

# DLR / magazin

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt · Nr. 160 · März 2019

## WERKZEUG FÜR DIE NEUE ZEIT: FROM BIG TO SMART

DIE REISE ZUM MOND  
DER SPRUNG IN DIE SELBSTSTÄNDIGKEIT

# DLRmagazin 160

Liebe Leserinnen und Leser,

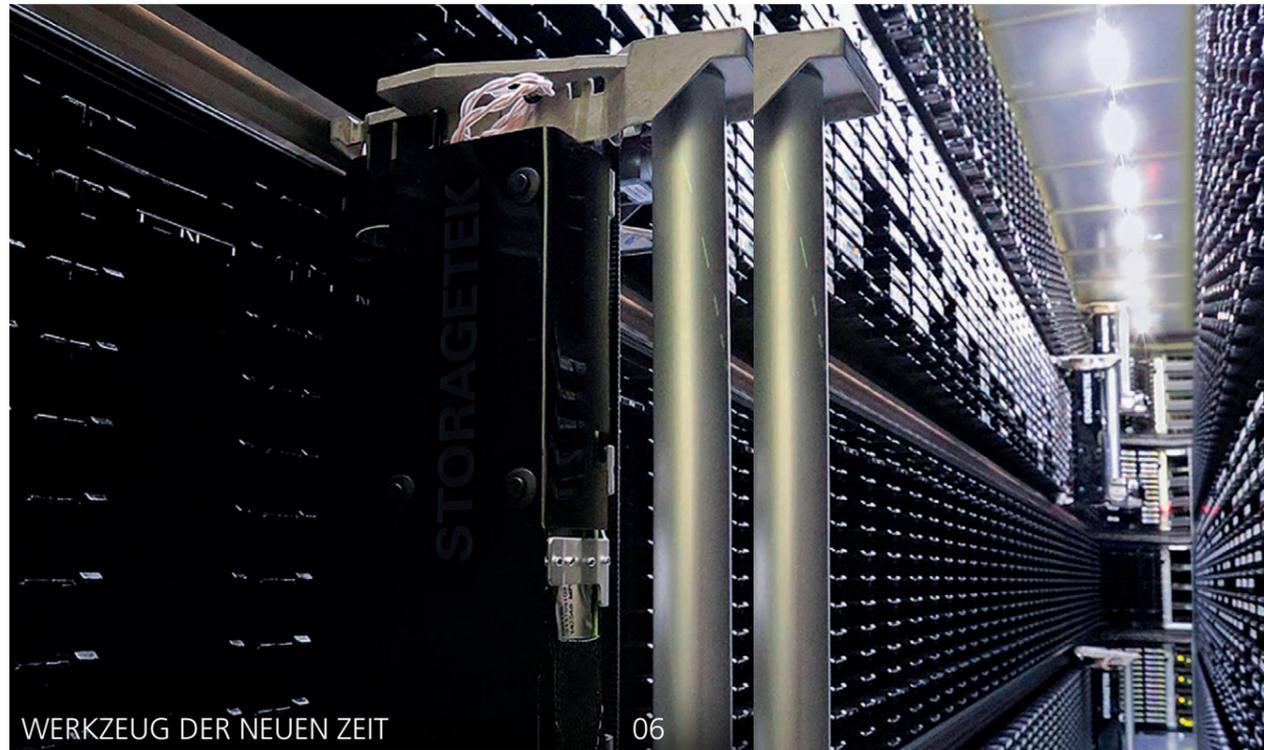
bedeutsame Worte sind meist kurz: stopp und los. All, Erde, Mond. Herz, Tanz und Zeit. Oder auch Mut. Sie begegnen uns in diesem DLR-Magazin, manche im übertragenen Sinn, meist aber ganz direkt. Mut zum Beispiel. Den hatten zwei Forscher aus dem DLR Stuttgart. Ihr Spezialgebiet: die Reparatur von Hochleistungskunststoffen, wie sie bei Flugzeugen oder Windkraftanlagen eingesetzt werden. Sie hatten eine Idee, wie sich Schäden an solchen Bauteilen beheben lassen, ohne sie komplett auszutauschen. Dafür zogen sie aus ihrem Büro in einen Bunker bei Empfingen im nördlichen Schwarzwald, wo sie das Verfahren an großen Originalbauteilen testen. Schließlich haben sie sich mit Unterstützung des DLR-Technologiemarketings selbstständig gemacht. Wir stellen Ihnen die beiden mutigen Existenzgründer vor.

Zum Mond muss man nicht viel sagen, kurz vor dem 50-jährigen Jubiläum der ersten Landung von Menschen auf dem Erdtrabant. Oder doch? – Was bedeutet Apollo denn für die Wissenschaft? Sie lesen es in einer Betrachtung von zwei DLR-Planetenforschern. Und für den Blick von außerhalb der Forschergemeinde gewannen wir den Journalisten und Autor Stefan Aust.

Doch schauen wir wieder nach vorn. Was passiert, wenn wir künftig automatisiert fahrenden Autos begegnen? Wie kommunizieren wir mit ihnen? DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler suchen nach einem unmissverständlichen Mensch-Maschine-Dialog und benutzen dazu Virtual-Reality-Brillen. Damit sind wir im Reich von Simulationen und Rechnermodellen, den Werkzeugen der neuen Zeit, unserem Titelthema. Es dreht sich um Datenqualität, einheitlichen Zugriff auf wissenschaftliche Informationen verschiedenster Quellen und die Frage, wie der Mensch davon profitieren kann. Alles sehr abstrakt, aber es wird mit viel Herz daran gearbeitet.

Im Magazin-Porträt stellen wir Ihnen immer wieder Menschen vor, die mit Begeisterung und Akribie Antworten auf die verschiedensten wissenschaftlichen Fragen suchen. Zuweilen kommen sie von weit her. Wie der Raketentriebwerksforscher Justin Hardi. Ihn zog es aus Australien zum DLR. – Der Weg. Auch so eines von diesen kurzen Worten. Wie auch Ziel. Wenn Sie uns durch das DLR-Magazin mit Interesse und Wohlwollen folgen, hätten wir unser Ziel für dieses Mal wieder erreicht.

Ihre Magazin-Redaktion



WERKZEUG DER NEUEN ZEIT 06



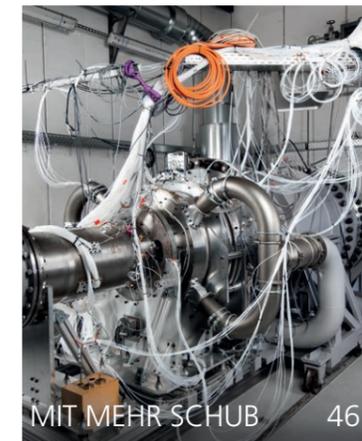
KOMMENTAR 04



WINDKANALTESTS FÜR BESSEREN AUFTRIEB 16



AUSGEGRÜNDET 32



MIT MEHR SCHUB 46



AUTOMATISIERT FAHREN UND INTERAGIEREN 36



JUSTIN HARDI ZÄHMT DIE FLAMME 38

<b>KOMMENTAR</b>	04
<b>WERKZEUG FÜR DIE NEUE ZEIT</b>	06
Das Querschnittsprojekt Big-Data-Plattform	
<b>WIE AUS DATENBERGEN WISSEN WIRD</b>	14
Gespräch zu künstlicher Intelligenz	
<b>DIE CLEVERE IDEE KLEINER LUFTSCHÜBE</b>	16
Windkanaltests für besseren Auftrieb	
<b>REVOLUTIONIERT DER ELEKTROANTRIEB DIE LUFTFAHRT?</b>	20
Interview zum elektrischen Fliegen	
<b>MELDUNGEN</b>	24
<b>ENORMER SPRUNG ZU MEHR WISSEN</b>	26
50 Jahre Apollo-Missionen	
<b>DIE REISE ZUM MOND</b>	30
Ein Essay von Stefan Aust	
<b>QUADRATISCH, PRAKTISCH – MSQUARE</b>	32
Die Geschichte einer Ausgründung	
<b>AUTO, GIB MIR EIN ZEICHEN!</b>	36
Forschung für automatisiertes Fahren	
<b>DER TANZ DER FLAMME</b>	38
Justin Hardi zähmt die Widerspenstige	
<b>FREIES FORSCHEN FÜR DIE PERFEKTE KÜHLUNG</b>	42
Nachwuchsgruppe nahm sich eines heißen Themas an	
<b>KURZER WEG ZUM SCHUB</b>	46
Vorgestellt: Die Verdichteranlage in Köln	
<b>BÜHNE FREI: ES GEHT ZUM MOND</b>	50
Die DLR_Raumfahrt_Show 2019	
<b>DIE KUNST DES WIDERSPRUCHS</b>	54
Besuch im Zentrum für Kunst und Medien	
<b>DER KRANICH FLIEGT NACH FAHRPLAN</b>	58
100 Jahre Verkehrsluftfahrt	
<b>REZENSIONEN</b>	60

## PARTNERSCHAFTEN ALS CHANCE FÜR INNOVATIONEN



Dr. Rolf-Dieter Fischer leitet das DLR-Technologiemarketing

Ein Kommentar von Rolf-Dieter Fischer

Es mag den einen oder anderen überraschen – kein Land der Welt ist so innovativ wie Deutschland. Zu diesem Ergebnis kommt das Weltwirtschaftsforum (WEF) 2018 in der jährlichen Studie zur Wettbewerbsfähigkeit. Auf der Basis von zehn Kriterien bietet Deutschland die besten Voraussetzungen, um innovative Prozesse von der Idee bis zur Vermarktung zu bewältigen. Das WEF lobt unter anderem starke Forschungseinrichtungen, die in spezifischen Netzwerken mit Unternehmen zusammenarbeiten. Hierzu tragen wir als Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Kooperation mit der deutschen und europäischen Wirtschaft in den zentralen Forschungsfeldern Luft- und Raumfahrt, Energie und Verkehr sowie den Querschnittsbereichen Sicherheit und Digitalisierung wesentlich bei.

Gemäß seiner Strategie 2030 wird das DLR diese Stärken nutzen, um den Technologietransfer in die Wirtschaft spürbar auszubauen und dort als Innovationstreiber zu wirken – nicht nur in seinen einschlägigen Forschungsbereichen, sondern in allen Wirtschaftsbranchen. Es wird zukünftig jeweils fünf Prozent der institutionellen Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie und der Sitzländer von DLR-Standorten in Innovationsprojekte investieren. Diese Projekte werden sowohl gemeinsam mit der Wirtschaft, und hier insbesondere mit kleinen sowie mittleren Unternehmen, als auch mit anderen Forschungseinrichtungen durchgeführt. Zusätzlich wird das DLR Ausgründungen noch stärker unterstützen und die Möglichkeiten der unternehmerischen Beteiligung an Ausgründungen erweitern. Darüber hinaus baut das DLR die Kooperation mit der Wirtschaft im Rahmen bereits bestehender und neuer strategischer Innovationspartnerschaften aus. Im Zuge dessen arbeitet das DLR gemeinsam mit Unternehmen an der Vorbereitung und Realisierung künftiger Anwendungen und Technologien.

Im Ideenentwicklungsprozess werden neue digitale Methoden immer stärker Anwendung finden. Die neue Plattform DLR.IDEASPACE – ein Austausch- und Entwicklungssystem für Innovationsideen – kann bereits jetzt von allen DLR-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeitern genutzt werden. Unter dem Motto #inspire, #ideate, #innovate tauschen sich hier Expertinnen und Experten zu Innovationsthemen aus, generieren gemeinsam neue Ideen und initiieren erfolgversprechende Projekte. Zielgerichtete Innovationsoffensiven platzieren Zukunftsthemen im DLR und ebnen den Weg für disruptive Ideen und neue Anwendungen.

Als weiterer wichtiger Beitrag zur Stärkung des Wirtschaftsstandorts Deutschland ist aktuell ein partnerschaftlich gestaltetes DLR.InnovationHub in Planung, das zukünftig eine neue Form der Ideenfindung in einem Innovationslabor gemeinsam mit strategischen Industriepartnern, Verbänden, Nutzern und Wirtschaftsförderern ermöglicht. Diese Öffnung des bislang internen DLR-Innovationsprozesses auch für externe Partner ist eine Gestaltungschance, um Sprunginnovationen zu erleichtern, vorzubereiten und umzusetzen.

Chancen, der Wirtschaft noch mehr neue Anwendungen zu erschließen, gibt es also durchaus. Es kommt darauf an, sie zu sehen, Partner ins Boot zu holen und Ideen gemeinsam entschlossen umzusetzen. Dazu ist das DLR bereit!

## NEUE ENTEISUNGSMETHODE SPART TREIBSTOFF

Bereits kleinste Vereisungen beim Flugzeug können aerodynamisch nachteilig wirken und den Treibstoffverbrauch erhöhen. Aus dem DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptionik in Braunschweig kommt nun eine neue elektrische Enteisungstechnologie. Mittels Carbonfasern kann das Eis an Flügeln effizient abgeschmolzen oder ganz verhindert werden. Das elektrische Widerstandsheizsystem funktioniert ähnlich wie eine Scheibenheizung im Auto, wo feinste stromführende Leitungen im Glas für Wärme sorgen. Der Unterschied zu bereits bestehenden Enteisungssystemen an Flugzeugen: Die an der Vorderkante auftretenden Lasten können durch das Heizsystem mitgetragen werden, da die Heizstruktur ebenfalls aus Carbonfasern besteht und mit der Flügelvorderkante in einem Schritt gefertigt wird. Die Heizstruktur wird zudem in einzelne beheizbare Zonen aufgeteilt. So können diese separat angesteuert werden. Das sorgt für mehr Flexibilität beim Enteisen.



Die elektrische Heizung bringt das Eis auf der Vorderkante des Flügelmodells zum Schmelzen

Das neuartige Heizsystem wurde an der Technischen Universität Braunschweig erprobt. Dabei kamen verschiedene Strategien zum Einsatz. Das auftreffende Wasser, das sofort zu Eis gefriert, kann entweder geschmolzen oder mit mehr Energieaufwand verdampft werden (Anti-Icing/Eisverhütung). Alternativ gibt es das De-Icing (Enteisung), wobei ein begrenzter Eisansatz auf der Flügelvorderkante erlaubt ist. Das Eis wird in diesem Fall periodisch abgeschmolzen. Die Versuche wiesen die Funktionstüchtigkeit beider Heizstrategien nach und zeigten, dass sich die Energieeffizienz verbessern lässt.

t1p.de/j7c9

## SOLARENERGIE ZUR ZEMENTPRODUKTION

Zement ist eines der am häufigsten verwendeten Güter weltweit. Seine Produktion erfordert hohe Temperaturen, die überwiegend mit fossilen Brennstoffen erzeugt werden. Forscher am DLR-Institut für Solarforschung wollen dafür Sonnenenergie nutzen. Zur Zementproduktion werden die Rohstoffe (in der Regel Kalkstein, Ton, Sand und Eisenerz) in Steinbrüchen abgebaut, in Brechern vorzerkleinert und im Zementwerk vermahlen und getrocknet. Im Solarsimulator in Köln testeten die DLR-Forscher den ersten Schritt der Herstellung, die Kalzinierung von Zementrohmehl, in einem Drehrohrofen. Dabei wird das Rohmaterial zur Entwässerung bis zu einer Temperatur von 1.000 Grad Celsius erhitzt. Es gelang den Wissenschaftlern, das Zementrohmehl in derselben Produktqualität herzustellen, wie es mit konventionellen Reaktoren möglich ist.



Einschütten des Zementrohmehls in einen sogenannten Schneckenförderer, der das Schüttgut nach dem Prinzip einer Schraube staubfrei weiterbefördert

Die Handhabung des Materials war dabei die größte Herausforderung. Die Fließfähigkeit dieses sehr feinen Pulvers ist sehr begrenzt und es ist schwierig, es bei 1.000 Grad Celsius möglichst staubarm zu verarbeiten. Zuvor hatten erste Tests gezeigt, dass der Drehrohrofen ein sehr robuster Reaktor ist, mit dem es möglich ist, Partikel verschiedener Größen zuverlässig auf eine beliebige Temperatur bis zu 1.100 Grad Celsius zu erhitzen. Der Einsatz eines solarbetriebenen Reaktors wäre nicht nur in Südeuropa, sondern auch in sonnenscheinreichen Entwicklungsländern von Nutzen: Der Zementbedarf könnte dann lokal gedeckt werden und Transportwege würden eingespart.

t1p.de/su3a

# WERKZEUG FÜR DIE NEUE ZEIT



**S**eit 2018 arbeiten 21 DLR-Institute und -Einrichtungen gemeinsam daran, Werkzeuge für den Umgang mit sehr großen Datenmengen zusammenzutragen und neue Werkzeuge effizienter zu entwickeln. Über 50 Projekte sollen Antworten auf vier zentrale Fragen des Big-Data-Zeitalters liefern. Diese drehen sich um Analysemethoden, Datenqualität, standardisierte Zugriffe und die Frage, wie der Mensch von all dem profitieren kann.

## Das DLR-Querschnittsprojekt Big-Data-Plattform

Von Florian Kammermeier

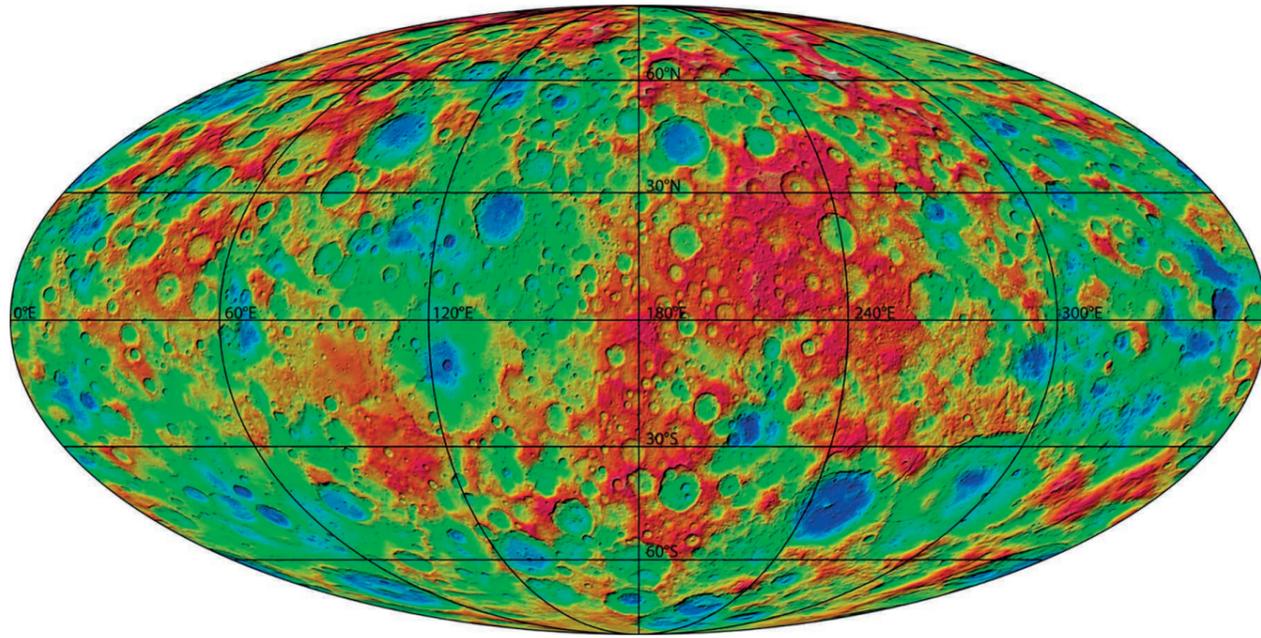
Ein guter Handwerker geht versiert mit seinem Werkzeug um. Er weiß, wie man einen Hammer richtig schwingt, den Hobel über das Holz gleiten lässt, welcher Schraubenzieher zu welcher Schraube passt – das geht nach Jahren der Arbeit so routiniert von der Hand wie das Binden der Schnürsenkel oder das Zubereiten eines Kaffees. Dennoch: Es ist nicht allein jahrelange Erfahrung, die einen Handwerker zügig mit seinen Werkzeugen arbeiten lässt – es ist auch Ordnung. Will man für jede Aufgabe das richtige Arbeitsmittel zur Hand haben, braucht man einen großen und gut sortierten Werkzeugkasten.

Ganz ähnlich kann es Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern im 21. Jahrhundert gehen. Täglich wachsen die Datensätze, die sie zu verarbeiten haben. Dabei reicht es nicht mehr, dass sie nur ihren Forschungsgegenstand kennen. Die Wissenschaftler müssen statistische und empirische Methoden beherrschen. Und vor allem: Es ist unumgänglich, dass sie sich in der Datenverarbeitung und somit in einem stetig wachsenden Feld aus Data-Science-Methoden zurechtfinden. Data Science heißt, herauszufinden, wie Datensätze am besten gespeichert werden, deren Größe man in Petabyte misst; wie man sie sortiert und effizient abrufen kann; wie man ihre Qualität auf hohem Niveau hält, wenn verrauschte Messwerte darunter sind; wie lernfähige Algorithmen Muster erkennen können und vieles mehr. Um für das alles die richtigen Data-Science-Arbeitsmittel zu finden, brauchen auch Wissenschaftler einen gut sortierten Werkzeugkasten.

Eben diesen stellen seit 2018 Institute und Einrichtungen des DLR zusammen. 21 sind es an der Zahl, mehr als 50 Projekte mit über 21 Millionen Euro Budget. In ihnen tragen Mathematiker, Softwareentwickler, Ingenieure und andere ihre Ideen und Methoden zu einer Big-Data-Plattform zusammen. Das Ziel dieser Plattform ist es, in den kommenden vier Jahren Methoden zu finden, mit denen vier zentrale Fragen beantwortet werden können: Wie schafft man Plattformtechniken, die einen einheitlichen Datenzugriff ermöglichen? Wie können Datenmanagementtechniken eine hohe Qualität der Daten sicherstellen? Wie kann mit intelligenten Analysemethoden aus den Daten Wissen generiert werden? Und: Welcher gesellschaftliche Nutzen lässt sich mit Hilfe von Pilot-Demonstratoren erreichen? Auf der Suche nach Antworten bringen die 21 Institute Projekte in die Big-Data-Plattform ein, die jeweils einer der vier Fragen zuzuordnen sind. Dadurch kommen Mitarbeiter aus allen großen DLR-Forschungsbereichen zusammen: Raumfahrt, Luftfahrt, Verkehr, Energie und Sicherheit.



Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum des DLR (DFD) betreibt in Oberpfaffenhofen das Deutsche Satellitendatenarchiv (DSDA). Im Auftrag der Europäischen Weltraumorganisation ESA baut das DFD ein Prozessierungs- und Archivierungszentrum auf: Das roboter-basierte DSDA speichert unter anderem die Bilddaten der zukünftigen Copernicus-Satelliten Sentinel-1 und Sentinel-3.



Je mehr Forscher über fremde Himmelskörper wissen, umso tiefer können sie in die Entwicklung des Sonnensystems blicken. Das Bild zeigt ein globales Oberflächenmodell des Zwergplaneten Ceres, welches aus circa 3.000 Einzelbildern der Mission Dawn unter Verwendung von etwa vier Milliarden Bildpunkten berechnet wurde.

