Schrift ist arg klein.

Für Erwachsene mögen die kindgerechten Formulierungen manchmal banal oder oberflächlich wirken. Das ist wohl der Preis dafür, dass das Buch sein selbst gestecktes Ziel erreichen kann: Inspiration für alle Mädchen und Frauen zu sein. Wie wichtig es ist, Mädchen mit Forschertraum Mut zu machen, ihr Ziel hartnäckig zu verfolgen, zeigt ein Blick in die deutsche Universitätslandschaft: In vielen Forschungsfeldern sind bis heute die Lehrstühle überwiegend mit Männern besetzt.

Florian Kammermeier



DIE SPINNEN, DIE FORSCHER



Er bezeichnete sich selbst als verrückt. Viele seiner Erkenntnisse erarbeitete er sich nach eigener Aussage nicht selbst – er bekam sie von seinem Schutzgeist eingeflüstert. Und dennoch: Girolamo Cardanos Beitrag zur Forschung war so groß, dass er sich mit seinem Zeitgenossen Leonardo Da Vinci messen kann. Er veröffentlichte mehr als 100 Bücher über Mathematik, Naturwissenschaft, Medizin, das Ingenieurwesen und die Philosophie. Er beschrieb als Erster die Funktionsweise der Kardanwelle, die sich heute in jedem Auto dreht, und er erfand die imaginären Zahlen.

Michael Brooks erzählt viele solcher Geschichten in seinem Buch **Freie Radikale – Warum Wissenschaftler sich nicht an Regeln halten (Verlag Springer Spektrum)**. Gespickt mit einigen Studien entwickelt er eine Theorie: Durchbrüche kommen oft auf unwissenschaftlichen Wegen zustande, und Wissenschaftler sind Anarchisten, die häufig ohne Rücksicht auf sich oder andere ihren Zielen nachjagen – neuen Erkenntnissen und Ruhm. Brooks führt die Leser zu seinen Protagonisten in Labore, Krankenhäuser und Institute und lässt sie mitspüren, wie die größten Köpfe der Wissenschaft Rivalen bekämpfen, Karrieren zerstören und im Traum oder Drogenrausch bahnbrechende Ideen bekommen.

Fast immer gelingt es dem Wissenschaftsautor, auch für Leser ohne Fachkenntnisse verständlich zu erzählen. Seine Sprache ist bildgewaltig und macht Spaß, zum Beispiel, wenn er den Wettstreit von Forschern um den Nobelpreis beschreibt: „In die Gesetzestafeln der Wissenschaft ist tief eingegraben, dass die Straße nach Stockholm von hämisch johlenden Kollegen gesäumt wird.“ Solchen Sätzen oder Brooks' Theorie, dass viele Forscher Anarchisten sind, muss man nicht immer zustimmen. Mit Gewinn liest man das Buch trotzdem: Die Geschichten lassen den Leser abwechselnd auflachen und dann wieder sich die Haare raufen.

Florian Kammermeier

DAS IST ALLES GAR NICHT SEINS – TROTZDEM GUT

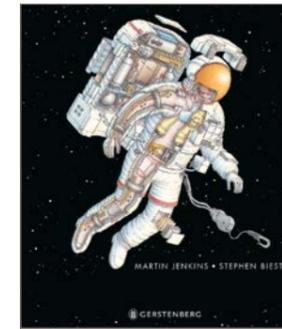


Nicht allein Intelligenz machte Leonardo Da Vinci zu einem der größten Forscher, Erfinder und Künstler der Menschheitsgeschichte – vor allem seine Methoden ließen ihn so produktiv werden. So Jens Möller in seinem Buch **Die Da-Vinci-Formel – Die 7 Erfolgsgesetze für innovatives Denken (REDLINE-Verlag)**. Der Autor stellt das Renaissance-Genie in seiner Zeit vor und extrahiert daraus sieben Gesetze für Da Vincis Erfolg. Diese vermittelt er verständlich und in angenehmer Sprache. Dazu gibt er dem Leser Übungen für den Alltag mit auf den Weg.

Zwei Dinge trüben allerdings das Leseerlebnis: Einige der geteilten Weisheiten wirken eher trivial, wie „Leben Sie Ihr Leben mit einer gesunden Portion Mut und Risikobereitschaft und Sie werden feststellen, dass Sie sich leidenschaftlicher, sorgloser und kreativer fühlen werden.“ Und der Klappentext übertreibt, wenn er die Enthüllung von sieben „bislang unentdeckten“ Erfolgsprinzipien verspricht. Was man dem Autor aber lassen muss: Er wendet die Erfolgsprinzipien, die er bei Da Vinci gefunden hat, selbst gekonnt an. Etwa das Gesetz: „Klaue gute Ideen – und perfektioniere sie“. So wie Da Vinci ganz selbstverständlich Ideen seiner Zeitgenossen aufgriff und weiterführte, so gibt es auch die vorgestellten Innovationstechniken bereits. Möller gelingt es aber, diese geschickt mit einem historischen Porträt zu verknüpfen und mit den Übungen in den Alltag der Leser zu holen. Das ist es auch, was das Buch lesenswert macht.