### Wissenschaftler aus 21 Instituten tauschen Wissen – und wollen dadurch effizienter werden

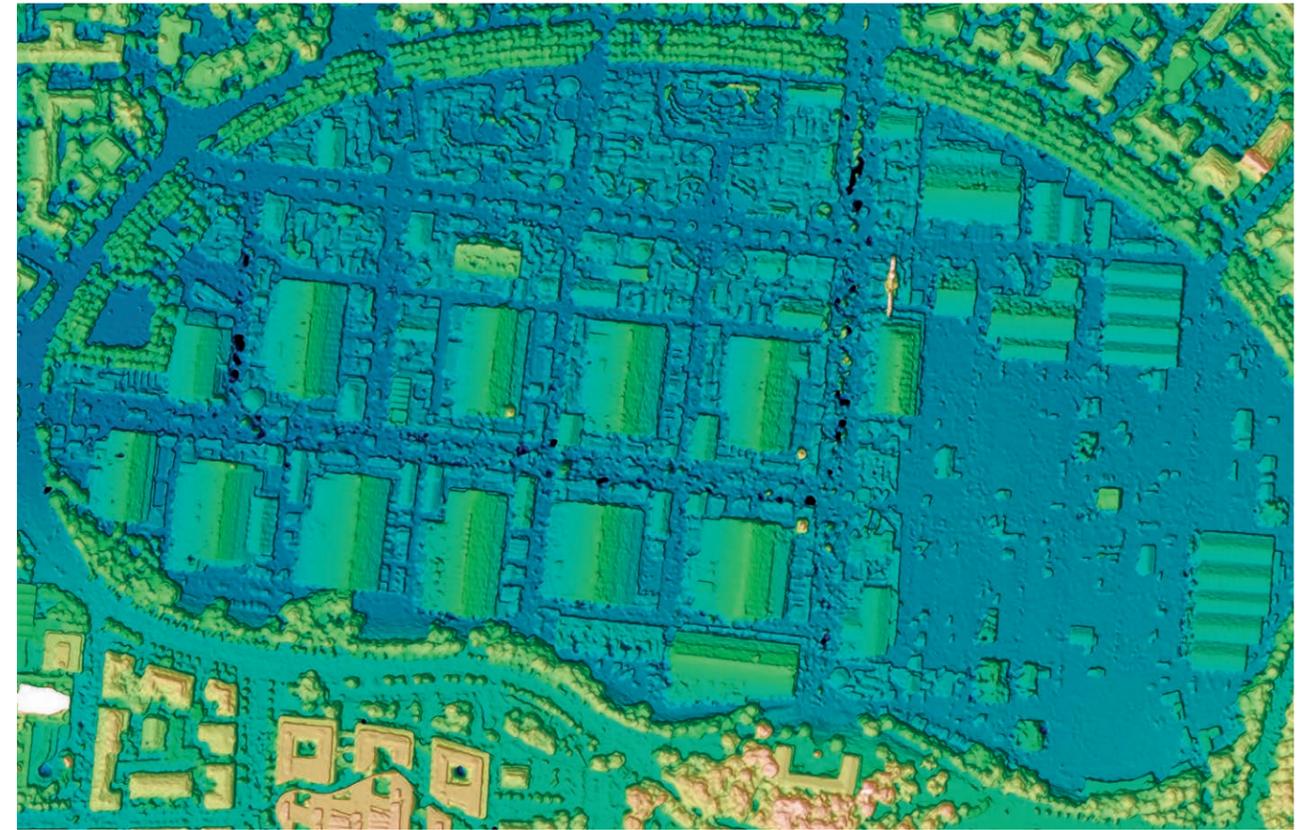
„Viele Institute betreiben Data Science schon seit Jahrzehnten und haben einen großen Erfahrungsschatz gesammelt. Häufig haben sich in den verschiedenen Instituten dadurch ähnliche Data-Science-Methoden entwickelt, die nebeneinander existieren“, sagt Rolf Hempel, Koordinator der Plattform und Leiter der DLR-Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik. In den mehr als 40 Instituten und Einrichtungen des DLR wird derzeit etwa ein Viertel der Personalkosten für Softwareentwicklung aufgebracht. Damit besteht das Risiko, dass zwei Institute eine ähnliche Methode erarbeiten. Gemeinsame Standards in der Data Science helfen, das zu vermeiden.

Plattformen dieser Art haben noch einen weiteren positiven Effekt: Sie führen zu Wissensaustausch. „Die Erfahrung der Institute mit Data Science ist unterschiedlich stark ausgeprägt“, sagt Rolf Hempel. In der Strömungstechnik und in der Erdbeobachtung mit Satelliten werden beispielsweise schon seit Jahrzehnten riesige Datenmengen erhoben und ausgewertet. Andere Institute sind entweder jünger oder Data Science wurde für sie in diesem Ausmaß erst in den vergangenen Jahren wichtig. Entwickeln Forscher verschiedener Institute gemeinsam Software, kann sich daher auch das Wissen um Data-Science-Methoden schneller verbreiten.

### Die Früchte jahrzehntelanger Forschung dienen als „Futter“ für künstliche Intelligenz

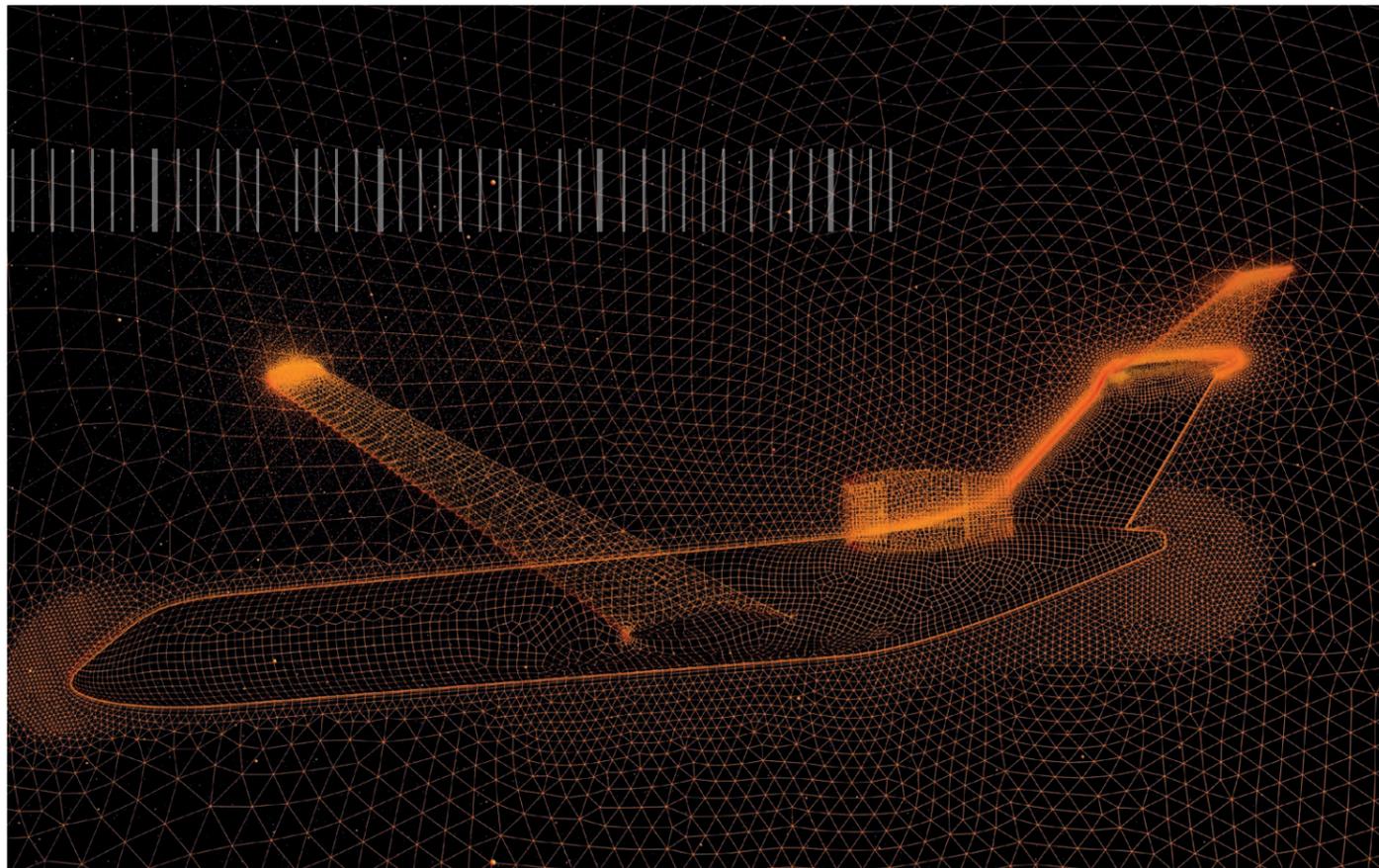
Dass es im DLR bereits Institute gibt, die schon seit Jahrzehnten große Datensätze sammeln, hat noch einen weiteren Vorteil: Diese Informationen sind „Futter“ für künstliche Intelligenzen. Wenn Algorithmen in der Bewegung von Wolken oder Gas in einer Brennkammer selbstständig Muster erkennen sollen, dann brauchen Forscherinnen und Forscher viele Daten, um sie darauf zu trainieren. Die Satelliten und Testanlagen des DLR liefern solche Informationen zuhauf – das Deutsche Satellitendatenarchiv, das vom DLR betrieben wird, speichert beispielsweise mehr als 15.000 Terabyte Daten. Ab 2020, so schätzen die Forscher, soll der Bestand jährlich um 12.000 Terabyte ansteigen.

Geleitet wird die Big-Data-Plattform von Dr. Achim Basermann und Dr. Alexander Rüttgers aus der Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik. Bei ihnen laufen die Fäden für die Organisation der Einzelprojekte zusammen. Die Simulations- und Softwaretechnik war eine der ersten DLR-Einrichtungen, in der gezielt Softwarekompetenz gebündelt wurde. Heute gibt es mehrere Institute mit diesem Fokus. Und auch die Big-Data-Plattform hat Geschwister: Mit Themen wie Cyber-Sicherheit oder intelligente Robotik in der digitalisierten Produktion gibt es im Querschnittsbereich Digitalisierung noch sieben weitere Projekte, die Forschungsbereiche des DLR zusammenführen.



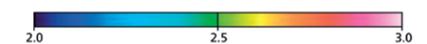
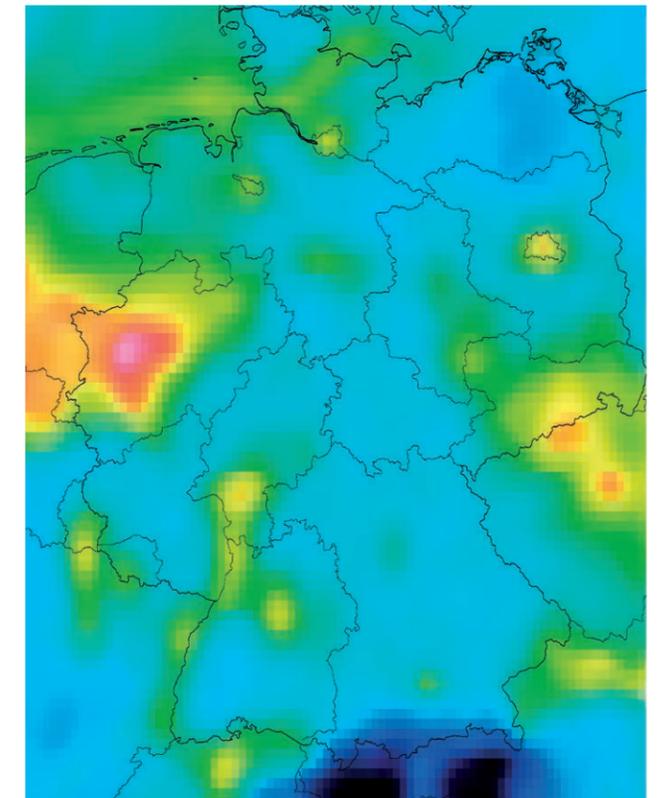
Auch in der Verkehrsanalyse, beispielsweise in Großstädten, kommen Algorithmen zum Einsatz. Sie ermitteln die Art von Fahrzeugen, welche Strecke sie fahren, und sie können helfen, Bewegungsmuster und Staus zu verstehen. Die Bilder vom Oktoberfest in München wurden am 30. September 2016 mit einem 3K-Kamerasystem an Bord einer DO 228 aufgenommen. Das 3D-Modell berechneten die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des DLR-Instituts für Methodik der Fernerkundung im Nachgang auf Basis der Luftbilder. Behörden und Verkehrsplaner bekommen damit zusätzliche Lageinformationen. Das DLR forscht im Projekt VABENE++ an Methoden und Technologien unter anderem zur Lageerfassung aus der Luft und Übertragung der Daten zum Boden.





Abermillionen von Gleichungen sind zu lösen, bevor ein Bild vom Verhalten eines Flugzeugs in der Luft entsteht. Um in der numerischen Simulation der Realität so nah wie möglich zu kommen, teilen die Wissenschaftler den Raum um das Flugzeug in unterschiedlich große Zellen auf. Für jede dieser Zellen werden Geschwindigkeit, Dichte und Druck der Luftmoleküle berechnet. Würde ein normaler PC mit der Rechnung betraut, wären mehrere tausend Geräte beschäftigt. Stattdessen übernehmen dies Großrechner wie C<sup>3</sup>A<sup>2</sup>S<sup>2</sup>E des DLR in Braunschweig. Er misst in seiner Grundfläche drei mal vier Meter und bewältigt in einer Sekunde 262.000.000.000.000 Rechenoperationen. Am Ende werden die Folgen von baulichen Änderungen am Flugzeug im Rechner sichtbar, lange bevor ein Bauteil entsteht.

Feinstaub und Spurengase belasten die Atemluft – und erhöhen die Gefahr für Erkrankungen. Nimmt das „aufsummierte Gesundheitsrisiko“ einen Wert von 3 an, bedeutet das, dass die Belastung der Luft das Risiko für die Gesundheit um etwa zwölf Prozent erhöht hat. Die Werte sind gemittelt über die Jahre 2010 bis 2016.



## 4 FRAGEN – 4 PROJEKTE

### WIE KANN EIN EINHEITLICHER DATENZUGRIFF ERMÖGLICHT WERDEN?

Das Ziel einiger der Projekte ist es, Arbeitsmethoden und Schnittstellen für die Softwareentwicklung zu vereinheitlichen. Sowohl in der Big-Data-Plattform im DLR als auch auf Ebene der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren soll das Doppelentwicklungen von Software vermeiden helfen. Hier werden grundsätzliche Fragen diskutiert wie: Genügt es, viele Data-Science-Methoden zu sammeln oder ist eine neue, mächtige Methode zu entwickeln? Ein Beispiel für Letzteres ist das Datenanalyse-Framework HeAT.

#### HeAT – Algorithmentests in der Brennkammer

Alles geht schnell, wenn im DLR in Lampoldshausen die Verbrennung in einem Triebwerk untersucht wird. Der Treibstoff wird eingespritzt und verbrennt. Das ganze Experiment dauert gerade mal so lange, wie man braucht, um diesen Satz laut zu lesen – drei Sekunden. Doch die Kameras nehmen währenddessen schon 30.000 Bilder vom Inneren des Triebwerks auf. Im Verhältnis zu diesem relativ kurzen Zeitraum ist das eine gewaltige Datenmenge – bis zu acht Gigabyte (GB) in drei Sekunden. Und auch im Vergleich zur Leistungsfähigkeit eines Menschen ist das viel. Niemand würde es schaffen, sich durch 30.000 Bilder zu klicken und Farbe sowie Ausbreitung der Flamme zu untersuchen, um schlussendlich eine Verbrennung zu optimieren. Lernfähige Algorithmen, die Artificial Intelligence, schaffen es jedoch, in den Bildern Muster zu finden und zu analysieren und sie dann mit denen von hunderten weiteren Testläufen zu vergleichen.

Vor ähnlichen Herausforderungen stehen Forscher in vielen Disziplinen, egal ob es Verbrennung, Neurobiologie oder Teilchenforschung ist. Deshalb beteiligen sich DLR-Wissenschaftler der Big-Data-Plattform auch am Helmholtz Analytics Toolkit (HeAT), einem Projekt mehrerer Helmholtz-Zentren. Dessen Ziel ist es, eine Sammlung von Algorithmen zu entwickeln, die künstliche Intelligenz und das sogenannte High Performance Computing vereinen. HeAT soll aus Daten lernen können und diesen Prozess selbstständig auf mehrere Computer oder Prozessoren aufteilen, um ihn zu beschleunigen. Das Projekt ist Teil der Initiative Helmholtz Analytics Framework. Die Ersten, die davon profitieren sollen, sind die DLR-Forscher in Lampoldshausen: Die Verbrennung ihres Triebwerks ist der erste DLR-Datensatz, mit dem HeAT arbeitet. In den kommenden Jahren soll die Algorithmen-Sammlung weiterentwickelt werden und dann für alle Helmholtz-Zentren zur Verfügung stehen.

### WIE STELLE ICH EINE HOHE QUALITÄT DER DATEN SICHER?

Auch die besten Analysetechniken versagen, wenn die Informationen unzureichend oder nicht vergleichbar sind. Die Big-Data-Plattform wird aus diversen Quellen gespeist: Planetenforschung, Luftverkehrsdatenmanagement oder Bürgerwissenschaften. Nicht selten finden sich darin Messfehler oder Datenlücken.

#### Wenn Laien Daten sammeln

Die größte Nähe zu einigen Forschungsgegenständen haben die Menschen, die sie selbst täglich erleben. Sie eröffnen den Forschern immer wieder neue Blickwinkel und bringen spezielle beziehungsweise lokale Expertise ein. Immer häufiger arbeiten deshalb Laien und Wissenschaftler bei sogenannten bürgerwissenschaftlichen Projekten zusammen.

„Solche Citizen-Science-Initiativen bergen ein enormes Potenzial für die wissenschaftliche Gemeinschaft und tragen nicht zuletzt auch zur Sichtbarkeit wissenschaftlicher Aktivitäten bei“, sagt Dr. Friederike Klan, die ein bürgerwissenschaftliches Projekt in der Big-Data-Plattform des DLR leitet. Zusammen mit ihrem Team möchte sie ein zentrales Problem der Bürgerwissenschaften angehen: die Datenqualität. Wenn hunderte oder tausende Menschen auf der Erde messen und ihre Ergebnisse zur Verfügung stellen, treten unterschiedlichste Probleme auf: Manche Daten bekommen die Forscher als Tabelle oder Text-Dokument, manche in einer Datenbank, mal sind Zeilen und Spalten vertauscht, häufig sind Einheiten unterschiedlich benannt oder abgekürzt, mal unterscheidet sich die Sprache, mal fehlen einzelne Daten ganz. Für den Bearbeiter ist es ein immenser Aufwand, alles zu vereinheitlichen, für den Computer kaum möglich. „Ohne zusätzliches Wissen kann der Computer Dinge wie Messgrößen und Einheiten nicht verstehen oder umrechnen“, sagt Klan. Ihr Team wolle die Software daher mit diesem Wissen ausstatten. Am Ende sollen die Daten dann ebenso automatisiert in verschiedenen Formaten der Forscherwelt zur Verfügung stehen.

### WIE KANN ICH AUS DEN DATEN TATSÄCHLICHES WISSEN GEWINNEN?

Intelligente Datenanalysemethoden – wie maschinelles Lernen – sollen helfen, aus Daten zuverlässig Wissen abzuleiten. Mehr als zwei Dutzend Projekte der Big-Data-Plattform widmen sich der Suche nach solchen Methoden. Unter anderem werden mit Hilfe von Erdbeobachtungsdaten Straßen und Straßenmarkierungen hochgenau bestimmt, um mit Echtzeit-Analysen freie Parkplätze in einer Stadt herauszufiltern.

### Millionen von Beobachtungen ergeben Einblicke in die Entwicklung von Himmelskörpern

Je mehr Forscher über Planeten, Monde und Asteroiden wissen, umso tiefer können sie in die Entwicklung des Sonnensystems blicken. Raumsonden liefern dazu immer mehr und immer bessere Daten. Das erfordert leistungsfähigere Methoden und Rechner; für Wissenschaftler öffnet dies aber auch neue Türen. Einer dieser Wissenschaftler ist der Planetenforscher Dr. Hauke Hußmann. Sein Projekt Planetary Geodetic Models will die Oberfläche, die Rotation, das Schwerfeld und komplexere Vorgänge wie Gezeiten von Himmelskörpern auf neue Weise analysieren. Dazu sollen drei Arten von Daten kombiniert werden: Bilder von der Oberfläche; Laufzeitmessungen eines Lasers, der mit hoher Präzision die Distanz zur Oberfläche misst; und Radio-Doppler-Daten, durch welche die Position und Geschwindigkeit der Raumsonde bestimmt werden.

„Forscher, die etwa den Rotationszustand eines Objekts ermitteln wollen, verwenden bisher deterministische Ansätze. Sie entwerfen also ein Modell auf der Basis vieler vereinfachender Annahmen, um mit der gewaltigen Datenmenge umgehen zu können“, sagt Hauke Hußmann. „Wir verfolgen einen stochastischen Ansatz. Das erlaubt es uns, relevante Parameter von komplexen Modellen mit Hilfe einer großen Anzahl von Beobachtungsdaten zu bestimmen.“ Die ganz ohne vereinfachende Annahmen erzielten Ergebnisse seien dadurch präziser, so der Planetenforscher.

Doch stochastische Ansätze sind aufwändig: Immense rechenintensive Kalkulationen müssen durchgeführt und mit den tatsächlichen Messungen verglichen werden. Für Oberflächenmodelle sind tausende von Bildern anhand von markanten Punkten in Übereinstimmung

zu bringen. Komplettiert werden die Datensätze mit etwa 100 Millionen Laufzeitmessungen des Laser-Altimeters und den jeweiligen Positionen und Orientierungen der Raumsonde. Zwei Methoden sollen die hohe Rechenzeit reduzieren: Viele Computer rechnen parallel und neben Prozessoren kommen auch leistungsstarke Grafikkarten zum Einsatz. 2022 soll die Software so weit sein, dass man sie mit den Daten der Missionen MESSENGER, Rosetta und Dawn füttern und so bisherige Modelle verbessern kann. Das Fernziel aber liegt im Jahr 2025, wenn die ESA-Mission BepiColombo den Merkur erreicht. Deren Informationen werden dann ebenfalls von der am Institut für Planetenforschung entwickelten Software verarbeitet.

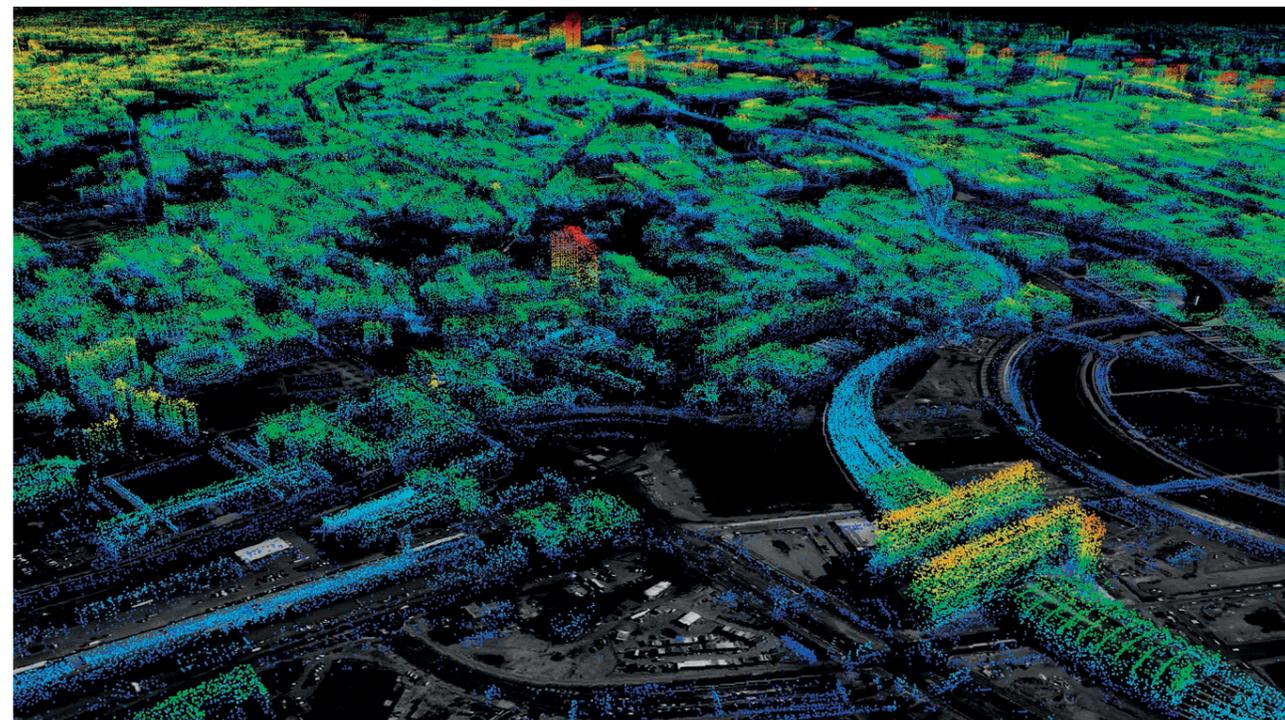
#### WELCHER GESELLSCHAFTLICHE NUTZEN KANN ERREICHT WERDEN?

Pilotdemonstrationen sollen Projekte der Big-Data-Plattform in den kommenden Jahren für die Bürger und die Wirtschaft nutzbar machen. Rettungskräfte bekommen im Krisenfall durch automatisch ausgewertete Erdbeobachtungsdaten Unterstützung und in der Leichtbauproduktion werden viele Prozesse durch massive Datenauswertung verbessert.

#### Gesundheitsrisiken für den Menschen berechnen

Umweltfaktoren wie Lufttemperatur, Strahlung, Feuchte, Wind sowie die chemische Zusammensetzung der Luft können die Gesundheit des Menschen in vielfältiger Weise beeinträchtigen. Schadstoffe in der Luft sind für Asthma oder Allergien mitverantwortlich, Hitzewellen belasten das Herz-Kreislauf-System. „Der Klimawandel verändert diese Faktoren zusätzlich. Unsere Analysen zeigen bereits

Im Rahmen der Mission TanDEM-X umkreisen zwei nahezu baugleiche Radarsatelliten nur wenige hundert Meter voneinander entfernt die Erde. Seit neun Jahren „tastet“ das Zwillingsspaar die Erdoberfläche mit Radarsensoren ab, wobei die enge Flugformation Aufnahmen aus verschiedenen Blickwinkeln ermöglicht – simultan und dank Radar sowohl bei Nacht als auch durch Wolken. Das Bild zeigt Berlin Mitte mit dem Hauptbahnhof. Einer Röntgenaufnahme gleich ist das „Skelett“ von Bauten zu sehen: die Ecken und Kanten, an denen die Radarstrahlen besonders stark reflektiert werden. Aus Zeitreihen derartiger Aufnahmen entstehen neben 3D-Stadtmodellen auch Karten, die Hebungen und Senkungen im Millimeterbereich abbilden, welche durch Baumaßnahmen oder Grundwasserentnahme verursacht worden sind.



deutlich eine Zunahme der extremen Witterungslagen. Der menschliche Organismus wird damit vor neue Herausforderungen gestellt“, sagt Prof. Dr. Michael Bittner. Sein Team arbeitet an einem Projekt, das den Einfluss von atmosphärischen Klima- und Umweltparametern auf die Gesundheit des Menschen möglichst individuell ermitteln soll.

Mit Daten von bodengebundenen Instrumenten und von Satelliten sollen Algorithmen das Gesundheitsrisiko für Personengruppen wie älteren und jungen Menschen oder auch für Personen, die ein besonderes Gesundheitsrisiko haben, tages- und später auch stundengenau modellieren. „Wir versuchen letztlich, die Information bis auf Ort oder Straße genau aufzulösen“, sagt Michael Bittner. In Zusammenarbeit mit Medizinern des DLR solle so in den nächsten Jahren ein Programm, etwa eine App, entstehen, sagt Bittner. Dort könnten Menschen Daten wie Alter und Vorerkrankungen eingeben, dazu ihr GPS anschalten und Feedback über ihre gefühlte Gesundheit geben. Aus dem Bewegungsmuster, dem modellierten Gesundheitsrisiko, den persönlichen Charakteristika und dem Feedback würde eine künstliche Intelligenz, gekoppelt mit numerischer Modellierung, dann Schlüsse ziehen – und die App-Nutzer warnen und beraten. Eine solche App könnte Fragen beantworten wie: Welcher Radweg zur Arbeit ist am wenigsten schadstoffbelastet? Wie viel müssen Menschen eines bestimmten Alters an einem besonders heißen Tag trinken? Und vieles mehr.

So die ambitionierte Zielsetzung. Der Weg dahin sei weit – derzeit seien viele medizinische Wirkungszusammenhänge noch unklar, räumt Bittner ein. Und die Big-Data-Techniken müssen so verfeinert werden, dass sie all diese Daten in Echtzeit auswerten und interpretieren können. Doch wenn die App einsatzbereit ist, ist sie ein mächtiges Werkzeug.



Rolf Hempel – Koordinator der Big-Data-Plattform im DLR

## MANN IM HINTERGRUND

**Rolf Hempel leitet die Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik im DLR. In der Raumfahrtforschung, so sagt er, wären Softwareentwickler lange Zeit eher Außenseiter gewesen. Trotzdem gelang ihm etwas Seltenes: Auf seine Art hat Hempel es in den Weltraum geschafft.**

Vernetzen und Kommunizieren, damit Tausende an einem Strang ziehen, das waren schon Arbeitsschwerpunkte von Rolf Hempel, bevor er 2001 zum DLR kam, wo er jetzt mit seinem Team in der Big-Data-Plattform über 50 Einzelprojekte und noch mehr Wissenschaftler zusammenbringt. Jedoch vernetzte er früher auf etwas andere Art. Um die Jahrtausendwende arbeitete er am japanischen Earth Simulator, dem stärksten Supercomputer seiner Zeit. Das Team, das Hempel leitete, war für die Kommunikationssoftware zwischen den Prozessoren im Supercomputer verantwortlich. Zusammen mit drei Kollegen ist er außerdem einer der Gründerväter des weltweit geltenden MPI-Standards, der die Kommunikation in Supercomputern vereinheitlicht hat.

Heute arbeitet der 62-Jährige nicht mehr selbst an der Vernetzung tausender Prozessoren. Als Leiter der Einrichtung Simulations- und Softwaretechnik vernetzt Hempel nun stattdessen Menschen und koordiniert Projekte. „Meine Arbeit findet jetzt im Hintergrund statt“, sagt er. In weißem Hemd und Sakko sitzt Hempel in seinem Büro im DLR Köln. Blaugraue Augen blicken aufmerksam und freundlich durch eine randlose Brille. „Als Einrichtungsleiter programmiert man nicht mehr wirklich selbst. Darum beneide ich meine Mitarbeiter“, fügt er hinzu.

Im Mathestudium war Programmieren eines seiner Hobbys. Für das Astronomische Recheninstitut (ARI) in Heidelberg schrieb er eine Software, die aus vielen hundert Beobachtungen eines Kleinplaneten eine optimale Bahn berechnete. Dann wurde Software sein Beruf.

Die Arbeit als Einrichtungsleiter rückte die Software zugunsten von Leitungsaufgaben wieder in den Hintergrund. In vielen Bereichen des DLR wie der Raumfahrtforschung rückte sie dafür in den Vordergrund, erinnert sich Hempel.

Dass die Bedeutung der Software von außen überhaupt wahrgenommen wird, war nicht immer so. 2010 noch sagte Hempel in einem Interview: „Im DLR wird viel komplexe Software entwickelt – aber das steht nicht so im Vordergrund.“ Unter richtiger Raumfahrtforschung habe man sich früher etwas Praktisches vorgestellt: Menschen, die in großen Versuchshallen Prototypen testen und bearbeiten und nicht hinter dem Bildschirm sitzen und Software schreiben, sagt der Mathematiker.

Rolf Hempels Büro sieht nicht aus wie eine Versuchshalle. Auf dem aufgeräumten Tisch steht kein Triebwerkprototyp, sondern ein Bildschirm. Trotzdem hat er geschafft, wovon viele Raumfahrtforscher träumen: Er ist im Weltraum. Der Beweis hängt an der Wand seines Büros. Hempels Sohn hat es in einer Zeichnung des Sonnensystems verewigt: Zwischen Mars und Jupiter kreist dort 9820 Hempel auf seiner Bahn; etwa 2,3 Kilometer ist sein Durchmesser. Es ist ein Kleinplanet, den die Internationale Astronomische Union nach dem Mathematiker benannt hat.

Hempel zählte in seiner Schul- und Studienzeit zu Deutschlands aktivsten Kleinplanetenjägern. Damals entstand auch die Software für das Astronomische Recheninstitut. 25 Jahre später traf Hempel den Fachastronomen Dr. Schmadel vom ARI wieder. Was dieser ihm berichtete, lässt Hempel heute noch auflachen: Ohne es zu wissen, war er die 25 Jahre seit ihrem letzten Treffen Teil des Recheninstituts geblieben – im Hintergrund. Denn Dr. Schmadel erzählte, dass er die Software, die Hempel in Studientagen geschrieben hatte, noch immer zur Bahnberechnung von Kleinplaneten benutze.



Prof. Dr. Xiaoxiang Zhu

forscht am DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung und leitet dort die Abteilung Earth Observation Data Science. Sie unterrichtet zudem an der Technischen Universität München und wurde dort 2015 im Alter von 30 Jahren eine der jüngsten Professorinnen in Deutschland. Ihre Forschungsarbeit wurde bereits mehrfach ausgezeichnet: So erhielt sie 2018 den Early Career Award der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina für ihre herausragenden Leistungen in der satellitengestützten Erdbeobachtung zur Erfassung der weltweiten Urbanisierung sowie von Naturgefahren.

# WIE AUS DATENBERGEN WISSEN WIRD

**Prof. Dr. Xiaoxiang Zhu versteht sich als Brückenbauerin. Sie erschließt das, was Satelliten zur Erde senden, für die Wissenschaftler, kommerziellen Nutzer und Entscheidungsträger, die aus diesem riesigen Datenberg konkrete Informationen haben wollen. Die 34-jährige Wissenschaftlerin vom DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung muss dafür viele Bereiche miteinander verschmelzen: die Fernerkundung der Erde, die Verarbeitung von Daten aus den unterschiedlichsten Quellen und die Informatik. Um die Welt im Wandel zu verstehen und Geoinformationen zu gewinnen, nutzt sie künstliche Intelligenz (KI). In folgendem Beitrag erzählt sie, was damit möglich ist.**

## Gespräch zur DLR-Forschung an künstlicher Intelligenz

**Wo steckt denn in Ihrer Forschung das Intelligente? Was kann KI, was ein großes Team aus Wissenschaftlern nicht kann?**

■ Meinen Sie damit, Satellitendaten manuell auszuwerten? (lacht) Das ist nicht machbar ...

**Weil die Datenmengen zu groß sind oder weil es zu schwierig ist, die Daten sinnvoll zu kombinieren?**

■ Beides. Durch Neuentwicklungen wie das Copernicus-Satellitenprogramm gibt es so viele frei zugängliche Daten von Erdbeobachtungssatelliten, dass die klassischen Verfahren nicht mehr ausreichen, um effizient Informationen daraus abzuleiten. Heute sind das schon 20 Petabyte, in drei Jahren werden es 60 Petabyte sein. Wir brauchen dafür datengetriebene Analysen – und das kann die künstliche Intelligenz.

**Welche Informationen können Sie denn aus der Erdbeobachtung mit künstlicher Intelligenz gewinnen?**

■ Zurzeit arbeite ich mit meinem Team und anderen Kollegen aus dem Erdbeobachtungszentrum des DLR unter anderem an der globalen Kartierung von Städten. Schon jetzt wohnen mehr Menschen in Städten als im ländlichen Raum. Als Informationsbasis auf globaler Ebene haben wir nur ganz wenige Informationen – oftmals nur die Unterscheidung, wo es Gebäude gibt und wo nicht. Viele der Migrationsströme vom Land in die Stadt enden in Slums oder in formellen Siedlungen, und wenn man dort wirklich etwas verbessern möchte, braucht man zuerst bessere Informationen. Wir fusionieren zum Beispiel optische Daten aus dem Copernicus-Programm mit denen unserer deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X und generieren 3D-Modelle von allen Gebäuden. Wir können dann auch auf die Funktion der Gebäude schließen und zum Beispiel die Bevölkerungsdichte ableiten.

**Sie haben ja schon erwähnt, dass unterschiedliche Daten anfallen. Sie verwenden aber auch Social-Media-Daten. Wie bringen Sie das zusammen?**

■ Optische Daten liefern uns die Umrisse von Gebäuden, Radardaten helfen, die Höhe der Gebäude abzuleiten. Wenn man diese zwei Informationen kombiniert, bekommt man ein wertvolles 3D-Modell. Und hier verwenden wir als Methodik natürlich Deep Learning und andere Verfahren des maschinellen Lernens. Wenn wir zum Semantischen kommen, also zum Beispiel zwischen Wohnhäusern und kommerziellen Gebäuden unterscheiden wollen, dann ist es noch komplizierter. Was wir dann zusätzlich verwenden können, sind Social-Media-Bilder: Die sind vom Boden aus aufgenommen, und man sieht nicht nur das Dach, sondern auch die Fassade. Dann können wir noch Textnachrichten von Social Media verwenden. Wir wissen beispielsweise, dass in einem Wohngebäude morgens und abends viele Tweets versendet werden, in einem Bürogebäude hingegen vor allem tagsüber. Man kann auch die Inhalte der Tweet-Texte analysieren, denn in Büro- und Wohngebäuden werden unterschiedliche Themen diskutiert.



Bilder: ©Xiaoxiang Zhu, DLR/TU München

Dieses dreidimensionale Modell von München wurde mit nur fünf TanDEM-X-Aufnahmen erstellt. Die Grundflächen der Gebäude wurden aus optischen Daten rekonstruiert und die Höhen (Farben) aus der Punktwolke von TomoSAR (Tomographic synthetic aperture radar). Wenn man beispielsweise global Probleme urbaner Siedlungen lösen möchte, braucht man genaue Informationen über die Gebäude. Diese bekommen die Wissenschaftler durch intelligentes Kombinieren unterschiedlicher Datenquellen.

**Wenn man mit solchen persönlichen Daten arbeitet – wie ist dann der Datenschutz gewährleistet? Beschäftigen sich die Wissenschaftler auch damit?**

■ Sicher! Wir erhalten die Daten natürlich ohne Nutzerinformationen und Nutzernamen, und auch nur von den Nutzern, die der wissenschaftlichen Verwertung ihrer veröffentlichten Daten zugestimmt haben. Zudem ist unser Ziel, global konsistente Informationen abzuleiten – da arbeiten wir nicht mit hoher Auflösung.

**Wie filtert man denn genau jene Tweets heraus, die verwertbare Informationen bieten?**

■ Da sind wir beim Thema Data-Mining. Wir entwickeln Tools, mit denen wir in einem Gebiet zufällig ausgewählt ein Prozent der Tweets abfragen können. Dann müssen wir Algorithmen finden, um diesen unstrukturierten Tweets eine Struktur zu geben. Anschließend folgt das Information-Mining: Was sind die relevanten Informationen, welche inhaltlichen Aussagen kann ich ableiten? Schließlich muss ich diese Social-Media-Daten mit meinen Satellitendaten kombinieren.

**Kommen wir noch einmal auf den Nutzen zurück: Wer muss wissen, wie hoch Gebäude sind oder wie sie genutzt werden?**

■ Ein Beispiel: Im indischen Mumbai gab es in den letzten Dekaden 50.000 Feuer. Rund zwei Drittel davon entstanden durch falsche und illegale Verlegung und Unterdimensionierung von Stromkabeln. Wenn ich diese Gefahr ausschalten will, brauche ich Informationen: Wie viele Gebäude habe ich hier? Wie viele Leute wohnen darin? Mit solchen Basisinformationen können Wasserverteilung, Ausbildung oder auch das Gesundheitswesen besser organisiert werden. Was wir mit künstlicher Intelligenz und Big Data schaffen, hilft den Menschen in Entwicklungsregionen.

**Glauben Sie, dass die KI auch Ihre Arbeit oder die Ihrer Kollegen verändern wird? Werden zukünftig weniger Wissenschaftler benötigt?**

■ Wenn ein Algorithmus nur gelernt hat, was eine Katze und was ein Hund ist, wird er nicht wissen, was ein Auto oder ein Flugzeug ist. Das heißt, die Menschen sind in der Entwicklung und im Training der

Algorithmen sehr wichtig. Der Bedarf an Informatikern und Datenwissenschaftlern ist sehr groß, und diese Leute zu bekommen, ist super schwierig. Internetfirmen und die Autoindustrie sind bei der Suche starke Konkurrenten. Dann muss man diese Experten auch erst einmal für die Erdbeobachtung begeistern. Daher investieren wir auch in die Lehre. Es gibt in der Erdbeobachtung so viele wertvolle Daten, dieses Potenzial nutzen wir noch nicht einmal ansatzweise. Und es gibt noch viele innovative Anwendungen. Das werden wir auch den Data Scientists und Informatikern nahebringen. Dann werden sie den Marktwert der Erdbeobachtung besser erkennen und das Interesse wird steigen.

**Wie weit sind Sie bei der Verknüpfung der künstlichen Intelligenz mit der Beobachtung des globalen Wandels?**

■ Beim maschinellen Lernen in der Erdbeobachtung sind wir schon seit Jahrzehnten unterwegs; die datengetriebene Analyse von Satellitendaten ist seit 30 Jahren ein klassisches Thema am Erdbeobachtungszentrum des DLR. Aber jetzt ist es ein heißes Thema geworden: Erstens durch die große Menge an Satellitendaten, die heute verfügbar ist. Zweitens gibt es jetzt so viel Rechenpower, dass man große Modelle trainieren kann. Und drittens gibt es Durchbrüche im maschinellen Lernen durch Deep Learning. An der Verwendung von Daten aus den sozialen Medien forschen wir allerdings erst seit zwei, drei Jahren.

**Wenn Sie in 30 oder 40 Jahren auf die Entwicklung der künstlichen Intelligenz zurückblicken – was würden Sie dann gerne erlebt haben?**

■ Worüber ich mich sehr freuen würde, wäre, wenn wir diesen Hype der KI zu einer Bedeutung für die KI in der Erdbeobachtung gebracht hätten. Wenn dann durch die Verfahren, die wir entwickelt haben, ein Mehrwert geschaffen worden ist. Wenn für gesellschaftliche Probleme, für die es keine Lösung gab, durch unsere Geoinformationen Lösungen gefunden worden sind.



Das Interview führten **Manuela Braun** und **Peter Poete**, strategische Kommunikation Raumfahrt beziehungsweise Think Tank im DLR



# DIE GRANDIOSE IDEE KLEINER LUFTSCHÜBE



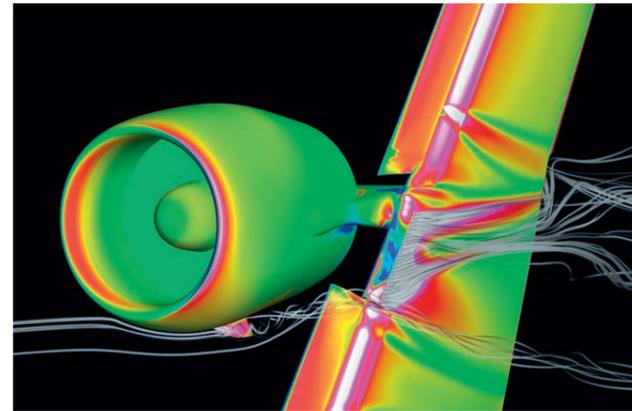
**E**s klingt simpel: Feine Luftstöße sorgen für besseren Auftrieb. Doch die Angelegenheit ist technisch hochkomplex: Um Luft über eine Flugzeugtragfläche zu blasen, muss der Flugzeugflügel kleine feine Schlitze bekommen, durch welche die Luft ausgestoßen werden kann. Periodisch, „gepulst“, wie die Fachleute sagen, strömt sie aus Kammern im Flügelinnern auf die Tragfläche. Sie erzeugt kleine Wirbel. Die Wirbel vermischen die Luft an der Flügeloberfläche mit der umgebenden Luftströmung und verteilen so die Energie der Strömung auch in energiearme Bereiche. Das Ergebnis: Strömungsablösungen werden unterdrückt. Der Auftrieb nimmt zu, der Luftwiderstand verringert sich. Das Flugzeug verbraucht weniger Treibstoff und kann zugleich langsamer fliegen, Landebahnen müssten für größere Maschinen nicht noch länger werden. Eine Technik, die zum effizienten und emissionsarmen Fliegen der Zukunft einen wichtigen Beitrag leisten kann – und die jetzt erstmals an einem vollständigen Flügelmodell im kryogenen Windkanal Köln (DNW-KKK) getestet wurde.

Im kältesten Windkanal der Welt zeigten Forscher, wie sich Strömung durch Druckluft-Ausblasung steuern lässt

Von Yvonne Buchwald

Ein Raunen geht durch die Messwarte des Kanals in Köln. Dann ein begeisterter Ausruf. Stille. Plötzlich Lachen und fröhliche Ausrufe. Eine ganze Weile geht das so. Vlad Ciobaca steht mit seinen Kollegen vor den Bildschirmen des Kontrollraums. Ganz konzentriert schauen alle auf das, was sich dort vom Geschehen im Windkanal erkennen lässt: Kleine Fäden, die auf der Flügeloberfläche ihres Windkanalmodells kleben, flattern wild im Wind der Messstrecke umher. Dann schalten die Wissenschaftler ihr neues System ein, die stoßweise Ausblasung von Luft durch die sechs kleinen Doppelschlitze an der Vorderkante des Flügels beginnt – und prompt liegen die kleinen Fäden flach an der Flügeloberfläche an. Die Wissenschaftler zeigen erleichtert auf die ganz offensichtliche Wirkung ihrer Luftausblasung – die Strömung liegt an, das System funktioniert. Zur Sicherheit noch einmal abschalten, und dann ... wieder drücken sie den Knopf, warten, beobachten, ja, es klappt, die Fädchen liegen wieder an. Flattern, liegen an, flattern, ...

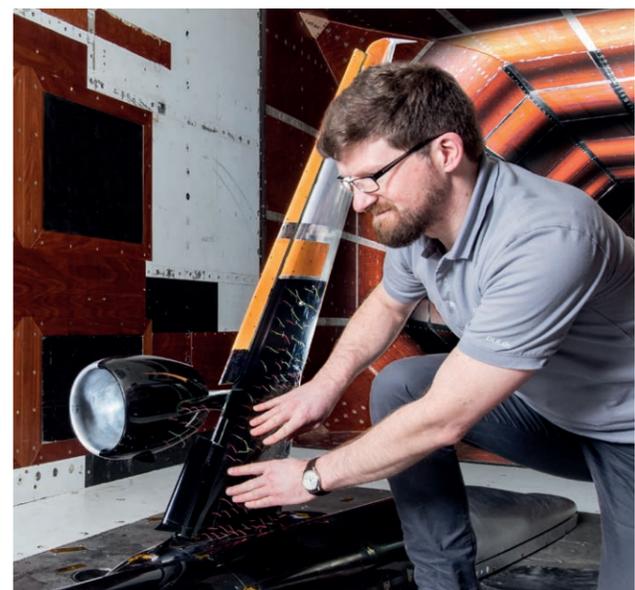
Vlad Ciobaca ist begeistert. „Das ist ein tolles Gefühl, wenn man so direkt sieht, wie unser System zur aktiven Strömungskontrolle funktioniert.“ Ein ausgetüfteltes System ist es, an dem die Wissenschaftler schon seit einigen Jahren arbeiten und forschen. „Das Besondere an diesem Versuch ist, wo und wie wir messen“, erläutert der Luft- und Raumfahrtingenieur aus dem DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik. Erstmals steht ein kompletter 3D-Flügel im Windkanal, in dessen Vorderkante die Aktuationskammern, aus denen die Druckluft kommt, eingebettet sind. Zudem können unterschiedliche Triebwerke am Modell angebracht und vermessen werden. Das ist wichtig, denn: „Uns geht es darum, die Strömung am Übergang vom Triebwerk zur Oberseite der Tragfläche zu beeinflussen – vor allem dann, wenn besonders große Triebwerke am Flügel hängen.“ Ein solches Ultra-high-bypass-ratio-Triebwerk (UHBR) haben die Forscher dafür am Modell angebracht. Dafür mussten sie allerdings auch den Vorflügel zwischen Triebwerksgondel und Flugzeuggruppe kürzen. Ciobaca erklärt: „Die immer größeren Triebwerke moderner Passagiermaschinen erbringen zwar immer mehr Leistung, doch die Gondeln beeinflussen durch ihre riesigen Ausmaße die Strömung an der Flügeloberfläche.“ Circa 30 Prozent größer als die durchschnittlichen Triebwerke an einem heutigen



An den kleinen Kontrollfäden am Flügelmodell (links) können die Wissenschaftler im Windkanal die Wirkung der ausgeblasenen Druckluft ablesen: Wird der Wind in der Messstrecke angestellt, flattern sie wild umher. Sobald das Strömungskontrollsystem eingeschaltet und Luft durch die Schlitze an der Flügelkante ausgestoßen wird, liegt die Strömung – und mit ihr die Fäden – am Flügel an. Die Computersimulation (rechts) zeigt den Strömungsverlauf am Übergang eines großen UHBR-Triebwerks zur Flügeloberfläche. Gut zu erkennen sind die kleinen Doppelschlitze an der Vorderkante des Flügels, durch die Luft ausgeblasen wird. Die Stromlinien liegen dank der Ausblasung hinter den Luftschlitzen an der Oberfläche der Tragfläche an, die Strömungsablösungen werden an dieser Stelle unterdrückt.

Kurzstreckenflugzeug wie dem A320neo müsse man sich diese künftigen Antriebsmaschinen vorstellen. Zudem hat der Vorflügel weniger Platz und muss – wie beim Windkanalmodell realistisch nachgebaut – verkürzt werden. Zusammen führe das dazu, dass Flugzeuge insbesondere bei Starts und Landungen immer schneller fliegen müssten, um den notwendigen Auftrieb zu erhalten. Und damit müssten auch die Landebahnen immer länger werden.

Das Konzept zu fluidischen Aktuatoren, also einer stoßweisen Ausblasung, stammt aus den Siebzigerjahren. Es wurde immer weiterentwickelt, bislang aber nur an Forschungsflugzeugen praktiziert. „Wir sind die Ersten, die es am komplexen Triebwerk-Flügel-Übergang testen – und das unter beinahe realen Bedingungen“, sagt der Aerodynamiker. Denn der kryogene Windkanal biete die einzigartige Möglichkeit, die für die Flugbedingungen ausschlaggebenden Reynolds-Zahlen einzustellen. Dafür werden mehrere Tonnen Stickstoff in die Messstrecke gepumpt. In der kalt und weniger zäh gemachten Luft wirken dann am Modell trotz Skalierung die annähernd gleichen physikalischen Kräfte wie bei realen Starts und Landungen. Während Ciobaca spricht, sinkt die Temperatur im Innern des Kanals auf eisige minus 170 Grad Celsius, die Luft rauscht dann mit einer Geschwindigkeit von bis zu 360 Stundenkilometern durch die Röhre.



„Wir haben festgestellt, dass der Effekt des Systems von der Höhe der Reynoldszahl abhängig ist“, berichten Ciobaca und seine Kollegen von den ersten Beobachtungen und Ergebnissen. Dann müssen die Wissenschaftler etwas Geduld haben: Das Modell wird durch die Kanalschleuse heruntergelassen, die Messstrecke geschlossen. Änderungen am Modell können die Wissenschaftler erst vornehmen, wenn in die Schleuse wieder genügend Wärme und Sauerstoff eingeführt wurden. Anschließend heißt es abermals Trockenlegen und Kühlen, dann geht es für den 1,30 Meter langen Modellflügel wieder durch die Schleuse hinauf in die Messstrecke. Weitere Tests folgen. Etwa eine Woche lang sind die Forscher im Mehrschichtbetrieb im Kanal, nehmen Einstellungen vor, kontrollieren die Daten.

#### Numerische Berechnungen und Windkanalversuche liefern wichtige Ergebnisse für die Industrie

Die Aerodynamiker kennen den Windkanalltag schon. Zwar haben sie in den vergangenen Jahren vor allem Computerrechnungen durchgeführt und ihr System zur aktiven Strömungskontrolle mittels Simulationsdaten weiterentwickelt, doch bereits ein Jahr zuvor konnten sie ihr System im Windkanal testen: „Das war ein besonderer Versuch“, berichtet Ciobaca über die Vorarbeit zu den aktuellen Forschungen. „Wir haben ein riesiges Modell im Maßstab 1:2 in dem großen Moskauer Windkanal TsAGI getestet.“ Dieser Versuch im Zentralen Aerohydrodynamischen Institut in Moskau lief über knapp drei Wochen. Das große Modell zu entwerfen und anschließend in der überdimensionalen Messstrecke zu sehen, war für alle ein besonderes Erlebnis. „Die Kollegen vom TsAGI haben das Modell, einen Teilausschnitt vom Flügel mit einer UHBR-Triebwerksgondel davor, gebaut und wir haben es aerodynamisch ausgelegt und im Windkanal platziert“, berichtet Ciobaca. Bei den Versuchen in Moskau sei es darum gegangen, erst einmal zu testen, ob das System im Großformat funktioniert. „Die Technik hat wunderbar gearbeitet, es ist unter realistischen Lasten zu keinerlei Störungen oder Fehlern gekommen und die Luftausblasung hat die erwarteten Strömungsbedingungen geschaffen“, resümiert der DLR-Wissenschaftler zufrieden.

Im kryogenen Windkanal Köln der Stiftung Deutsch-Niederländische Windkanäle (DNW-KKK) wurde die Wirkung der „gepulsten Ausblasung“ zur aktiven Strömungskontrolle am Modell eines vollständigen Flügels gemessen. Dazu wurden in den Vorflügel des Modells kleine Aktuationskammern eingebaut, aus denen mittels eines winzigen Röhrchens Druckluft über sechs kleine Doppelschlitze an die Flügeloberfläche geblasen werden kann. Vlad Ciobaca vom DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik leitet die Messungen und überprüft den Einbau des Modells.

Beim Versuch in Köln nun stehe nicht die Systemfähigkeit an sich im Vordergrund, sondern die aerodynamische Gesamtwirkung. Daher werde jetzt nicht nur ein Ausschnitt, sondern die Strömung an einem Gesamtflügelmodell gemessen. Die klare Aussage: „Wir haben hier nachgewiesen, dass lokale Ablösungen am Triebwerk-Flügel-Übergang bei realen Flugbedingungen durch das periodische Ausblasen von Druckluft unterdrückt werden können. Und im Gegensatz zu konventionellen Strömungskontrollsystemen verbraucht das gepulste Ausblasen weniger Luft und Energie; und es ist fast wartungsfrei. Für die Industrie ist diese Technologie daher von sehr großem Interesse“, sagt Ciobaca.

Was mit numerischen Untersuchungen in den vergangenen Jahren begonnen hat, im Rahmen des EU-Projekts AFLoNext technisch weiterentwickelt und im Großversuch im Windkanal T-101 des TsAGI getestet wurde, das wird nun im Rahmen des EU-Projekts Clean Sky 2 fortgeführt. Dabei haben die DLR-Wissenschaftler immer viele Partner an ihrer Seite: „Entwickelt wurde die Technologie an der TU Berlin, danach wurde sie in mehreren Projekten verfeinert und geprüft“, weiß Ciobaca aus der langjährigen Forschung zur aktiven Strömungskontrolle. „Im aktuellen Projekt Clean Sky 2 arbeiten wir eng mit dem Flugzeughersteller Airbus, dem Start-up-Unternehmen Navasto, dem niederländischen Luft- und Raumfahrtzentrum NLR und dem DNW-KKK zusammen.“ Das große Ziel von Ciobaca und seinen Kollegen: „... das System nach den Messungen im KKK irgendwann im Flugversuch testen. Und in die Anwendung bringen. Natürlich ...“

Yvonne Buchwald ist im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik verantwortlich für die interne und externe Kommunikation.



Im Herbst 2017 wurde im Rahmen des EU-Projekts AFLoNext der erste Windkanalversuch durchgeführt, um das Strömungskontrollsystem zu testen. Hierbei handelte es sich um einen außergewöhnlichen Großversuch: Die DLR-Wissenschaftler reisten nach Moskau, um dort im größten Windkanal Europas – im Kanal T-101 des Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI) – ihre Technologie an einem drei mal fünf Meter messenden Hochauftriebsmodell auf ihre Funktionalität zu testen.

## GLOSSAR

### Reynoldszahl

Der Physiker Osborne Reynolds entdeckte im 19. Jahrhundert eine wesentliche Eigenschaft von Strömungen: Der Punkt, an dem eine laminare, also gleichmäßige, geordnete Strömung in eine turbulente, also chaotische, ungeordnete Strömung umschlägt, ist von drei Dingen abhängig: von der Geschwindigkeit, der Reibung und der Viskosität, also der Zähigkeit der Strömung. Vereinfacht: Je schneller ein Gas oder eine Flüssigkeit strömen und je geringer die Reibung – etwa durch umgebende Oberflächen – ist, desto leichter bilden sich Wirbel. Und je viskoser, also je zäher ein Gas oder eine Flüssigkeit ist, desto schwerer hat es die Turbulenz. Reynolds fasste die drei entscheidenden Größen in einer dimensionslosen Zahl zusammen. Gase und Flüssigkeiten mit der gleichen Reynoldszahl verhalten sich generell gleich. Diese hydrodynamische Ähnlichkeit erlaubt es Wissenschaftlern, Windkanalmessungen an verkleinerten Modellen vorzunehmen und die dabei beobachteten aerodynamischen Eigenschaften auf die Originalgröße zu übertragen. Dabei müssen sie nur darauf achten, die Strömungsverhältnisse in der Messstrecke so einzustellen, dass die Reynoldszahl derjenigen beim Flug des realgroßen Flugzeugs gleicht.

### Strömungsablösung

Bei der Umströmung eines Körpers erfolgt stets eine reibungsbehaftete Interaktion zwischen Oberfläche und der umgebenden Luft. Diese Interaktion führt dazu, dass die Strömung nah an der Wand gebremst wird. Hierbei wird die kinetische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Darüber hinaus muss die Strömung genügend Energie aufweisen um steigende Drücke auf der Oberfläche des Körpers zu überwinden. Hat die Strömung hierfür nicht mehr ausreichend Energie, kommt es zu einer Strömungsablösung und die Luft folgt nicht mehr der Kontur des Körpers. Strömungsablösungen sind immer mit einem deutlichen Anstieg des Widerstands verbunden.

### TsAGI

Zentralny Aerogidrodinamitscheski Institut  
Zentrales Aerohydrodynamisches Institut

### NLR

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium,  
Nationales Luft- und Raumfahrtlabor der  
Niederlande

### DNW-KKK

Stiftung Deutsch-Niederländische Windkanäle –  
kryogener Windkanal Köln

### AFLoNext

Active Flow Loads & Noise control on next  
generation wing



Dr. Andreas Klöckner, Koordinator der DLR-Forschung zum elektrischen Fliegen

## REVOLUTIONIERT DER ELEKTROANTRIEB DIE LUFTFAHRT?

**D**ie Vision vom sicheren, effizienten, leisen und klimaverträglichen Luftverkehr der Zukunft steht im Zentrum der DLR-Luftfahrtforschung. Für Andreas Klöckner ist der elektrische Antrieb ein wichtiger Teil davon. Das überrascht nicht, wenn man weiß, dass der promovierte Luftfahrtingenieur im DLR das Forschungsthema elektrisches Fliegen koordiniert. Hybrid-elektrische Verkehrsflugzeuge haben das Potenzial, die Mobilität zu revolutionieren – und diese Zukunft ist bereits zum Greifen nah. Vor welchen Forschungsaufgaben die Wissenschaftler des DLR heute noch stehen und welche Innovationsziele erreicht werden müssen, bevor die E-Mobilität abhebt, erklärt Andreas Klöckner in diesem Magazin-Beitrag.

Ein Interview mit Dr. Andreas Klöckner zum elektrischen Fliegen

### Elektroautos gehören mancherorts bereits heute zum Stadtbild. Wann erobert die Elektromobilität auch die Luft?

Die Entwicklung hin zu zunehmend elektrifizierten Flugzeugen ist richtig und wichtig, denn die Luftfahrt steht vor großen Herausforderungen. Der elektrische Antrieb kann darauf eine Antwort sein. Bereits jetzt macht man den Luftverkehr für etwa fünf Prozent der globalen Klimawirkung verantwortlich. Aber der Bedarf an Mobilität in der Luft steigt stetig weiter. Der internationale Verband der Fluggesellschaften IATA geht von einer Verdoppelung des Luftverkehrs etwa alle 20 Jahre aus. Wenn wir die Vorgaben der Europäischen Kommission erreichen wollen, das heißt, wenn wir bis zum Jahr 2050 den Ausstoß von Kohlendioxid um 75 Prozent reduzieren wollen, dann müssen wir jetzt anfangen, über radikale Änderungen unseres Lufttransportsystems nachzudenken.

### Steht die Luftfahrt also vor einer elementaren Wende?

Ja. Der elektrische Antrieb ist eine radikale Änderung. Stellen Sie sich vor, wir nutzen für den Antrieb des Propellers oder des Fans einen Elektromotor statt der bisher üblichen Gasturbine. Diese zunächst einfache Änderung zieht einen ganzen Rattenschwanz von Anpassungen nach sich. Zum einen müssen wir die elektrische Energie irgendwie bereitstellen. Das können wir idealerweise mit Batterien oder Brennstoffzellen tun. Oder wir nutzen einen Elektrogenerator auf einer Wellenleistungsturbine. Wahrscheinlich brauchen wir aber eine hybride Lösung mit mehreren Energiequellen, die beispielsweise unterschiedliche Flugphasen abdecken. Ähnliche Überlegungen müssen wir für die Verteilung der Leistung im Flugzeug anstellen. Hier stehen die technischen Grenzen der Spannungsniveaus und Stromstärken im Fokus, zum Beispiel Verlustwärme und Überschlänge. Deshalb müssen wir auch supraleitende Lösungen mitdenken. Und letztlich muss die Leistung in Vortrieb umgewandelt werden. Neben den üblichen Flugzeugkonfigurationen werden durch den elektrischen Antrieb auch Konfigurationen mit verteilten Antrieben, Grenzschichtabsaugung oder senkrechtstartende Luft-Taxis möglich.

### Elektrisch zu fliegen ist also nicht mehr nur eine Vision?

Seit einigen Jahren besteht zunehmendes Interesse an dem Thema. Dies schlägt sich in steigenden Forschungsinvestitionen nieder. Beispielsweise ziehen Airbus und Siemens dafür 200 Mitarbeiter an ihrem neuen Standort Ottobrunn zusammen. Das Luftfahrtforschungsprogramm des Bundes widmet eine von sechs Programmlinien explizit dem elektrischen Fliegen und auch die EU fördert millionenschwere Projekte zum elektrischen Fliegen. Diese Investitionen sind auch notwendig. Denn falls sich elektrisches Fliegen durchsetzt, dann hat das immense Auswirkungen auf die Zulieferpyramide der Luftfahrtindustrie. Die beiden Bestandteile des Flugzeugs, also die Zelle und das Triebwerk, werden nicht mehr im heutigen Maße separat zu betrachten sein. Damit werden sich die Antriebshersteller auf Augenhöhe mit den Flugzeugherstellern bewegen. Manche Experten sprechen bereits davon, dass die Zelle um den Antrieb herum gebaut werden wird.

### Welche Motivationen stecken hinter den zunehmenden Forschungsaktivitäten um elektrisches Fliegen und den großen Investitionen der Flugzeughersteller?

Elektrisches Fliegen verspricht im Wesentlichen drei Vorteile: Als Erstes ist rein elektrisches Fliegen „lokal emissionsfrei“. Das bedeutet: kein Schadstoffausstoß vom Flugzeug. Auch die Lärmbelastung, sowohl am Flughafen als auch in der Kabine, könnte signifikant gemindert werden. Als Zweites ist zu erwarten, dass die elektrischen Systeme dank der geringeren Anzahl beweglicher Teile auch weniger Kosten in Herstellung und Wartung verursachen werden. Allerdings stehen wir in punkto Massenherstellung, Alterung und Wartung zentraler Komponenten wie Batterien noch vor großen Herausforderungen. Und der dritte Vorteil: Elektrische Antriebe ermöglichen komplett neue Flugzeugkonfigurationen, die den Treibstoffverbrauch und damit die Emissionen weiter reduzieren dürften. In Summe rücken mit dem elektrischen Fliegen völlig neue Transportleistungen in den Bereich des Möglichen: Mit einem leisen, sauberen, kostengünstigen

Verkehrsmittel wären zum Beispiel fliegende Zubringerdienste direkt aus dem Stadtzentrum zum nächstgrößeren Flughafen durchaus denkbar. Ein Szenario, dem sich eine ganze Reihe von Start-ups bereits heute verschrieben hat ...

### Ein erfolgreiches Zusammenspiel all dieser Komponenten würde also ganz neue Mobilitätskonzepte ermöglichen. Wie werden E-Flieger das Bild der Luftfahrt verändern?

Elektrische Kleinflugzeuge für den Hobbybereich gibt es ja bereits. Auch bei Segelflugzeugen sind elektrische Hilfsmotoren schon seit Jahren verbreitet. Ausgehend vom Bereich der „Allgemeinen Luftfahrt“ werden elektrische Flugzeuge weitere Nischen erobern. Vielleicht werden in einigen Jahren tatsächlich die ersten elektrischen Luft-Taxis gut situierte Kunden durch Megacitys wie São Paulo oder Mexiko Stadt transportieren; das setzt aber auch eine veränderte Luftraumstruktur in Städten voraus. Mit der Zeit werden elektrische Antriebe sowohl einen größeren Kundenstamm als auch größere, kommerzielle Flugzeuge erreichen. Die größten Veränderungen dürften sich zunächst regional und national abspielen: Ich denke dabei an Zubringerdienste, die sich an kleineren Flughäfen etablieren, oder an ein weiter in die Fläche gehendes Lufttransportnetz. Das wäre insbesondere für viel reisende Geschäftsleute vorteilhaft. Bis wir – dann mit Hybrid-Antrieb – elektrisch über den Ozean fliegen, wird es allerdings noch eine Weile dauern.

### Norwegen plant bis 2040 den Umstieg auf Elektroflugzeuge. Wie schätzen Sie die Erreichbarkeit dieses Ziels ein?

Das ist ambitioniert, aber für Kurzstreckenflugzeuge durchaus realistisch. Heute schaffen wir es bereits, zwei bis vier Personen über mehrere hundert Kilometer elektrisch zu transportieren. Mit unserer Brennstoffzellenforschung denken wir an Reichweiten bis zu 1.500 Kilometer. Damit ließe sich Norwegen schon fast ganz überfliegen. Die meisten Strecken dort sind aber deutlich kürzer, häufig um die 500 Kilometer. Die Herausforderung liegt in der Skalierung auf

Ansicht eines vom DLR geplanten nationalen Erprobungsträgers für elektrisches Fliegen. Mit ihm sollen Flüge eines elektrifizierten Passagierflugzeugs für den kommerziellen Luftverkehr durchgeführt werden.





nötigen Tiefe und bis hin zur Demonstration zu verfolgen. Und auch international gibt es nur eine Handvoll vergleichbarer Einrichtungen. Dazu kooperieren wir mit einem wissenschaftlich hervorragenden universitären Umfeld und mit innovationsbereiten Industrieunternehmen. Man merkt dabei auch, dass die Grenzen zwischen der traditionellen Luftfahrt und anderen Industriebereichen zusehends verschwimmen. Beim elektrischen Fliegen ist es genauso wichtig, die Großen der Luftfahrt an Bord zu haben, wie auch die traditionell eher weniger luftfahrt-affinen Unternehmen aus der Elektrotechnik. Zusätzlich gibt es eine ständig wachsende Zahl von kleinen Unternehmen und Start-ups, die die nötige Agilität in das System bringen. Was wir jetzt als Nächstes brauchen, ist tatsächlich ein Forschungsflugzeug, an dem wir all die Technologien erproben können, die wir für das elektrische Fliegen benötigen, und das allen Beteiligten zugänglich ist. Das DLR sollte hier eine integrative Rolle spielen. Und dazu sind wir auch bereit.

**Wie sieht es denn mit den Zulassungsverfahren aus? Da sind doch sicher auch noch eine Menge Fragen zu klären ...**

■ Ja. Einige liegen auf der Hand. Beispielsweise: Wie gehen wir mit großen, brennbaren Batterien um? Andere sind eher im System begründet: Die aktuelle Zulassungsvorschrift beinhaltet schlichtweg keine anderen Antriebe als Kolbenmotoren und Turbinen. Derzeit gehen wir aber davon aus, dass wir früher oder später Elektromotoren im Flugzeug haben werden. Und die Zulassungsbehörden bereiten sich zusammen mit Forschung, Industrie und Normierungsstellen darauf vor. Es kommt uns hier zugute, dass die Luftfahrtzulassung aktuell noch vor weiteren Herausforderungen steht. Unbemannte Systeme könnten weit diffiziler in der Nachweisführung sein als elektrische Antriebe. Die europäische Luftfahrtbehörde EASA hat mit ihren Schwester-Organisationen auf der Welt dazu bereits wesentlich flexiblere Vorschriften erarbeitet: Wo zuvor einzelne Tests vorgeschrieben waren, sind mittlerweile nur noch die übergeordneten Kriterien zu erfüllen. Die Luftfahrtbehörden arbeiten dann für konkret akzeptable Nachweismethoden eng mit Standardisierungsorganisationen zusammen. Diese sind allerdings meist US-amerikanisch. Da könnten wir in Europa noch nachlegen. Das DLR wird jedenfalls, so sieht es ein kürzlich unterzeichnetes Rahmenabkommen mit der EASA vor, seine Expertise für all diese Herausforderungen in die Waagschale werfen.

**Herr Klöckner, wie würden Sie den Status zum elektrischen Fliegen in einem Satz zusammenfassen?**

■ Die Elektromobilität kommt in die Luft, es ist zwar noch Forschungsarbeit nötig, bis sie kommerziell Einzug erhält, doch im DLR hat die Wende in der Luftfahrt bereits begonnen.

Die Fragen stellte **Annabel Brückmann**, strategische Kommunikation Luftfahrt im DLR.



eine Passagierzahl von 50 bis 80, wie sie die heute üblichen Regionalflugzeuge aufweisen. Rein batterie-elektrisch werden wir das in der nächsten Zukunft vermutlich nicht schaffen. Der Grund ist das Gewicht. Batterien sind etwa sechszigmal schwerer als Kerosin mit demselben Energieinhalt. Aber mit hybriden Übergangslösungen könnten wir die Energiedichte von Kerosin oder Wasserstoff mit der Emissionsfreiheit von Batterien kombinieren. Natürlich sind dazu noch viele Fragen offen. Das reicht von der optimalen Konfiguration bis hin zu Infrastrukturen wie Ladeeinrichtungen; betrifft aber auch die regenerative Erzeugung der benötigten elektrischen Energie oder eben des Wasserstoffs. Im DLR befassen wir uns mit all diesen Fragestellungen.