Florian Kammermeier

RAUMANZUG UND MARSMOBIL



Schon das Cover saugt einen förmlich ins Buch. Nicht wegen des Titels **Abenteuer Weltall**, sondern wegen der feingliedrigen Zeichnung von Stephen Biesty. Zusammen mit Martin Jenkins, dem in England lebenden (Kinderbuch-)Autor, schuf der britische Illustrator eine feine Mischung aus Lese- und Erklärbuch. Das vom **Gerstenberg Verlag** gewählte große Format gibt den detailreichen Bildern den nötigen Raum. Ob Sonnensystem, Observatorien, Raketen, Raumfähren oder der für den Titel auserkorene Raumanzug: Selbst für komplizierte Dinge findet das kongeniale Gespann von Texter und Illustrator leichtfüßige Formulierungen und erhellende Bilder. Schriftboxen an den Abbildungen klären darüber auf, welches Teil wozu gut ist. Die Texte der acht Kapitel erklären, was Kinder wissen wollen (Außenbordeinsatz und Toilettengang) und was Erwachsene so vielleicht auch noch nicht gesehen haben (Innenleben eines Kommunikationssatelliten). Abläufe bei Landemissionen und anschauliche Darstellungen der Größenverhältnisse bei Raketen und Raumstationen machen Prozesse und Dimensionen vorstellbar. Freundliche Farben von warmem Sandbeige über blau-graue Aqua-Töne zu metallischem Grau und feurigem Orangerot sind ein zusätzlicher Sympathiefaktor.

Gedacht für Kinder ab 10 Jahren, machen die 64 Seiten inklusive Zeittafel, Register und Glossar auch ganz Großen Spaß. Am Ende hat man neben der Freude am Buch und dem Wissenszuwachs noch etwas anderes: gehörigen Respekt vor den Weltraumforschern, den genialen Ideen der Ingenieure und deren Wissen, aber auch vor dem Mut der Astronauten.

Cordula Tegen



HOTZENPLOTZ STARTET NOCH MAL DURCH

Rund 45 Jahre nach Erscheinen der drei bekannten Kinderbuchklassiker von Otfried Preußlers Räuber Hotzenplotz ist im Juli 2018 eine vierte Geschichte im **Thienemann Verlag** erschienen: **Der Räuber Hotzenplotz und die Mondrakete**. Das Buch beruht auf dem wiederentdeckten Kasperlespiel von Otfried Preußler und wurde bereits Ende der Sechzigerjahre in zwei Sammelbänden abgedruckt. Dennoch löste die Nachricht von einem neuen Hotzenplotz-Abenteuer bei den Fans wahre Begeisterungstürme aus. Unsere zwei „Test-Zuhörer“ (neun

und sechs Jahre alt) können diese Begeisterung zwar nicht ganz teilen – wahrscheinlich sind sie schon „zu groß“. Für Kinder bis fünf Jahre spielt das Buch aber sicherlich sein Klassiker-Potenzial aus, für Nostalgiker ist es eine schöne Erinnerung an die Kindheit. Denn alle sind wieder dabei – die Großmutter, Kasperl, Seppel, der Wachtmeister Dimpfelmoser. Die Geschichte ist schnell erzählt: Hotzenplotz bricht aus dem Gefängnis aus, Kasperl und Seppel stellen ihm eine Falle mit einer als Mondrakete getarnten Papprolle, was der berühmte Räuber erst merkt, als er drin stecken bleibt. So endet seine Mondreise vor dem Start und er kommt zurück zu Wachtmeister Dimpfelmoser.

Die Sprache des vierten Bands ist verständlich wie eh und je, wenn auch hier und da nicht mehr ganz so gebräuchliche Begriffe verwendet werden – was aber wiederum den Charme des Buches ausmacht. Im Stile der ersten drei Hotzenplotz-Bücher illustriert, wunderbar bunt und mit viel Liebe zum Detail, wird die Geschichte auf 61 Seiten sehr schön erzählt – perfekt zum gemeinsamen Anschauen und Vorlesen.