**Der Bedarf nach individueller Mobilität ist im Straßenverkehr ein großer Treiber. Trifft das auch auf die Luftfahrt zu?**

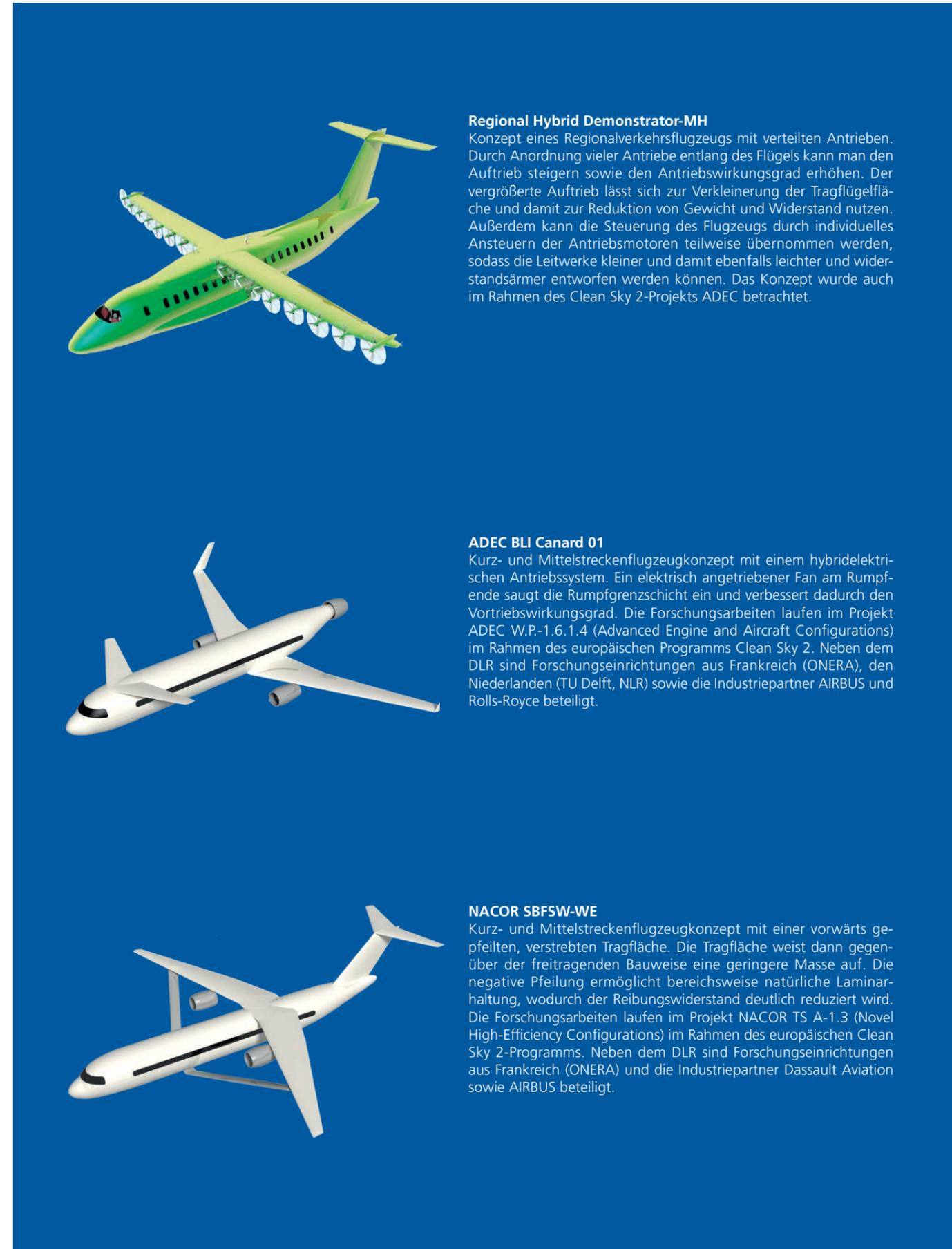
■ Eine Vielzahl von Start-ups und Forschungsgruppen widmet sich dem Traum der individuellen Luftfahrt. In wirklich großen Städten kann man sich ja auch heute schon einen Helikopter mieten. Für die Mehrheit der Bevölkerung ist das aber noch unerschwinglich. Das wird vermutlich zunächst auch so bleiben. Schon allein der Aufwand, mit heutigen Verfahren tausende individuelle Luft-Taxis im urbanen Raum zu koordinieren, verbietet eigentlich die umfassende Einführung solcher Lösungen. Allerdings wird im Bereich der automatischen, unbemannten Luftfahrzeuge auch intensiv geforscht. Beispielsweise arbeiten wir an einer umfassenden, automatischen und vor allem skalierbaren Lösung für das Luftverkehrsmanagement. Diese Lösungen werden sicher auch für den – zukünftig dann auch automatisierten – Individualverkehr in der Luft einsetzbar sein.

**Was sind Ihrer Ansicht nach die größten Hürden für das elektrische Fliegen?**

■ Da ist zum einen der Antrieb: Im DLR untersuchen wir unterschiedliche Antriebstechnologien von den Konzepten über Simulationen und Laboraufbauten bis hin zur Integration in neue Flugzeugkonfigurationen. Ein zweiter Punkt sind die Auswirkungen auf das Gesamtsystem Luftfahrt. Hier untersuchen wir die Folgen für die Reisenden, die Fluglinien, die Regulierungsbehörden, andere Luftverkehrsteilnehmer, die Flughäfen oder auch die Anwohner. Dabei haben wir immer auch Skalierungsaspekte im Blick, also: größere Flugzeuge, mehr Reisende, häufigere Flugbewegungen. Bei allem, was wir tun, ist es wichtig, die Grundlagen der Technologien zu verstehen sowie weiterzuentwickeln, zugleich aber auch vorausdenken und das große Ganze zu betrachten. Große Erfolge haben wir dabei bereits mit Technologiedemonstratoren wie der HY4, mit der wegweisende Brennstoffzellentechnologien im Flug erprobt werden. Im folgenden Schritt denken wir – und dabei sind wir nicht allein – an die nächstgrößere Klasse von Flugzeugen.

**Wie sind Deutschland und Europa für den Markteintritt von Elektroflugzeugen aufgestellt?**

■ In Europa und speziell in Deutschland sind wir hervorragend aufgestellt. Das DLR ist die einzige Großforschungseinrichtung in Europa, die in der Lage ist, alle Aspekte des elektrischen Fliegens in der



**Regional Hybrid Demonstrator-MH**

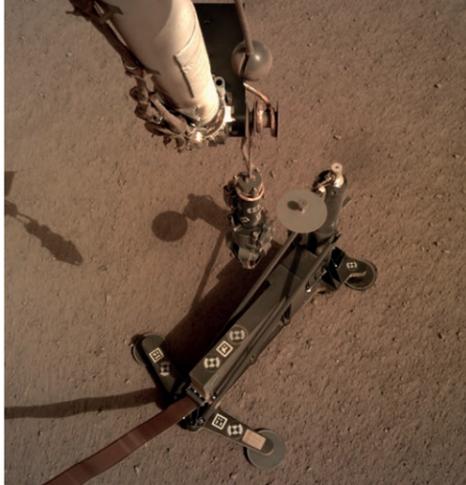
Konzept eines Regionalverkehrsflugzeugs mit verteilten Antrieben. Durch Anordnung vieler Antriebe entlang des Flügels kann man den Auftrieb steigern sowie den Antriebswirkungsgrad erhöhen. Der vergrößerte Auftrieb lässt sich zur Verkleinerung der Tragflügelfläche und damit zur Reduktion von Gewicht und Widerstand nutzen. Außerdem kann die Steuerung des Flugzeugs durch individuelles Ansteuern der Antriebsmotoren teilweise übernommen werden, sodass die Leitwerke kleiner und damit ebenfalls leichter und widerstandsärmer entworfen werden können. Das Konzept wurde auch im Rahmen des Clean Sky 2-Projekts ADEC betrachtet.

**ADEC BLI Canard 01**

Kurz- und Mittelstreckenflugzeugkonzept mit einem hybridelektrischen Antriebssystem. Ein elektrisch angetriebener Fan am Rumpfeende saugt die Rumpfgrenzschicht ein und verbessert dadurch den Vortriebswirkungsgrad. Die Forschungsarbeiten laufen im Projekt ADEC W.P.-1.6.1.4 (Advanced Engine and Aircraft Configurations) im Rahmen des europäischen Programms Clean Sky 2. Neben dem DLR sind Forschungseinrichtungen aus Frankreich (ONERA), den Niederlanden (TU Delft, NLR) sowie die Industriepartner AIRBUS und Rolls-Royce beteiligt.

**NACOR SBFSW-WE**

Kurz- und Mittelstreckenflugzeugkonzept mit einer vorwärts gepfeilten, verstreuten Tragfläche. Die Tragfläche weist dann gegenüber der freitragenden Bauweise eine geringere Masse auf. Die negative Pfeilung ermöglicht bereichsweise natürliche Laminarhaltung, wodurch der Reibungswiderstand deutlich reduziert wird. Die Forschungsarbeiten laufen im Projekt NACOR TS A-1.3 (Novel High-Efficiency Configurations) im Rahmen des europäischen Clean Sky 2-Programms. Neben dem DLR sind Forschungseinrichtungen aus Frankreich (ONERA) und die Industriepartner Dassault Aviation sowie AIRBUS beteiligt.



Leinen los! Am 28. Februar 2019 gab der Greifarm von InSight den DLR-„Marsmaulwurf“ frei.

## „MAULWURF“ AUF DEM MARS ERKUNDET WÄRMEFLUSS AUS DEM PLANETENINNEREN

Am 28. Februar 2019 begann auf dem Mars das DLR-Experiment HP<sup>3</sup> (Heat Flow and Physical Properties Package). Vor den NASA-Lander InSight platziert, führte die geothermische Tiefensonde 4.000 Hammerschläge aus. Millimeter um Millimeter drang der Schlaghammer zunächst in den Boden ein und erreichte eine Tiefe zwischen 20 und 50 Zentimetern. Dort traf der auch als Maulwurf bezeichnete HP<sup>3</sup> auf einen Stein oder eine Kiesschicht. Das Hindernis konnte er zur Seite drücken und in einem Winkel von 15 Grad an ihm vorbeirutschen. Danach zeigte der Neigungsmesser ein weiteres Hindernis an. Im Kontrollzentrum am Jet Propulsion Laboratory in Pasadena steuern DLR-Wissenschaftler HP<sup>3</sup> und analysieren alle Informationen.

Das Team hatte gehofft, dass es relativ wenige Steine unter der Marsoberfläche geben würde, denn auf den Bildern der Landestelle waren kaum Geröllbrocken zu sehen.

Prinzipiell ist der „Marsmaulwurf“ dafür entwickelt worden, in der Tiefe kleinere Steine beiseite zu drücken. Bei Tests vor dem Start zum Mars hat er diese Fähigkeit souverän unter Beweis gestellt. Die Forscher hoffen, dass es dem „Marsmaulwurf“ gelingt, einen schmalen Gang zu schaffen, um dann das mit 14 Temperatursensoren bestückte Flachbandkabel mit hinabzuziehen. So können die zunehmende Temperatur und ihre zyklischen Veränderungen im Tages- und Jahresrhythmus genauestens gemessen werden. Ziel ist es, den Wärmefluss aus dem Planeteninneren zu bestimmen, um hieraus Rückschlüsse zu ziehen, wie sich der Mars entwickelt hat und Indizien dafür zu bekommen, ob er noch immer über einen heißen, flüssigen Kern verfügt.

[DLR.de/insight](http://DLR.de/insight)

## NACH DEM VORBILD DES „ANTARKTISGÄRTNERS“

Ende April 2019 ist es so weit: Die Gewinner des EDEN-ISS-Malwettbewerbss werden Salatsamen aussäen. Sie erhielten ihn als Preis für ihre selbst gemalten Fantasiegewächshäuser.

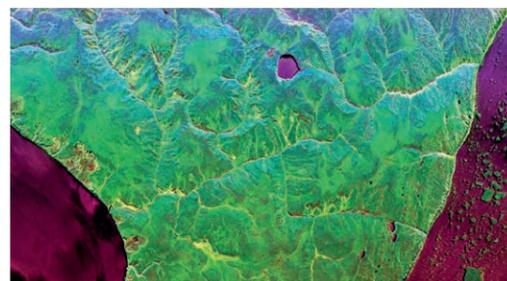
Die Spannung der Kinder im Alter von sechs bis zwölf Jahren dürfte ebenso groß sein wie 2018 bei ihrem Vorbild, dem „Antarktischgärtner“ Paul Zabel. Wird die Ernte genauso ertragreich sein wie in der Antarktis, wo der DLR-Wissenschaftler gleiche Samen im EDEN-ISS-Gewächshaus nahe der Neumayer-Station III des Alfred-Wegener-Instituts (AWI) aussäte? Zabel hatte dort 365 Tage lang erfolgreich verschiedene Gemüsesorten angebaut. Inmitten des ewigen Eises sorgte er dafür, dass die Überwinterungsscrew täglich reichlich Frisches auf den Tisch bekam. Mit dem Projekt wollten die DLR-Wissenschaftler möglichst nah an die Bedingungen einer Langzeitmission im Welt- raum herankommen und die Gemüse- zucht für zukünftige bemannte Missionen zu Mond und Mars sowie für klimatisch ungünstige Gebiete wie Wüsten und arktische Regionen erproben. Das DLR wird zusammen mit dem AWI und anderen Partnern im EDEN-ISS-Gewächshaus noch bis 2020 weiterforschen.



Paul Zabel beim Abschied von seinem antarktischen Gewächshaus EDEN-ISS

[t1p.de/e4bf](http://t1p.de/e4bf)

[t1p.de/zpev](http://t1p.de/zpev)



Die PermasAR-Radaraufnahme zeigt Herschel Island an der Nordwestspitze Kanadas. Die Region ist von durchgängigem Permafrost geprägt. In Dunkelgrün gut zu erkennen: Vegetation in der ansonsten baumlosen Tundra.

Um diese Auswirkungen auf den Klimawandel genau vorhersagen zu können, hat das DLR in Kooperation mit dem nationalen kanadischen Zentrum für Erdbeobachtung zahlreiche Messflüge mit dem Forschungsflugzeug Dornier Do 228-212 über der Permafrost-Region von Kanada durchgeführt.

[t1p.de/r15l](http://t1p.de/r15l)

## TAUENDER PERMAFROST-BODEN IM RADARBlick

Wenn sich das Erdklima weiter aufheizt, tauen Böden auf, die seit Jahrtausenden gefroren sind. Das beschleunigt wiederum den Klimawandel. Die hochgenaue Beobachtung des Permafrosts hat sich das DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme mit seinem Projekt PermasAR (Permafrost Airborne SAR Experiment) zum Ziel gesetzt.

Böden, die von wenigen Metern bis zu mehr als einem Kilometer tief dauerhaft gefroren sind, schließen abgestorbene Pflanzen ein. Seit einigen Jahrzehnten taut es in Permafrost-Regionen. Die auftauenden Pflanzen zersetzen sich und die dabei freigesetzten Treibhausgase entweichen in die Atmosphäre.

## SMARTBLADES2: TESTS IN COLORADO

Drei 20 Meter lange Rotorblätter des SmartBlades2-Projekts befinden sich in Boulder, Colorado (USA), im Test. Die vom Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES) entworfenen und vom DLR gebauten Rotorblätter müssen unter Beweis stellen, dass sie sich Spitzenlasten bei stark wechselhafter Windstärke anpassen können. Dazu sind sie mit einer Biege-Torsionskopplung ausgestattet. Bei höheren Windgeschwindigkeiten verdreht sich das Rotorblatt leicht und bietet den Böen somit weniger Angriffsfläche. Das reduziert die Belastungen auf die Anlage und erhöht die Lebensdauer der Rotorblätter. Um das aeroelastische Verhalten der neu entwickelten Blätter in der Messkampagne vollständig zu erfassen, wurde bereits bei der Fertigung im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) im DLR Stade von den Partnern speziell konzipierte Messtechnik in die Blätter integriert.

Das Projekt läuft einschließlich der Datenvalidierung bis Herbst 2019. Es unterstützt die Industrie bei der Weiterentwicklung von Rotorblättern mit Biege-Torsionskopplung und soll den Weg für die Einführung dieser Technologie ebnen.



Die Rotorblätter passen sich den Wetterverhältnissen an, indem sie sich bei stärkerer Luftbewegung verwinden und dem Wind somit weniger Angriffsfläche bieten

[t1p.de/x3ep](http://t1p.de/x3ep)

## KLEIN, LEICHT, SICHER

Klein soll es sein, ressourcenschonend produziert und sicher: Für das Auto von morgen haben DLR-Forscher vom Institut für Fahrzeugkonzepte im Rahmen ihres Großprojekts Next Generation Car (NGC) das Safe Light Regional Vehicle (SLRV) entwickelt. Das Kleinfahrzeug soll vor allem Pendlern dienen und dort zum Einsatz kommen, wo der öffentliche Nahverkehr nicht flächendeckend ausgebaut ist. Bei einem Gewicht von nur 80 Kilogramm bietet das Elektro-Auto zwei Personen Platz, eine Brennstoffzelle liefert Energie für eine Reichweite von 400 Kilometern. Die Sandwich-Bauweise der Karosserie ist materialsparend und senkt die Produktionskosten. Das Auto besteht aus metallenen Decklagen und einem Kunststoffschaum, die Fahrgastzelle aus einer Wanne mit einer aufgesetzten Ringstruktur. Dass es dennoch sicher ist, zeigten Crashtests im Frontal- und im Pfahlcrash. Beide Versuche haben gut funktioniert und werden im nächsten Schritt mit den Simulationen verglichen. Anschließend wollen die DLR-Wissenschaftler einen fahrfähigen Demonstrator bauen. Insgesamt 20 DLR-Institute sind am Großprojekt Next Generation Car beteiligt.

[t1p.de/wr6b](http://t1p.de/wr6b)



Die Karosserie des Kleinwagens der Zukunft im Crashtest

## VERANSTALTUNGEN

HANNOVER: Mit einem Stand im Bereich Energie ist das DLR auf der Hannover Messe Industrie vom 1. bis 5. April 2019 vertreten (Halle 27). Es präsentiert unter anderem folgende Themen: vernetzte Energiesysteme, numerische Modelle für die Batterie-Entwicklung und Mikrogasturbinen als Blockheizkraftwerke. Unter dem Dach der Hannover Messe versammeln sich zehn internationale Leitmesse aus verschiedenen Industrie-Sektoren. Aktuelle Trendthemen werden in zahlreichen Foren und direkt an den Ausstellungsständen branchenübergreifend diskutiert. Erwartet werden circa 6.500 Aussteller aus 73 Ländern sowie mehr als 220.000 Fachbesucher.

BONN: Bereits zum sechsten Mal findet am 14. und 15. Mai 2019 in Bonn die nationale Konferenz „Satellitenkommunikation in Deutschland“ statt. Das DLR bietet führenden Vertretern aus Industrie und Forschung sowie öffentlichen Auftraggebern damit ein Forum, um über Kommunikationsnetze und Satellitenkommunikation von morgen zu diskutieren.

ESSEN: Das ESA-Symposium „European Rocket and Balloon Programmes and Related Research“ ermöglicht vom 16. bis 20. Juni 2019 europäischen Wissenschaftlern und Ingenieuren, sich über aktuelle Erfolge und zukünftige Pläne für Forschungsraketen und -ballone auszutauschen. Das öffentliche Symposium wird von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) und dem DLR organisiert.

PARIS: Die Paris Air Show 2019 vom 17. bis 23. Juni 2019 zeigt zum 53. Mal neueste Entwicklungen und aktuelle Projekte aus Luft- und Raumfahrt. Auf dem Flughafen „Le Bourget“ präsentiert sich auch das DLR, im Rahmen des Auftritts des Bundesverbands der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie (BDLI). Die ersten vier Messetage sind dem Fachpublikum vorbehalten, es folgen drei Tage für die Öffentlichkeit.

MOSKAU: Der International Aviation and Space Salon (MAKS) findet 2019 vom 23. bis 28. Juli in der russischen Stadt Zhukovsky wieder mit DLR-Beteiligung statt. Die Messe auf dem Gelände des Michail-Gromow-Instituts für Flugforschung in der Nähe von Moskau zählt zu den weltweit führenden Luftfahrtausstellungen und hatte 2017 rund 450.000 Besucher und fast 900 Aussteller.

WASHINGTON D.C.: Der International Astronautical Congress (IAC) gilt als das Gipfeltreffen der bemannten Raumfahrt. Die Veranstaltung vom 21. bis 25. Oktober 2019 steht diesmal im Zeichen des 50-jährigen Jubiläums der Landung von Apollo 11 auf dem Mond.

### EVENT.DLR.DE: DAS PORTAL FÜR VERANSTALTUNGEN DES DLR

Hier finden Sie Informationen zu Veranstaltungen, die vom DLR durchgeführt werden oder an denen das DLR teilnimmt, unter anderem Messen, Ausstellungen, Workshops und Kongresse, in Deutschland und weltweit.

[event.dlr.de](http://event.dlr.de)

# EIN ENORMER SPRUNG ZU MEHR WISSEN



**H**ouston: Tranquility Base here: The Eagle has landed! Vor 50 Jahren, am 20. Juli 1969 (Ortszeit), erreichten Neil Armstrong und Edwin „Buzz“ Aldrin jenes Ziel, das für die USA so wichtig wurde, dass sie ihm ein Jahrzehnt lang fast alles andere unterordneten: Menschen mit einem Raumschiff zum Mond zu fliegen. Am Ende wurde es ziemlich eng, denn der Treibstoff reichte nur noch wenige Sekunden, beinahe hätte der Landeanflug abgebrochen werden müssen, doch die beiden neuen Helden der Nation, nicht zu vergessen Michael Collins als Pilot der Kommandokapsel in der Mondumlaufbahn, meisterten diese Situation mit eiserner Professionalität, ignorierten nach einem „O.K.“ der Bodenstation sogar noch einen (falschen) Radar-Alarm.– Freilich, die erste Mondlandung mit Astronauten war vor allem eine politische Demonstration. Aber wie auch immer Historiker den Ausgang dieses „Wettlaufs zum Mond“, gekrönt von Armstrongs „one small step for man, one giant leap for mankind“ heute bewerten: Das Projekt Apollo war viel mehr als zwölf auf dem Mond spazierende Astronauten: Vor allem für die Technik, noch mehr aber für Forschung und Wissenschaft war dies ein gewaltiger Sprung nach vorne. Apollo war die Geburtsstunde der Planetenforschung.

## Apollo öffnete eine Tür zum Verständnis des Sonnensystems

Von Ralf Jaumann und Ulrich Köhler

Da stand sie also, die amerikanische Flagge, wenige Meter neben der Mondlandefähre Eagle im Mondboden. Tatsächlich war es aber nicht die Fahne, die zuerst dort steckte. Zu Beginn ihrer zweieinhalbstündigen Außenbordaktivitäten installierten Armstrong und Aldrin nämlich zunächst ein „Messgerät“: eine Aluminiumfolie von 130 mal 30 Zentimeter Größe, die an einer Art Fahnenstange aufgehängt wurde. Die Folie sollte die Partikel des Sonnenwinds einfangen, die auf der Erde wegen ihres Magnetfeldes gar nicht ankommen und deshalb auf dem Mond erstmals erfasst werden konnten. Übrigens war dieses das einzige nicht-amerikanische Experiment, das bei der ersten Mondlandung zum Einsatz kam. Das Experiment war von Wissenschaftlern der Universität Bern erdacht worden. Selbst davor gab es noch zwei Begebenheiten, die von wissenschaftlicher Bedeutung waren: Neil Armstrong sicherte kurz nach seinen ersten Schritten auf dem Erdtrabant eine Probe des Mondstaubs in einem Plastikbeutel und verstaute diesen in seinem Astronautenanzug, um im Falle eines möglichen Soforrückzugs zumindest ein Stück Mond gesichert zu haben. Und Buzz Aldrin dachte angesichts seiner ersten Fußabdrücke mit den Moonboots: Interessant, dass die Ränder des Abdrucks gar nicht nachrutschen, der Boden verhält sich wie Zementpulver! Deshalb fotografierte er diesen Fußabdruck im feinen Mondstaub und hatte damit eine Ikone der Entdeckungsgeschichte der Menschheit im Kasten, es wurde unverhofft eines der am häufigsten abgedruckten Fotos der Apollo-Ära.

Schon die Episoden der ersten halben Stunde von Menschen auf einem anderen Himmelskörper zeigen, wie abenteuerlich die Missionen waren und unter welchem hohem Leistungsdruck die Beteiligten standen. Die Apollo-Ära beginnt im Januar 1967 mit der posthum Apollo 1 getauften ersten Mission dramatisch: Gus Grissom, Roger Chaffee und Edward White sterben den Feuertod in der Kommandokapsel noch am Boden. Mit Apollo 4, 5 und 6 geht es zunächst unbemannt weiter. In Apollo 7 verlassen Menschen zum ersten Mal mit der superstarken Saturn-V-Rakete die Erde und umrunden mit Apollo 8 Weihnachten 1968 den Mond. Mit Apollo 9 und 10 – der Generalprobe zur Landung – nähert sich die Landefähre der Mondoberfläche bis auf 14 Kilometer. Mit Apollo 11 schließlich gelingt die erste Mondlandung. Bis Dezember 1972 folgen noch fünf weitere Landemissionen, dazwischen auch eine missglückte Mission mit der fast schon aberwitzig anmutenden Rettung der Crew von Apollo 13 mit einer Schleife hinter dem Mond entlang zurück zur Erde. Diese technischen Meisterleistungen, von zeitweise bis zu 400.000 Menschen geplant, gebaut, gesteuert, zu Ende gebracht, sind Legende.

Was jedoch vor 50 Jahren nicht sonderlich im Fokus stand, indessen aber den Erfolg von Apollo erst möglich machte und dann auch den zweifelsfrei nachhaltigsten Erfolg dieses Projekts mit sich brachte: Das war die Mondforschung.

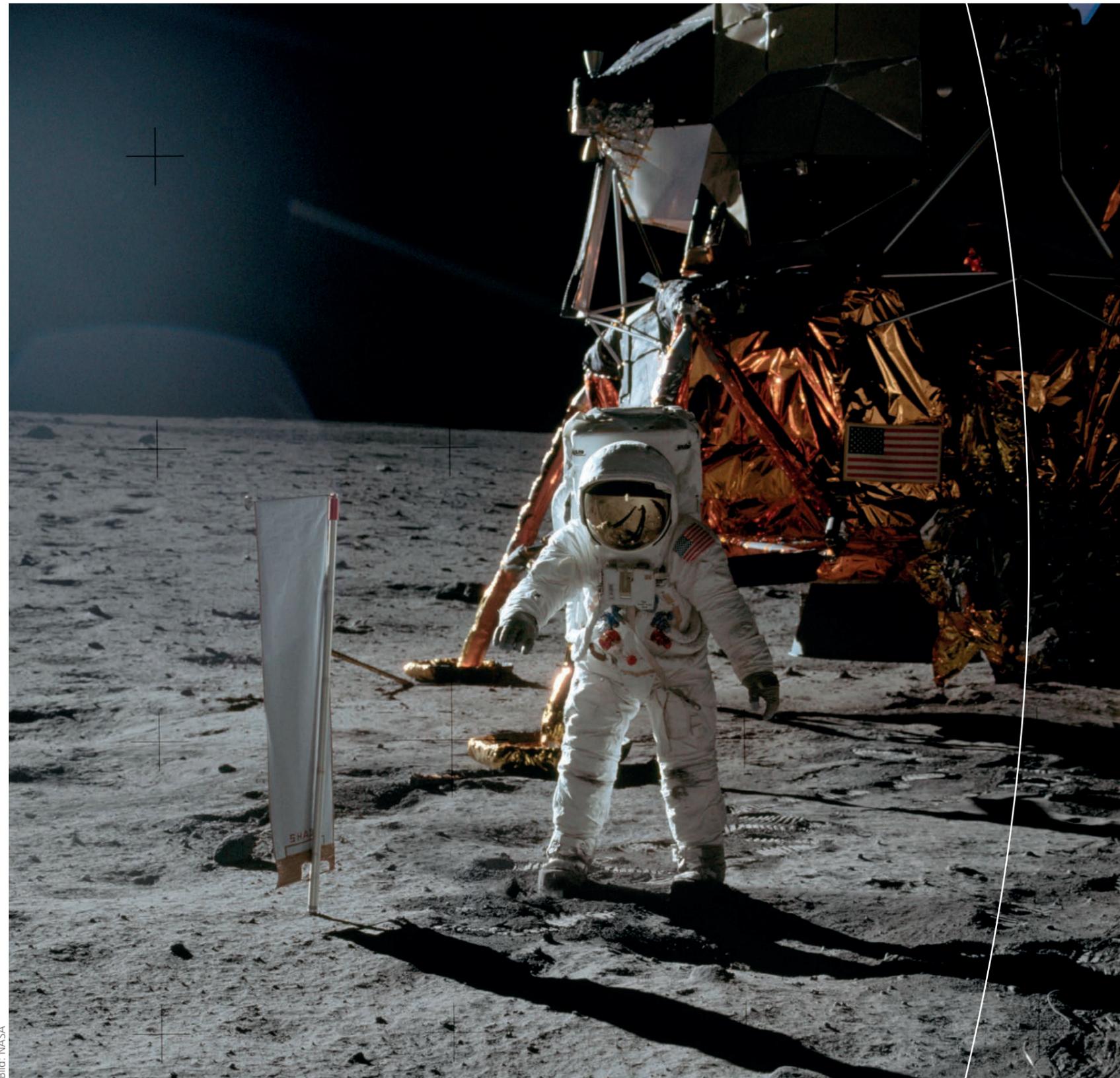


Bild: NASA

Die erste Fahne auf dem Mond steht! Dies war aber nicht das Sternenbanner der Vereinigten Staaten, sondern ein Experiment Schweizer Wissenschaftler, die mit einer Aluminiumfolie Partikel des Sonnenwinds eingefangen haben.

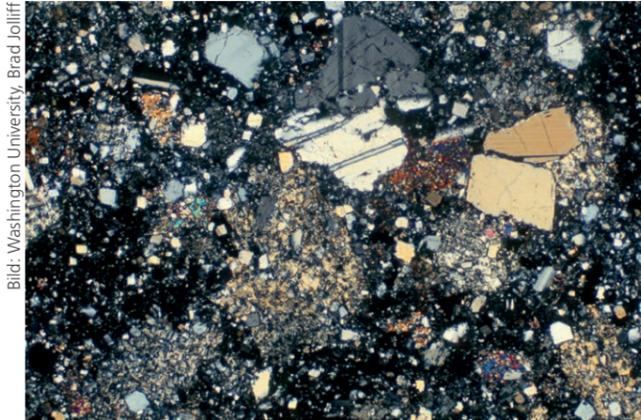


Bild: Washington University, Brad Jolliff  
 Ein nur 25 Mikrometer dünner Schliff eines von Asteroideneinschlägen zerrütteten Gesteins im polarisierten Licht unter dem Mikroskop. Die Untersuchung der insgesamt 382 Kilogramm Gestein, die bei allen sechs Mondlandungen gesammelt wurden, offenbart, wie sich Mond und Erde in ihrer Frühzeit entwickelt haben.

### Eine neue Wissenschaft

Um den Erfolg des Vorhabens „erste Mondlandung“ zu garantieren, also eine Annäherung an den Mond, eine sanfte Landung, ein ungefährdetes Aussteigen aus der Landesonde und vor allem eine sichere Rückkehr von Astronauten zu gewährleisten, mussten die Eigenschaften des bis dahin noch ziemlich fremden Himmelskörpers einigermaßen bekannt sein: seine Oberfläche, deren Beschaffenheit, sprich Tragfähigkeit, die Topografie, das Strahlungsumfeld, die Temperaturen und vieles mehr. Trotz der hochpräzisen Beobachtungen mit irdischen Teleskopen war vieles noch nicht wirklich klar. Die Erdatmosphäre setzte physikalische Grenzen, die nicht überwunden werden konnten. Selbst mit den besten Teleskopen konnten auf dem gerade mal etwa 380.000 Kilometer entfernten Trabanten nur einen Kilometer große Details identifiziert werden – zu ungenau, um zu landen.

Erst die Raumfahrt ermöglichte eine Beobachtung aus der Nähe. Nachdem die Sowjetunion 1959 – zwei Jahre nach Sputnik 1 – mit der Sonde Lunik 3 erstmals die von der Erde nicht sichtbare Mondrückseite fotografiert hatte, waren es ab Mitte der Sechzigerjahre die USA, die im Vorfeld der Apollo-Missionen den Mond mit Sonden und robotischen Werkzeugen intensiv erforschten. Die Kamikaze-Sonden der Ranger-Serie lieferten bei ihrem terminalen Sturzflug erste hochauflösende Bilder der Mondoberfläche. Fünf Lunar-Orbiter-Sonden kartierten den Erdtrabanten aus der Umlaufbahn, sodass großräumig Geologie und Geodäsie betrieben und so Landstellen bestimmt werden konnten. Schließlich demonstrierten die filigranen, aber robusten Surveyor-Landesonden, dass der Mond eine feste Oberfläche hat und eine Landefähre nicht im Mondstaub versinken würde. Allerdings waren da die großen Teller an den spinnenförmigen Landebeinen bereits konstruiert und wurden zur Sicherheit und auch aus Zeitgründen nicht mehr entfernt.

Die Wissenschaftler, die sich mit dem Mond und der Auswahl der Landstellen beschäftigten sowie mit den Vorbereitungen für die

Aktivitäten auf der Mondoberfläche, waren Geologen, Geodäten, Geografen, Geophysiker, Geochemiker und Mineralogen. Neben den Physikern und Astronomen also hauptsächlich Geowissenschaftler. Nun steht „Geo“ für Gaia, die Erde. Aber beim Mond handelt es sich freilich um einen „Außerirdischen“. Wie also sollten diese Forscher bezeichnet werden? Bei der NASA und dem United States Geological Survey (USGS), dem Geologischen Dienst der USA, wurden sie als Astrogeologen geführt – als „Sternengeologen“. Das aber waren die Pioniere dieser Zunft nun wirklich nicht, weder die Don Davis, Ron Greeleys, James Heads, noch der unermüdliche Eugene Shoemaker (der so gerne auch Astronaut geworden wäre und als Geologe auf dem Mond forschen wollte). Ihre Bedeutung für die Apollo-Mondlandungen war enorm. Sie charakterisierten den Mond und die Landstellen, sie hatten eine umfassende Idee für das wissenschaftliche Begleitprogramm und bereiteten die Astronauten, die bis auf eine Ausnahme (den Geologen Harrison „Jack“ Schmitt von Apollo 17) Air-Force- und Marine-Kampfpiloten waren, in Feldübungen und Seminaren auf das Ziel ihrer Missionen vor. Bezeichnend ist das Postulat von „Gene“ Shoemaker: „Zum Aufstellen der Fahne braucht ihr ein paar Minuten – und was macht ihr die restliche Zeit auf dem Mond?“ Die NASA verstand diesen Hinweis und ab sofort war die umfassende Erforschung des Mondes integraler Bestandteil aller Apollo-Missionen. Das traf vor allem für die drei letzten Missionen, Apollo 15, 16 und 17 zu, die mit dem Mondrover schon damals elektromobil waren.

Aus den Astrogeologen wurden Mondgeologen, denn die Methoden und Werkzeuge waren dieselben wie auf der Erde. Und schließlich: nach Apollo entwickelte sich der Berufsstand des Planetenforschers, nicht zuletzt auch deshalb, weil neben der angestrebten Landung von Menschen auf dem Mond auch die beiden Nachbarplaneten der Erde, Venus und Mars, ins Visier der beiden Raumfahrtnationen USA und UdSSR rückten. Zeitgleich zum Apollo-Projekt wurden Venus und Mars mit zahlreichen robotischen Sonden aus der Nähe erkundet. Gewiss, der Mond ist kein Planet, aber – und dies war eine der ersten großen Erkenntnisse, die erst durch Apollo möglich wurden – seine Entwicklung und viele seiner Eigenschaften, reihen den Mond unter den planetaren Körpern ein: Dies sind seine feste Oberfläche, deren Zusammensetzung aus Mineralen mit einem hohen Anteil an Silizium und Aluminium und tiefer in seinem Inneren, im Mantel, an schweren Mineralen, reich an Eisen und Magnesium und schließlich sogar ein Eisenkern, wie ihn auch der Merkur, die Venus, die Erde und der Mars haben. Vor allem aber ist die Mondkruste viel älter als die dynamische, durch Plattentektonik immer wieder veränderte Erdkruste. Damit ist der Mond für die Wissenschaftler ein Fenster in die Vergangenheit der Planetenentwicklung.

### 382 Kilogramm Mond – der „Heilige Gral“

Am 14. Dezember 1972 kletterte Eugene Cernan, der Kommandant von Apollo 17, als vorerst letzter Besucher von der Erde im Talkessel von Taurus Littrow in die Mondlandefähre Challenger und kehrte zur Erde zurück. Seither wurde der Mond nicht mehr betreten, nach einer ausgesprochen langen Pause von fast drei Jahrzehnten auch nicht mehr von robotischen Sonden mit dem Forschungsauftrag Monderkundung besucht. Das hat seine Gründe. Politisch hatte der Mond nach sechs triumphalen, unfallfreien Landungen ausgedient: „been there, done

that“, also in etwa: Auftrag erledigt. Aber vor allem gab es für die Wissenschaftler nahezu unendliche Mengen an Daten, Messungen, Bildern und insbesondere an Mondproben auszuwerten. Insgesamt brachten die zwölf Moonwalker 382 Kilogramm an Mondproben zur Erde. Der Heilige Gral der Planetenforschung! Denn von keinem anderen Himmelskörper gibt es Proben extraterrestrischer Herkunft auf der Erde. Ihre Auswertung unter dem Mikroskop und mit den Methoden geochemischer Analytik öffnete der Planetenforschung ein Portal zu fundamentalen Erkenntnissen.

### Was die Proben uns lehren

Wie war der Mond entstanden? Fast alles, was wir heute aus den Proben wissen, deutet darauf hin, dass ein Körper von der Größe des Mars die 20 bis 30 Millionen Jahre junge, heiße, gerade ein wenig sich in Kruste, Mantel und Kern sortierende Erde vor 4,52 Milliarden Jahren streifend getroffen hatte. Aus ihrem Mantel war dabei so viel Material herausgeschleudert und verdampft worden, dass aus dem Kondensat der Erde ein Trabant entstehen konnte – der Mond. Wie hat sich dieses planetare Gespann entwickelt? Heiß und nicht kalt! In den Siebzigerjahren war es ein großes Streitthema, ob sich die Erde nach ihrer Entstehung aus kleinen Körpern, den Planetesimalen, kalt zusammengefügt hatte oder ob sie ein extrem heißes Entwicklungsstadium durchlief. Die Wärme wäre in diesem Fall bei den Kollisionen und durch den Zerfall radioaktiver Elemente freigesetzt worden.

Heute wissen wir: Letzteres ist der Fall. Die junge Erde ebenso wie der Mond waren am Anfang von einem vielleicht Hunderte von Kilometern tiefen glühenden Magma-Ozean bedeckt, auf dessen Oberfläche leichtere Minerale auftraben und abkühlten, und die schwereren in die Tiefe sanken, einen mächtigen Mantel bildeten und im Zentrum ein Kern aus Eisen und Nickel entstand. Ein Prozess, der ‚stillbildend‘ für alle Planeten des inneren Sonnensystems (und auch den Mond) war. Das galt selbst für einige große Körper in größerer Entfernung zur Sonne und wird von den Geologen Differentiation genannt. All das und noch viel mehr lernten die Wissenschaftler von den Mondproben. Und dennoch ist die Frage der Mondentstehung nicht vollständig geklärt. Proben von der Mondrückseite aus einem gewaltigen Einschlagskrater, in dem Material aus großen Tiefen zu finden ist, könnten diese Frage klären.

Sechs Landungen mit Apollo-Kapseln auf dem Erdtrabanten haben zum einen eindrücklich gezeigt, dass die Rolle von Menschen, von Astronauten, bei der Erforschung unserer unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft von unschätzbarem Wert ist. Zumindest gilt das für jene Zeit, in der die Automatisierung und die Robotik noch nicht so weit fortgeschritten waren wie heute. Bei Betrachtung der ferngesteuerten, faszinierenden Landesonden und Fahrzeuge auf dem Mars ist die immense Ausbeute an Daten und Forschungsergebnissen überaus beeindruckend. Doch auch die Leistung der Astronauten auf dem Mond ist nach wie vor beispiellos: Der Mensch geht bei den ihm übertragenen Aufgaben intuitiv vor, wozu bis heute noch kein Roboter in der Lage ist – der Mensch kann auch ohne Informationen Entscheidungen treffen. Was ein Marsrover in vielen Tagen, Wochen in zuvor programmierten und von der Erde kommandierten Schritten ausführt, erledigt ein Astronaut in wenigen Minuten oder Stunden.

### Zurück zum Mond? – Zurück zum Mond!

Was bedeutet diese Momentaufnahme für die Zukunft der Mondforschung? Noch sind viele Fragen hinsichtlich des Ursprungs des Mondes und der frühen Geschichte des Erde-Mond-Systems nicht beantwortet. Hier Antworten zu finden, wäre nicht zuletzt auch hinsichtlich des Rätsels, wann und wie auf der Erde das Leben entstehen konnte, von großer Wichtigkeit. Die Entwicklung der Erde in den Anfangsjahren ihrer viereinhalb Milliarden Jahre alten Geschichte ist noch nicht recht verstanden – der Mond, aber auch der Mars, könnten helfen, diese Rätsel zu lösen. Auf der Wunschliste der Mondforscher steht die (gern auch robotische) Entnahme weiterer Proben ganz oben, vor allem an tiefen Stellen im South Pole-Aitken-Einschlagsbecken auf der Mondrückseite: Dort könnten Gesteine aus dem Mantel des Mondes aufgeschlossen sein. Diese könnten uns zeigen, wie die Frühzeit des inneren Sonnensystems abgelaufen ist. Die Mondrückseite, die wegen der 28-tägigen Eigenrotation der Erde von der Erde aus nie sichtbar ist, böte auch der Radioastronomie eine wunderbare Beobachtungsplattform: Hier stören keinerlei Radio-signale von der Erde die Suche nach dem Echo des Urknalls. Und die Materialforscher hätten im perfekten Vakuum auf dem Mond ein ideales Labor.

Auch Menschen – Astronauten ebenso wie Kosmonauten, Taikonauten oder auch „Euronauten“ – werden mittelfristig wieder zum Mond aufbrechen, sei es, um erstmals zeitweilig oder sogar permanent einen anderen Himmelskörper zu besiedeln, oder sei es, um den Mond mit seiner sechsmal geringeren Anziehungskraft als Sprungbrett zum Mars zu benutzen. An den Polen des Mondes gibt es Krater, in deren Inneren nie ein Lichtstrahl vordringt und ohne Atmosphäre auch keine Wärme gelangt: An diesen dauerhaft dunklen Stellen existiert Eis, das für Raketentreibstoff aus Wasserstoff und Sauerstoff genutzt werden kann. Dem entgegen sind die steilen äußeren Kraterränder immer von der Sonne beschienen und es besteht ständig direkter Sicht- und Funkkontakt zur Erde.

An einem dieser beschatteten Krater würdigt die Forschergemeinde jenen Mann, der zu Beginn der Apollo-Missionen einforderte, die Landung auf dem Erdtrabanten auch in den Dienst der Wissenschaft zu stellen. Am 31. Juli 1999 schlug die Raumsonde Lunar Prospector geplant an einem nach ihm benannten Krater auf. Sie brachte am Ende ihrer zweijährigen Mission einen Teil der Asche des 1997 verstorbenen Mondgeologen Eugene Shoemaker zum Ort seiner Sehnsucht.

**Prof. Dr. Ralf Jaumann und Ulrich Köhler** sind Planetengeologen am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof. Beide haben an der Ludwig-Maximilians-Universität in München Geologie studiert und sich seit Anbeginn ihrer DLR-Zeit immer wieder mit der Geologie des Mondes beschäftigt. 2009 verfassten sie gemeinsam das Buch DER MOND.

Die Astronauten fotografierten mit ihren Hasselblad-Kameras durch Zeiss-Objektive Dutzende Magazine voll mit Fotos. Das Panorama-Mosaik zeigt die entlang einer mehr als 100 Meter langen Strecke aufgebauten Experimente bei Apollo 17.



Bild: NASA/JSC, Warren Harold

# DIE REISE ZUM MOND

Von Stefan Aust



HERE MEN FROM THE PLANET EARTH  
FIRST SET FOOT UPON THE MOON  
JULY 1969, A. D.

WE CAME IN PEACE FOR ALL MANKIND

So lange es Menschen gibt, haben sie ihn gesehen, wenn auch nur von einer Seite: den Mond. Dass es einmal möglich sein würde, Menschen dorthin zu schicken und wieder zurück zur Erde zu holen, glauben manche Leute heute noch nicht. Sie siedeln die Worte „Ein kleiner Schritt für den Menschen, ein großer Schritt für die Menschheit“ eher in einem Science-Fiction-Studio in Hollywood an.

Ich hatte als Schüler der vierten oder fünften Klasse zu Weihnachten das Jugendlexikon „Die Welt von A–Z“ bekommen. Den Umschlag konnte man zu einer großen Karte auseinanderfalten, darauf die genaue Darstellung eines Plans für die Reise zum Mond, erklärt von einem gewissen Wernher von Braun. Stundenlang brütete ich darüber und fragte mich, ob ich das noch miterleben würde.

Es kam schneller als erwartet: Sputnik, Gagarin; zehn Monate danach wagten die Amerikaner die erste Erdumrundung. Dann erklärte US-Präsident John F. Kennedy kühn: „Wir werden noch in diesem Jahrzehnt zum Mond fliegen. Wir nehmen uns diese Dinge vor – nicht weil sie leicht sind, sondern gerade weil sie schwierig sind.“

Es waren aufregende Zeiten: Vietnamkrieg, Studentenunruhen und vor allem der Kalte Krieg zwischen Ost und West. Natürlich wussten wir alle, dass die enormen Anstrengungen in der Entwicklung der Raketentechnik nicht nur dem Schuss zum Mond dienen sollten. Ach, Wernher von Braun – hatte der nicht schon Hitlers V2 konstruiert? Und doch war die Faszination der Raumfahrt Teil des Gefühls der Sechzigerjahre. Stanley Kubricks Weltraumepos „2001 – Odyssee im Weltraum“ kam im April 1968 in die Kinos, nahm



Dieses Foto zeigt nicht den ersten Fußabdruck auf dem Mond, und es ist auch nicht das Muster der Sohle von Neil Armstrong: Edwin „Buzz“ Aldrin war vielmehr verblüfft, wie scharfkantig die Trittmuster im Mondstaub sind, und dachte, das Foto seines Fußabdrucks würde die Wissenschaftler womöglich auch interessieren. So entstand eine der berühmtesten Aufnahmen aller Zeiten.

Bild: NASA/KSC

die Mondlandung vorweg und brachte eine philosophische Komponente zur Menschheitsgeschichte ins Rennen. Konnte, durfte es sein, dass die Sowjets als Erste auf dem Mond landen würden? Wäre das ein Zeichen für die Überlegenheit des Kommunismus? Die Amerikaner übten noch – mit umgewidmeten Interkontinentalraketen. Zum Glück unbemannte, denn jeder dritte Start endete abrupt in einem Feuerball. Auf die Spitze einer solchen Höllenmaschine mochten sich nicht einmal unerschrockene Testpiloten schnallen lassen. Fast immer fanden die missglückten Starts vor laufenden Film- und Fernsehkameras statt und nicht, wie in Russland, im Verborgenen. So machten sich die Amerikaner zum Gespött der Welt. Aber sie ließen nicht locker. Dabei halfen die umstrittenen deutschen Ingenieure um Wernher von Braun. „Wir hatten einfach die besseren Nazis“, sagte mir mit einem Anflug von Ironie ein halbes Jahrhundert später US-Astronaut Bill Anders. An Bord der Apollo 8 umrundete er den Mond das erste Mal.

Das war Weihnachten 1968 – und William „Bill“ Anders, Jim Lovell und Frank Borman sollten als Erste das Schwerefeld der Erde verlassen und in die Umlaufbahn des Mondes eintauchen. Nachdem sie die Erde zweimal umkreist hatten, starteten sie die letzte Stufe ihrer Saturn-V-Rakete, die ihnen genügend Geschwindigkeit gab, um Kurs auf den Mond zu nehmen. Aus den schmalen Fenstern ihres Raumschiffs blickten sie zurück auf ihren Heimatplaneten, der immer kleiner wurde. „Wir waren wohl die Ersten, die die Erde als Kugel sahen“, erinnerte sich Bill Anders. „Sie ist übrigens wirklich rund und nicht, wie manche meinen, flach.“

Nach ihrer Umrundung des Mondes machte Bill Anders mit seiner Hasselblad-Kamera das berühmteste Foto der Geschichte: den aufgehenden Blauen Planeten Erde über dem Horizont des Mondes. Ich sah die Übertragung der Apollo-8-Mission im Fernsehen und hörte, wie Bill Anders und seine Kollegen zu Weihnachten 1968 die Schöpfungsgeschichte aus der Bibel vorlasen – buchstäblich aus dem Himmel.

Anfang 1969 reiste ich für ein halbes Jahr in die USA. Die erste Station auf meiner Reise war Cape Kennedy, ein Raketenstart stand aber leider gerade nicht auf dem Programm. Ich las die großartigen Bücher von Norman Mailer „Auf dem Mond ein Feuer“ und von Tom Wolfe „The right Stuff“ („Der Stoff, aus dem die Helden sind“). Und ich konnte mir nicht vorstellen, dass ich die beiden Autoren und viele ihrer Protagonisten aus den Büchern über den Wettlauf zum Mond jemals kennenlernen würde.

Die Autoren interviewte ich, Tom Wolfe für das Fernsehen, Norman Mailer für den „Spiegel“ – und die Astronauten traf ich auf der Farm von Barron Hilton in Nevada. Der Hotel-Mogul war nämlich ein passionierter Flieger und schrieb regelmäßig Segelflug-Wettbewerbe in aller Welt aus. Die Sieger wurden dann auf seine Ranch eingeladen, wo Segelflugzeuge zur Verfügung standen, um über der Ranch – die etwa so groß ist wie das Saarland – die beispiellose Thermik auszuloten. Ein Segelflieger kann dort über der Sierra Nevada etwa so lange in der Luft bleiben, wie die Sonne scheint. Ich wurde dorthin regelmäßig mit eingeladen. Unter den Astronauten, die auf der Hilton Ranch zu Gast waren, waren auch der erste und der vorerst letzte Mann auf dem Mond: Neil Armstrong und Gene Cernan. An Neil Armstrong reichte ich damals eine Frage meiner kleinen Tochter weiter: „Sie haben doch die amerikanische Fahne auf dem Mond in den Sand gesteckt. Steht sie da noch? Schließlich hat der Mond keine Atmosphäre.“ „Nein“, antwortete Armstrong. „Die Fahne steht da nicht mehr. Wir haben sie mit dem Rückstoß unserer Landefähre beim Start umgeweht“. – Nun war das also auch geklärt.

Es waren heiße Wochenenden auf der Hilton-Farm, mit Diskussionen über Raumfahrt, Naturwissenschaften, Politik. Und es stellte sich heraus, dass die Astronauten eben nicht nur Piloten waren. Ein kurzer Abschied von der Erde: Auch wenn die Abwesenheit anfangs nur Stunden oder Tage dauerte und jetzt in der Raumstation Monate – sie bringt den Menschen auf neue Gedanken. Bill Anders, den ich zum 50. Jahrestag der ersten Umrundung des Mondes in seinem Flugmuseum bei Seattle für die Dokumentation „Die Entdeckung des Blauen Planeten“ interviewte, sagte: „Von der Mondumlaufbahn aus



Bild: NASA

Hinter der Leiter der Mondfähre Eagle brachten die Astronauten von Apollo 11 eine silberfarbene Plakette an einem der vier Landebeine an: „Hier betreten Männer vom Planeten Erde das erste Mal den Mond, Juli 1969. Wir kamen in Frieden für die ganze Menschheit“

gesehen hat die Erde ungefähr die Größe einer ausgestreckten Faust. Man muss kein Ingenieur sein, um sich vorzustellen, dass die Erde aus zehnfacher Mondstanz nur noch eine Murmel ist. Aus hundertfacher Mondstanz ist sie nur noch ein Sandkorn. Wir stecken fest auf diesem Mini-Planeten, also sollten wir besser lernen, miteinander auszukommen“. Kein Wunder, dass Bill Anders' Foto vom Blauen Planeten später zur Ikone der Umweltbewegung wurde.

Im vergangenen Jahr kam Bill Anders mit seiner Frau nach Deutschland. Gemeinsam besuchten wir Peenemünde, wo Wernher von Braun während des 2. Weltkriegs seine ... „Vergeltungs“-Waffen V 1 und V 2 entwickelt hatte. Bill Anders wollte einmal mit eigenen Augen sehen, wo seine Reise begonnen hatte, die Reise zum Mond, die zur Entdeckung des „Blauen“ Planeten geführt und sein Denken verändert hatte: „Je früher wir erkennen, dass wir nur eine zufällige Spezies irgendwo in einem riesigen Universum sind, desto eher werden wir bemerken, dass wir längst nicht so wichtig sind, wie wir glauben.“

Es waren solche Gedanken, die auf der Farm auch dazu führten, dass eine Hilfsorganisation unter dem Namen „Wings of Help“ („Luftfahrt ohne Grenzen“) gegründet wurde. Diese, geleitet von dem Deutschen Frank Franke, schafft seit Jahren Hilfsgüter in die Katastrophengebiete der Welt und wurde deshalb bei der jährlichen Verleihung des „Living Legends of Aviation“-Awards in Los Angeles ausgezeichnet. Bei der Verleihung in diesem Jahr war auch einer der beiden noch lebenden Astronauten aus der Apollo-11-Mission dabei: Buzz Aldrin, der als zweiter Mensch nach Neil Armstrong den Mond betreten hatte. Das war am 20. Juli 1969 amerikanischer Ortszeit und ist nun ein halbes Jahrhundert her. Ich kann mich sehr gut an die Nacht erinnern, in der im Schwarz-Weiß-Fernsehen die Bilder von der ersten Landung des Menschen auf dem Mond live übertragen wurden. Es war ein kleiner Schritt für den Astronauten Neil Armstrong – ob es wirklich ein großer Schritt für die Menschheit war, ist noch ungewiss. Die Mondlandung war ein Symbol dafür, was Mensch und Technik schaffen können, wenn sie wollen. – Nicht mehr, aber auch nicht weniger.

**Stefan Aust** (72), Journalist und Autor, war von 1994 bis 2008 Chefredakteur des Nachrichtenmagazins „Der Spiegel“, seit 2014 ist er Herausgeber der Welt-Gruppe. Die Faszination für den Erdtrabanten und das Projekt Apollo begleiteten ihn von Kindesbeinen an und machten ihn zu einem Zeitzeugen der bemannten Mondmissionen. Beruf und Passion verschafften ihm Gelegenheiten, über die Menschen, die vor einem halben Jahrhundert als Pioniere die Reise ins Unbekannte wagten, aus erster Hand zu berichten – eine Reise, die sie und ihre Zeit prägte und markanten Einfluss auf das gesellschaftliche Leben jener Zeit hatte.



Die beiden Gründer Markus Kaden (rechts) und Marvin Schneider (links) vor ihrem Versuchsbunker auf dem Innovationscampus in Empfingen

Bild: DLR/Frank Eppler

## QUADRATISCH, PRAKTISCH – MSQUARE



**E**mpfingen, eine Gemeinde im nördlichen Schwarzwald. Auf einem rund zehn Hektar großen Gelände lagerte die Bundeswehr seit Mitte der Sechzigerjahre Munition ein, für den Fall, dass der Kalte doch irgendwann zu einem „heißen“ Krieg geworden wäre. Die idyllisch inmitten eines Waldes gelegenen Bunker und Gebäude standen nach Räumung des Geländes in den Neunzigern rund zwanzig Jahre lang leer. Dann hielt ein neuer Geist Einzug: Seit 2014 bietet der Innovationscampus Empfingen jungen Firmen und Existenzgründern aus dem Bereich Nachhaltigkeit ein Zuhause, um an Ideen zu feilen, Produkte und Anlagen zu erproben.

Mit einer neuartigen Technologie für die Reparatur von Hochleistungskunststoffen wagen zwei junge DLR-Forscher den Sprung in die Selbstständigkeit

Von Denise Nüssle

In einem der Empfänger Bunker haben sich Markus Kaden und Marvin Schneider vom DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie eingerichtet. An einem ausgemusterten Rotorblatt einer Windkraftanlage – rund sechzig Meter lang, zwölf Tonnen schwer und der Handlichkeit halber in fünf Stücke zerlegt – arbeiten die beiden Forscher an der Technologie, die im Kern ihrer Ausgründung msquare steht: ein neues und effizientes Reparaturverfahren für Hochleistungskunststoffe.

### Faserverstärkte Kunststoffe sind leicht und fest, ...

Ob für Flugzeuge, Windkraftanlagen, Fahrzeuge oder Schiffe – Hightechkunststoffe kommen immer häufiger dort zum Einsatz, wo Werkstoffe mit geringem Gewicht und hoher Festigkeit gefragt sind. Beim neuesten Mitglied der Airbus-Familie, dem Langstreckenflugzeug A350, liegt deren Anteil in Rumpf- und Tragflächen bereits bei mehr als 50 Prozent und mit dem Elektroauto BMW i3 haben Hochleistungskunststoffe auch Einzug in die automobilen Serienproduktion gehalten. Ihre vorteilhaften Eigenschaften beruhen auf der Kombination von Kunststoffmatrix und Verstärkungsfasern, weshalb sie auch Faserverbundkunststoffe (FVK) genannt werden. Je nachdem, wie man Fasern und Matrix kombiniert, lassen sich spezielle mechanische und thermische Eigenschaften erzielen – was die Attraktivität dieser Werkstoffe erklärt.

### ... aber bisher nicht so einfach zu reparieren

Einen Haken gibt es jedoch: Die Reparatur von FVK-Bauteilen ist relativ kompliziert: „Da die Fasern lasttragend sind, also für den Zusammenhalt und die Belastbarkeit der Struktur sorgen, können wir nicht einfach bohren oder nieten wie bei metallischen Bauteilen. Sonst würden wir die Fasern noch weiter beschädigen“, erklärt DLR-Wissenschaftler und Existenzgründer Markus Kaden. Große Strukturen, wie man sie beispielsweise in einem Flugzeugrumpf findet, sind für eine Lebensdauer von bis zu 30 Jahren ausgelegt, aufwändig produziert und entsprechend teuer. Demgemäß sind auch die bisherigen Reparaturverfahren sehr zeitaufwändig, wenig flexibel und entsprechend kostenintensiv. Kaden und Schneider sind angetreten, das zu ändern. Mit dem von ihnen entwickelten Verfahren wollen sie Reparaturprozesse effizienter und flexibler machen und damit die Nutzungsdauer von Bauteilen aus Hochleistungskunststoffen deutlich verlängern. Das soll bewirken, dass diese besonderen Materialien wettbewerbsfähig und wirtschaftlich interessant werden.



Bilder: DLR/Frank Eppler

An einem Rotorblattsegment können die am DLR entwickelten Technologien direkt auf ihre Einsatzfähigkeit getestet werden

### Schnell und gleichmäßig warm: mit spezieller Heiztechnik erfolgreich

Technologischer Kern des von msquare angebotenen Reparaturverfahrens ist das neuartige Heizkonzept „FlexIn Heat“. Dahinter verbirgt sich eine spezielle Heizmatte: Sie besteht aus einer Induktionsspule, die auf ein Kunststoffgewebe gestickt ist, und einer Vakuummatte aus Silicon. Die Heizmatte erwärmt ein Metallblech in der Größe der zu reparierenden Stelle. Unter dem Metallblech liegt ein sogenannter Patch, ähnlich einem Pflaster. Der Patch besteht aus dem gleichen Material und hat die gleiche Faserausrichtung wie das beschädigte Bauteil. Unter Wärme und Druck verbindet sich der Patch mit der umliegenden Struktur und der Schaden ist behoben. Mit Hilfe eines mobilen Reparaturkoffers lässt sich der Vorgang einfach steuern und dokumentieren.

Im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik bietet die Methode des DLR-Duos wesentlich mehr Flexibilität: Die Größe der Heizmatte lässt sich variieren, abhängig von den Anforderungen der Kunden und den auszubessernden Schäden. Da sie sehr biegsam ist, lassen sich auch kantige und gebogene Oberflächen optimal bearbeiten. Und wie beim Induktionsherd in der Küche wird nur der zu reparierende Bereich – und nicht die ganze Struktur – schnell und gleichmäßig auf bis zu 400 Grad Celsius erhitzt. „Wir geben Kunden eine Lösung an die Hand, die aus wenigen Komponenten besteht und eine um rund 30 Prozent schnellere, präzisere und qualitativ hochwertigere Reparatur ermöglicht“, fasst Marvin Schneider die Vorteile zusammen. Alleinstellungsmerkmale, die das Verfahren für den Markt interessant machen ...

### Aus der Forschung in die Existenzgründung

Auf die Idee für ihr Start-up kamen die beiden Ingenieure im Zuge ihrer Arbeiten am DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart. Mehr als einhundert Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen dort Strukturen und Bauteile, die Höchstleistungen bringen müssen und in der Luft- und Raumfahrt, im Fahrzeugbau oder in der Energietechnik Anwendung finden. Sie basieren vor allem auf faserverstärkten Kunststoffen und Keramiken.

„Zunächst ging es generell um das Thema Reparatur von FVK-Materialien und grundlegende Fragen: Wie funktioniert das und welche Ansätze sind überhaupt sinnvoll?“, erinnert sich Markus Kaden. Er beschäftigt sich seit 2011 mit dem Thema, erst allein und dann mit Unterstützung: Marvin Schneider kam als Praktikant und wissenschaftliche Hilfskraft ins DLR und stieg 2015 nach Ende seines Studiums als wissenschaftlicher Mitarbeiter ein. Gemeinsam entwickelten



Reparaturversuch an der Außenhaut eines Rotorblattes mit der am DLR entwickelten Vakuumheizmatte

sie Schritt für Schritt die „FlexIn Heat“-Technologie, überlegten, wie man sie industriell umsetzen könnte, und analysierten die Anforderungen der Unternehmen. Im Zuge eines vom Technologiemarketing des DLR geförderten Projekts beantragten die beiden erste Patente, stellten ihre Arbeit auf einschlägigen Fachmessen und Veranstaltungen vor und machten sich auf die Suche nach potenziellen Kunden und Lizenznehmern.

### Herzblut und Motivation: die eigene Gründung wachsen sehen

Währenddessen reifte die Idee, ein eigenes Unternehmen zu gründen. „Bei Firmenbesuchen bekamen wir immer wieder begeistertes Feedback. Wir haben uns dann gedacht: Wir verfügen bereits über viele Kontakte, verstehen die Technologie – verkaufen wir sie doch auch selbst“, erinnern sich Kaden und Schneider. Ihr Anreiz dabei: selbst etwas zu gestalten, die eigene Idee wachsen zu sehen, auf den Markt zu bringen und im Einsatz zu erleben.

FlexIn Heat kombiniert eine Induktionsspule und eine Vakuummatte aus Silicon

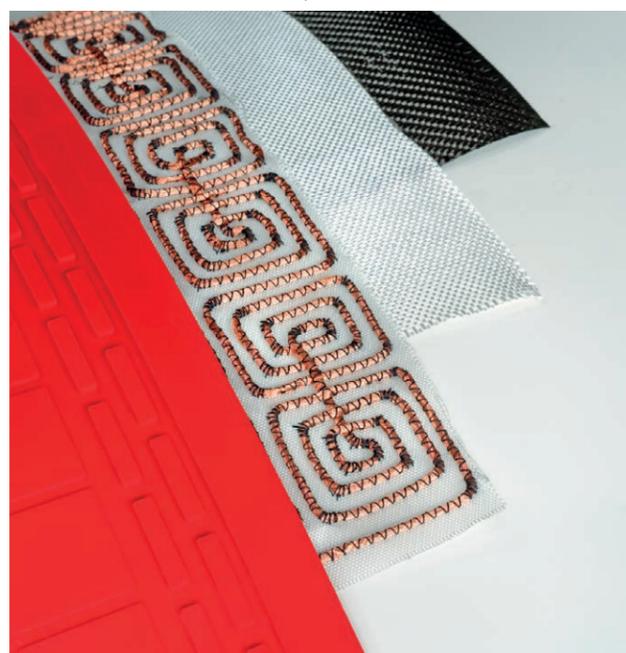


Bild: DLR/msquare

Ein Name für ihr „Baby“ war schnell gefunden. „Da unsere Vornamen beide mit M beginnen und unser Kernprodukt rechteckige, flächige Heizsysteme sind, kamen wir auf msquare als Firmennamen“, erläutert Marvin Schneider.

Unterstützung für ihr Vorhaben fanden die beiden jungen Köpfe im eigenen Institut, bei Kollegen, beim Abteilungsleiter und beim Institutsdirektor. Außerdem betreute sie über den ganzen Zeitraum das DLR-Technologiemarketing und half zum Beispiel bei juristischen Fragen zu Patenten und Schutzrechten, vermittelte Workshops für das Erstellen des Businessplans, begleitete die Geschäftsmodellentwicklung und gab Tipps zu Förderprogrammen.

Die eine oder andere Überraschung blieb trotzdem nicht aus: „Wir haben schnell gemerkt, dass auch unser Tag nur 24 Stunden hat. Gerade wenn man in der Anfangsphase alles selbst macht, gibt es viele unterschiedliche Baustellen, die man im Blick behalten muss“, lässt Marvin Schneider die letzten Monate Revue passieren. „Manches funktioniert nicht immer wie gedacht, dafür öffnen sich neue Türen, wo man sie vorher nicht erwartet hatte“, ergänzt Markus Kaden. Im Mai 2018 hat das DLR-Forscherduo seine Existenzgründung in eine rechtlich offizielle Form gegossen und die msquare GmbH ins Leben gerufen. Für die Bereiche Geschäftsentwicklung, Finanzen, Vertrieb und Controlling holten sich die beiden im Sommer 2018 Unterstützung an Bord: Max Eberl verstärkt als erfahrener Gründer das Team.

### Zunächst im Fokus: Windkraft- und Luftfahrtbranche

Eine Handvoll Reparatursets sind bereits verkauft, eine Lizenz- und Kooperationsvereinbarung mit dem DLR geschlossen und der Blick in die Zukunft ist voller Zuversicht. Vor allem in der Windenergie- und

Luftfahrtbranche sehen Kaden und Schneider großes Marktpotenzial: Allein in Deutschland stehen fast 30.000 Windkraftanlagen: Naturgemäß kommt es an ihnen immer wieder zu Schäden, zum Beispiel durch Blitzschlag. Und Flugzeuge mit Faserverbundbauteilen müssen durchschnittlich sieben Mal pro Jahr ausgebessert werden. Aber auch die Fertigungsindustrie, den Automobil- und Schiffsbau und Motorsport hat msquare auf dem Schirm, will dort Kunden gewinnen und so nach und nach weitere Märkte erschließen.

### Für ihr Wachstumsziel öfter mal im Bunker

Trotz einiger anstrengender Monate spricht weiterhin der Unternehmergeist aus dem DLR-Duo: „Wir wollen langfristig ein stabiles und innovatives mittelständisches Unternehmen aufbauen“, sind sich Kaden und Schneider einig. „Wir suchen nach Investoren, wollen weiter wachsen und drei bis vier Leute anstellen“, beschreiben sie ihre Ziele für dieses Jahr. Neben Engagement und Herzblut fließt viel Spaß in die Arbeit ein und schweißte die kleine Gruppe zusammen: Wartete der nächste Kunde dringend auf seine Bestellung, musste schon auch mal der heimische Küchentisch oder das Hotelzimmer für einen letzten spontanen Testlauf herhalten. Und abends oder am Wochenende findet man Markus Kaden und Marvin Schneider öfter in ihrer kleinen Werkstatt im Stuttgarter Osten – oder eben im Bunker. Dort wird experimentiert, entwickelt und die Köpfe werden zusammengesteckt – für weitere Ideen.

## DIE GRÜNDER VON MSQUARE



### Markus Kaden

Alter: 34  
Heimat: Mulda in Sachsen  
Studium: Luft- und Raumfahrttechnik in Stuttgart  
Im DLR: seit 2007 als Hiwi, seit 2009 als wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Macht sonst: Fußball spielen, Reisen  
Über Marvin Schneider: „Multitalent, coole Socke“



### Marvin Schneider

Alter: 30  
Heimat: Herrenberg  
Studium: Luft- und Raumfahrttechnik in Stuttgart  
Im DLR: zunächst 2010 als Praktikant, dann als Hiwi und seit 2015 als wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Macht sonst: Squash spielen, gern mal Essen gehen  
Über Markus Kaden: „Kreativ, guter Kleidungsstil“ (lacht)

Bilder: DLR/Frank Eppler

# AUTO, GIB MIR EIN ZEICHEN!



**E**in alltägliches Szenario: Ein Fußgänger will auf einem Zebrastreifen die Straße überqueren. Ein Fahrzeug nähert sich. Der Fußgänger sucht Blickkontakt. Sieht der Fahrer ihn und bremst ab? Innerhalb von wenigen Sekunden muss der Fußgänger einschätzen, ob er über den Zebrastreifen gehen kann. Doch was ist, wenn der Mensch im Straßenverkehr auf ein automatisiert fahrendes Fahrzeug trifft? Wie erkennt er, ob das Fahrzeug ihn wahrgenommen hat? Und was muss die Maschine dem Menschen signalisieren, damit dieser der Technik vertraut? Mit diesen komplexen Fragen beschäftigen sich die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik in dem von der Europäischen Kommission geförderten Projekt interACT.

Das DLR erforscht die Interaktion von automatisierten Fahrzeugen mit menschlichen Verkehrsteilnehmern im EU-Projekt interACT

Von Vera Koopmann

Blinken, Handzeichen, akustische Signale, Kopfbewegungen – Menschen im Straßenverkehr kommunizieren miteinander. Insbesondere in städtischen Umgebungen oder auf Parkplätzen verständigen sich Verkehrsteilnehmer untereinander, um unklare Situationen kooperativ zu lösen. „Wenn die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine funktionieren soll, muss der Mensch langfristig Vertrauen aufbauen und gegebenenfalls auch wissen, wozu das automatisiert fahrende Fahrzeug in der Lage ist“, erklärt die Koordinatorin des Gesamtprojekts interACT, Anna Schieben vom DLR. Acht Industrie- und Forschungspartner aus vier europäischen Ländern arbeiten gemeinsam mit den DLR-Wissenschaftlern daran, die Sicherheit und die Akzeptanz der automatisiert fahrenden Fahrzeuge zu erhöhen. Die DLR-Forscher entwickeln in interACT ein Mensch-Maschine-Design sowohl für den Nutzer an Bord als auch für umgebende Verkehrsteilnehmer. Zudem erarbeiten sie ein zentrales Softwaremodul, das es dem automatisiert fahrenden Fahrzeug ermöglicht, in Echtzeit zu reagieren und sich ohne Zeitverzögerung zu bewegen. Die Wissenschaftler konzentrieren sich dabei auf sogenannte geteilte Verkehrsumgebungen, in denen sowohl automatisierte als auch nicht automatisierte Fahrzeuge, Fußgänger und Radfahrer miteinander kooperieren.

Von besonderem Interesse sind dabei Zebrastreifen, Rechts-vor-links-Kreuzungen oder Parkplätze. Grundlage für die Entwicklungen in dem Projekt bildet die Beobachtung menschlichen Interaktionsverhaltens in den Metropolen Athen, München und Leeds. Mit den Ergebnissen wird ein Katalog von menschlichen Kommunikationsanforderungen und -modellen erarbeitet, denen die automatisiert fahrenden Fahrzeuge genügen müssen. Zudem entwickeln die Projektpartner Algorithmen und Sensor-Lösungen, um das Verhalten von Verkehrsteilnehmern vorauszusagen und Intentionen im Verkehr zu erkennen. „All die Arbeiten der verschiedenen Partner in interACT dienen als Basis für die Entwicklung der zukünftigen technologischen Lösungen, die dann eines Tages zuverlässige und verständliche Interaktionen zwischen automatisiert fahrenden Fahrzeugen und menschlichen Verkehrsteilnehmern ermöglichen sollen“, erklärt Schieben.



Eine Probandin im Projekt interACT bewegt sich durch die virtuelle Stadt und schildert ihre Eindrücke von den verschiedenen Kommunikationsdesigns an den automatisiert fahrenden Autos

Doch da automatisiert fahrende Fahrzeuge nicht mit dem Kopf nicken oder Handzeichen geben können, entwickeln die Wissenschaftler spezielle, universell verständliche Mensch-Maschine-Designs. Dafür führen sie Probanden mittels Virtual-Reality-Brille durch eine simulierte Stadt. Diese treffen dort auf automatisiert fahrende Fahrzeuge und müssen eine Straße überqueren. Von links nähern sich Autos ohne Fahrer. Allein eine Lichtleiste an der Windschutzscheibe gibt dem Fußgänger zusätzliche Informationen über das Fahrzeugverhalten. „In unserer Studie wollen wir herausfinden, wie die Fußgänger auf bestimmte Informationen reagieren, die am Äußeren des Fahrzeugs angebracht sind“, erläutert Anna Schieben.

Die Fahrzeuge in der Simulation haben farbige LED-Leisten; mal pulsieren sie, leuchten an definierten Positionen auf oder ändern die Blinkfrequenz. „Für uns ist es jetzt wichtig, was die Probanden in die diversen Lichtsignale hineininterpretieren“, so Schieben weiter. „Nehmen sie ein pulsierendes Licht als Signal zum Stehenbleiben wahr oder interpretieren sie es als Zeichen dafür, dass das Fahrzeug wartet? Die Ergebnisse geben den Wissenschaftlern Aufschluss darüber, welche Design-Konzepte bei einem zukünftigen Kommunikationssignal an automatisiert fahrenden Fahrzeugen besser nicht genutzt werden sollten.“

Noch gibt es keine konkreten Lösungen, wie automatisierte Fahrzeuge mit den anderen Verkehrsteilnehmern auf die beste und vor allem sicherste Weise kommunizieren können. Es werden bei allen beteiligten Projektpartnern Tests mit Probanden durchgeführt, um am Ende einen Vorschlag zu machen, der eine zuverlässige Kommunikation zwischen Fahrzeug und Mensch ermöglicht. Die aus der virtuellen Realität heraus entwickelten Kommunikationslösungen werden dann in Forschungsfahrzeugen umgesetzt und mit Hilfe von Fußgänger-simulatoren, Fahrsimulatoren sowie Testfahrzeugen erprobt und bewertet. Kriterien sind neben der Sicherheit auch die Akzeptanz und die Praxistauglichkeit für alle Verkehrsteilnehmer. „Automatisiert fahrende Fahrzeuge werden irgendwann ein alltägliches Bild auf unseren Straßen sein“, so Schieben. „Wir arbeiten daran, dass sich alle Verkehrsteilnehmer dann auch sicher fühlen und kein mulmiges Gefühl entsteht, wenn sich ihnen ein Auto ohne Fahrer nähert.“

**Vera Koopmann** ist am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

WEITERE INFORMATIONEN

[interact-roadautomation.eu](http://interact-roadautomation.eu)  
[interact-roadautomation.eu/interacts-1st-video](http://interact-roadautomation.eu/interacts-1st-video)



**Dr. Justin Hardi**

Der Raumfahrt-Ingenieur erforscht, wie sich thermoakustische Schwingungen auf den Verbrennungsprozess in Raketentriebwerken auswirken. „Sobald sich die Flammen mit akustischen Schwingungen koppeln, tanzen sie im Brennraum hin und her. Das wiederum wirkt sich auf die Akustik aus. Wenn wir die Flamme mit Kameras schnell genug beobachten, können wir die Flammenantwort charakterisieren. Wir sehen dann sozusagen den Tanzschritt der Flamme auf die Akustik und können Rückschlüsse auf den Austausch von Energie ziehen.“

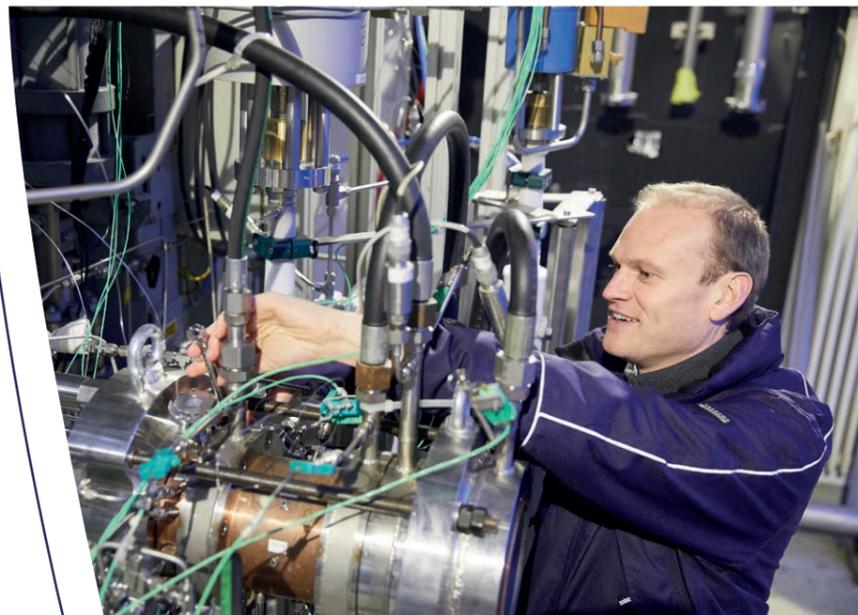
# TANZ DER FLAMME

**M**y favourite space – so beschreibt Justin Hardi sein Testobjekt. Der 36-jährige Australier erforscht die Prozesse in Raketentriebkammern. Wenn er die Flamme im Brennraum beobachtet, geht er mit höchster Präzision vor, macht Details des blitzschnell ablaufenden Verbrennungsprozesses sichtbar. Das Funktionieren des Triebwerks – und damit der Erfolg der Weltraummission – hängt von stabilen Brennkammerprozessen ab. Um die Dynamik der Flamme unter Kontrolle zu bringen, kam Justin Hardi von Australien in den Harthäuser Wald nach Lampoldshausen.

Justin Hardi zähmt die „Widerspenstige“ für ihren Dienst im Raketentriebwerk

Von Anja Kaboth

Alles, was visualisiert werden kann, wird visualisiert werden, darin ist sich Dr. Justin Hardi, der Mann mit dem Faible für die Flammen, ganz sicher. Für den Ingenieur am DLR-Institut für Raumfahrtantriebe ist klar: Man muss das Geschehen in Flammen verstehen. Die Brennkammer eines Raketentriebwerks – sie ist ein wahrhaft extremer Ort, der aber für Hardi einen besonderen Reiz hat. Triebwerke gehören zu den sicherheitsrelevanten Systemen einer Trägerrakete. Haben sie ein Problem, dann geht nichts mehr. Vielgefürchtet sind Instabilitäten bei der Verbrennung. Der Brennprozess ist daher ein wichtiges Forschungsthema bei der Entwicklung und dem Betrieb von Raketenantrieben.



Letzte Vorbereitungen für den Heißlauf der Modellbrennkammer „BKD“ am Prüfstand P8: Dr. Justin Hardi will sein Wissen über die Prozesse in Raketentriebkammern in die Entwicklung neuer Technologien für Raumfahrtantriebe einbringen.



Blick durch die Düse auf die Einspritzelemente der experimentellen Brennkammer „H“; rechts und links davon die Fenster für den optischen Zugang

Brennprozesse gehorchen ganz eigenen Gesetzen. Wenn Brennstoff und Oxidator mit großer Wucht in den Brennraum eines Raketenantriebs eingespritzt werden, muss man genau wissen, was passiert. Justin Hardi hat sich das zur Aufgabe gemacht. Er will herausfinden: Wie treten thermoakustische Schwingungen auf? Und wie hängen sie von Betriebsparametern wie Brennkammerdruck und Treibstoffmischungsverhältnis ab? Diesen Fragen geht er unter anderem mit Hochgeschwindigkeitskameras nach. Die spezielle Aufgabenstellung erfordert Aufnahmen mit 60.000 Bildern pro Sekunde und einer Aufnahmedauer von mehr als zehn Sekunden. Die Aufnahmen werden synchron mit mehreren Kameras gemacht, wobei jede eine andere Wellenlänge erfasst, um die Flamme in Gänze abzubilden.

„Was ich mache, ist angewandte Forschung – wir wollen wissen, welche chemischen und physikalischen Verbrennungsprozesse in Raketentriebwerken sich mit akustischen Schwingungen koppeln lassen. Wenn wir diese Zusammenhänge verstehen, können wir die Ursachen von Anomalien in Triebwerken besser nachvollziehen und Gegenmaßnahmen entwickeln.“ Das besondere für den DLR-Forscher ist dabei, dass sein Team experimentelle Untersuchungen an einem in Europa einzigartigen Prüfstand für Raketentriebwerke durchführen kann. „Das hat mich schon während meiner Promotionszeit fasziniert“, erinnert sich Hardi.

Bevor der Australier 2007 als Doktorand zum DLR-Institut für Raumfahrtantriebe in Lampoldshausen kam, studierte er fünf Jahre an der Universität in Adelaide. In seiner Doktorandenzeit im DLR konnte er sich mit den komplexen Forschungsthemen im Bereich der chemischen Raumfahrtantriebe vertraut machen – aber auch mit den kulturellen Besonderheiten im Süden Deutschlands. „Über die Jahre hinweg habe ich mir nicht nur ein Forscher-Netzwerk aufgebaut, sondern auch viele persönliche Freundschaften geschlossen. Das erleichtert es mir, mich hier wohlfühlen“, sagt Hardi. Heute, zwölf Jahre später, ist Justin Hardi fernab des heimischen Kontinents Gruppenleiter im Forschungsbereich Verbrennungsdynamik und als zweifacher Familienvater in seiner neuen Heimat fest verwurzelt.

## Das Raketentriebwerk als Gesamtsystem

Beruflich ist der Raumfahrt-Ingenieur neben seiner Arbeit am Rechner auch regelmäßig am Prüfstand: Die Tests mit Forschungsbrennkammern selbst durchzuführen, ist ihm wichtig. Was sich so einfach anhört, ist in der Praxis hochkomplex: Um die laufende Verbrennung kontrollieren zu können, muss das Verhalten einzelner Treibstoffe im Brennraum eines Raketenantriebs genau verstanden werden. Allerdings geht der Blick auch über den reinen Brennraum hinaus: „Wir sehen die Verbrennungsprozesse als Teil des gesamten Systems“, beschreibt Hardi die Herausforderungen in der Verbrennungsdynamik. Das gesamte Versorgungssystem der Raketentriebkammer gehört somit auch zu den Forschungsthemen, die Hardi gemeinsam mit seinen Kolleginnen und Kollegen betrachtet.

Der Fokus liegt dabei auf den sogenannten transienten Strömungsphänomenen, das heißt, bei dem, was in der Versorgungsleitung vom Tank bis zum Einspritzelement und schließlich bis zum Zeitpunkt der Zündung passiert. Aber auch die Zündung selbst und neue Zündmethoden, wie die Laserzündung, sind Teil der Forschung. „Bei derart komplexen Themengebieten wie der Verbrennungsdynamik braucht man verschiedene Fähigkeiten. Kaum einer kann sie alle in sich vereinen – daher ist es wichtig, in einem Team zu arbeiten, in dem das Know-how zu den Facetten der Antriebsentwicklung, das in unterschiedlichen Köpfen existiert, vereint wird.“

## Internationaler Austausch mit Wissenschaftlern und Triebwerkdesignern

Das Zusammenspiel von Verbrennungsprozessen und den relevanten Betriebsparametern wie Brennkammerdruck und Brennstoff-Oxidator-Gemisch zu verstehen – „das macht die Forschung an Raumfahrtantrieben so schwierig, aber auch so unglaublich spannend“, beschreibt Hardi seine Arbeit. Wer an Treibstoffkombination oder Brennkammerdesign etwas verändern möchte, braucht also einen langen Atem, vor allem aber gute Kooperationspartner über Ländergrenzen hinweg. Justin Hardi und sein Forscherteam kooperieren daher in einem internationalen Netzwerk mit Experten aus Industrie

und anderen Forschungseinrichtungen. „Von der anwendungsorientierten und industrienahe Forschung profitieren beide Seiten – Industrie und Wissenschaft.“ Das ist für Hardi moderne und innovative Forschungsarbeit. Das Lampoldshausener Forscherteam arbeitet seit rund 20 Jahren im internationalen Kooperationsprojekt REST (Rocket Engine Stability initiative), einer französisch-deutschen Zusammenarbeit an Verbrennungsinstabilitäten in Raketenbrennkammern. „Gemeinsam wollen wir herausfinden, wie Verbrennungsinstabilitäten entstehen, wie sich diese im Vorfeld berechnen lassen und welche Maßnahmen zu empfehlen sind, um Raketenbrennkammern verlässlich, sicher, aber auch mit hoher Leistung zu betreiben.“ Durch die enge Zusammenarbeit mit der Raumfahrtindustrie kann diese Expertise in kurzen Entwicklungszyklen in die direkte industrielle Anwendung gelangen. „Dieses Zusammenspiel brauchen wir, um uns mit unserem technologischen Know-how auf dem internationalen Parkett zu behaupten“, unterstreicht Justin Hardi. Und noch etwas anderes ist ihm wichtig: Das Lehrbuch der Raketentriebwerk-Designer mit fundamentalen Informationen zu füllen, die sie für spätere Design-Entscheidungen nutzen können. Das spornt den Australier an und dafür arbeitet er mit Freude rund 15.000 Kilometer von der Heimat entfernt.

#### Anomalien erkennen, bevor sie auftreten

Um Einblicke in einen Brennraum zu bekommen, in dem Temperaturen von über 3.200 Grad Celsius und Drücke über 100 bar herrschen, gibt es Versuchs- und Simulationsbrennkammern mit gläsernen Wänden und speziellen Zugängen für Messinstrumente. Der intelligente Einsatz der besten am Markt verfügbaren Kameras und Sensoren erlaubt es Justin Hardi und seinem Team, tief in den Verbrennungsprozess in Raketenbrennkammern zu schauen – und zwar in Echtzeit und unter realistischen Bedingungen. Sie sehen, wie und wo Treibstoffe miteinander reagieren, sie bemerken extreme Gradienten der Temperatur und sie hören die „Stimmen“ der Flamme im Brennraum. „Dies ermöglicht es uns, Brennraumprozesse gänzlich neu zu betrachten“, sagt Hardi. „Wir erfinden zwar keine neuen Messtechniken, aber wir optimieren und holen unter den extremen Bedingungen das Bestmögliche raus, so können wir im Grenzbereich manch ungewöhnliche Perspektive auf die Brennraumprozesse eröffnen.“

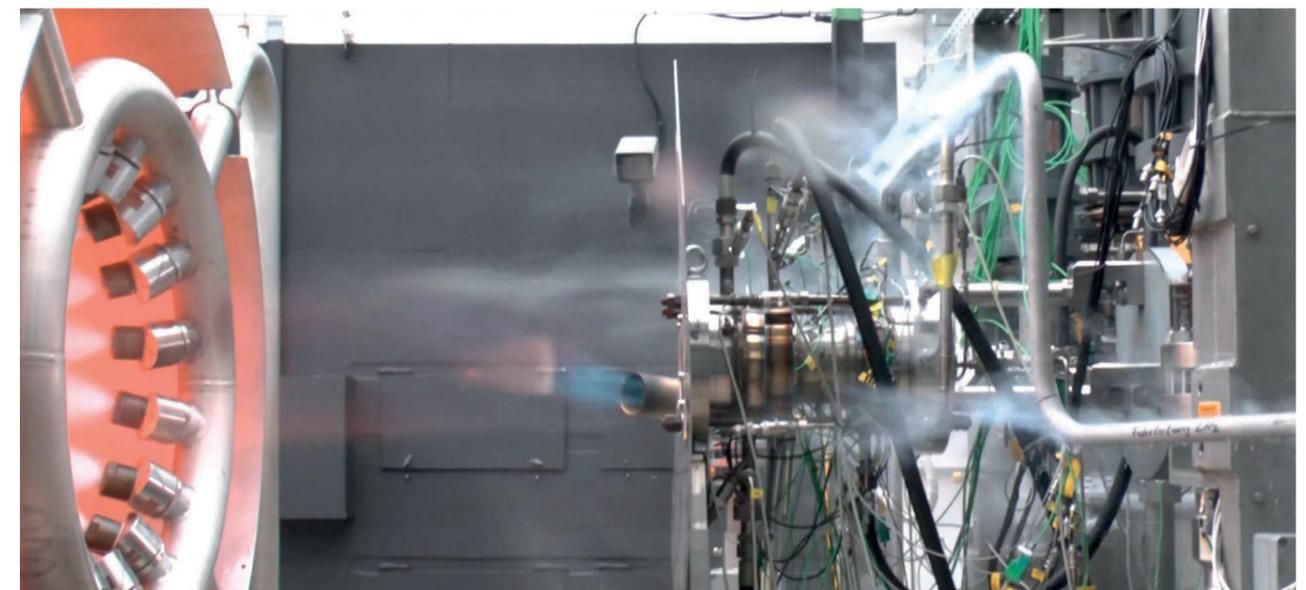
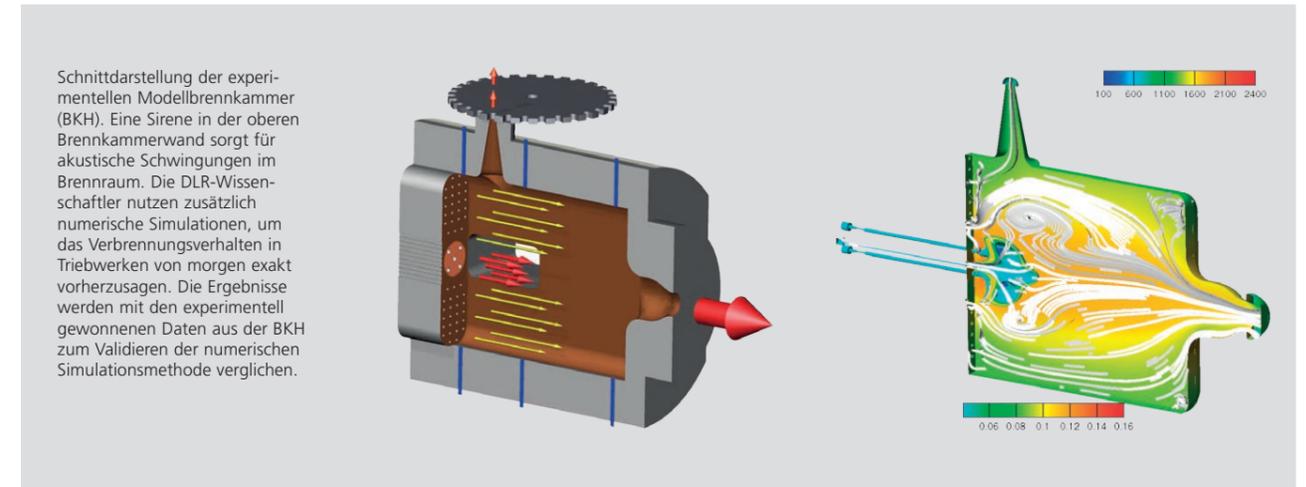
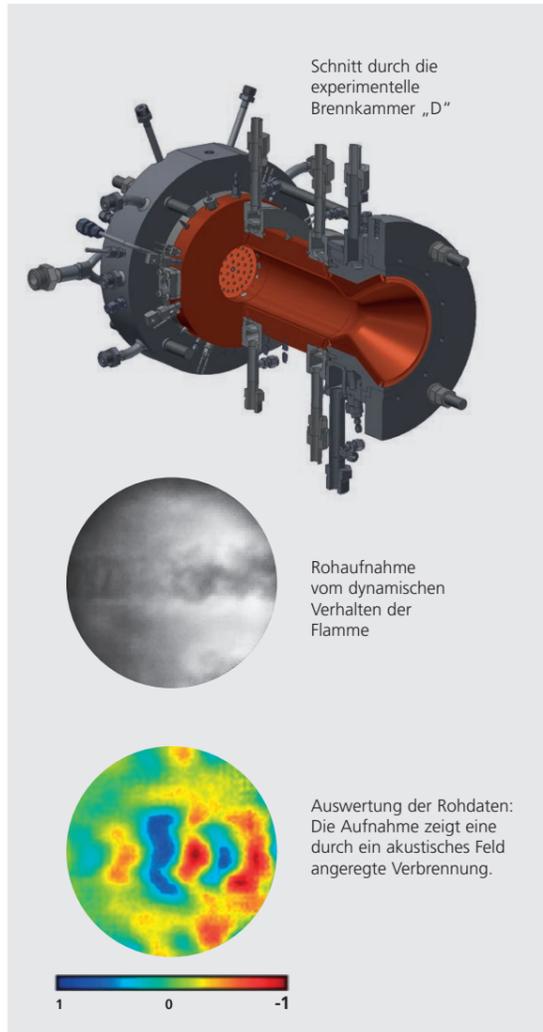
Speziell der Einsatz innovativer Sensorik bei Technologieprogrammen, wie beispielsweise der Erforschung der neuen Treibstoffkombination Flüssigsauerstoff und Flüssigmethan, hat gezeigt, wie vergleichsweise schnell man Prozesse optimieren kann. Auch in der Raumfahrt werden die Entwicklungszeiten, in diesem Fall für die Trägersysteme, immer kürzer. Die digitale Entwicklung von Triebwerkkomponenten und der Einsatz modernster Sensortechnik geben auch den Ingenieuren neuen Schub und tragen dazu bei, die Entwicklungsprozesse effizienter zu gestalten. „Die Informationen, die wir aus riesigen Datenmengen durch zunehmend komplexere Messmethoden ableiten können, werden unser Verständnis der