Tim Scholz

LINKTIPPS

EIN JAHR EINGEFROREN

<https://youtu.be/14JULQ9klqM>
Die größte Arktis-Expedition der Geschichte wird im Herbst 2019 starten: Die Besatzung der „Polarstern“ wird das deutsche Forschungsschiff am Nordpol einfrieren und von der Eisbewegung durch die Arktis schieben lassen. Der Imagefilm und die Seite www.mosaicobservatory.org zeigen, welche Herausforderungen auf der etwa einjährigen Mission warten und was man sich von der MOSAiC-Expedition erhofft.

1.600 MAL FERNERKUNDUNG

www.fe-lexikon.info/
Ein beachtliches Lexikon der Begriffe der Fernerkundung hat Kurt Baldenhofer angelegt. Über 1.600 Stichwörter erläutert er mit Definitionen und kurzen Beschreibungen, veranschaulicht diese mit Grafiken und Bildern. Kennt man in einem Fachtext Namen nicht, vermisst die Erklärung einer Methode oder sucht Informationen über einen Satelliten, dann wird man hier ziemlich sicher fündig.

WILDER RITT ZUR ERDE

<https://youtu.be/-l7MM9yoxll>

„Die Landung fühlte sich an wie ein Frontalzusammenstoß ...“, sagt Paolo Nespoli. Ein Video der ESA lässt Astronauten zu Wort kommen, die mit der Sojuskapsel zur Erde zurückgekehrt sind. Es wird präzise erklärt, was auf dem Rückflug geschieht, und gezeigt, wie sich die Crew darauf vorbereitet.

ISS-PANORAMA LIVE

<http://t1p.de/r9q3>

Den Sonnenaufgang von der ISS aus genießen, dem Funkverkehr der Astronauten mit der Erde zuhören, Außenansätze verfolgen – das bietet die ISS HD Live App. Wer will, kann Push-Nachrichten empfangen, wann der nächste Sonnenaufgang ansteht, oder die ISS am Nachthimmel suchen, denn ihre Position wird ebenfalls angezeigt.

FUNKENFLUG

vimeo.com/88093956

Als ob Glühwürmchen tanzen, die sich schließlich an einem Punkt versammeln, sieht es an jedem Tag über Europa aus. Zumindest durch die Augen der NATS Holding, dem größten Dienstleister für Flugsicherung in Großbritannien. Sie haben eine Zeitraffer-Animation veröffentlicht, in der 24 Stunden lang die Bewegung jedes Flugzeugs im europäischen Luftraum als leuchtender Punkt gezeigt wird.

ARTERIEN DES INTERNETS

youtu.be/k1RNmKEEbMo

Wie werden Glasfaser-Kabel zwischen Europa und den USA verlegt, wie werden sie in 3.000 Meter Tiefe repariert? Wie viele Kabel gibt es überhaupt? Arte nimmt den Zuschauer in einer 43-minütigen Doku mit zu den Schlagadern des Internets, die irgendwo tief unten im Meer im Schlamm liegen.

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Digitalisierung und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem sind im DLR zwei Projektträger zur Forschungsförderung angesiedelt.

In den 20 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Dresden, Göttingen, Hamburg, Jena, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 8.400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

Impressum

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

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

Redaktion: Prof. Dr. Pascale Ehrenfreund (ViSdP), Cordula Tegen (Redaktionsleitung)
An dieser Ausgabe haben mitgewirkt: Manuela Braun, Dorothee Bürkle, Falk Dambowsky, Bernadette Jung, Florian Kammermeier sowie Tim Scholz

DLR-Politikbeziehungen und Kommunikation
Linder Höhe, 51147 Köln
Telefon 02203 601-2116
E-Mail kommunikation@dlr.de
Web DLR.de
Twitter @DLR_de

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

ISSN 2190-0094

Online:
DLR.de/dlr-magazin

Onlinebestellung:
DLR.de/magazin-abo

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

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellenangabe. Die fachliche Richtigkeit der Namensbeiträge verantworten die Autoren.

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



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Titelbild

Die japanische Sonde Hayabusa2 fotografierte den Asteroiden Ryugu auf der Suche nach einer Landestelle für MASCOT aus einer Höhe von sechs Kilometern. Die deutsch-französische Landesonde, entwickelt und gebaut im DLR, wurde am 3. Oktober 2018 abgetrennt und erreichte nach sechs Minuten freiem Fall die Oberfläche von Ryugu. Mehr als 17 Stunden lang konnten die vier Experimente durchgeführt werden.

Bild: JAXA/U Tokyo/Kochi U/Rikkyo U/Nagoya U/Chiba Inst Tech/Meiji U/U Aizu/AIST

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages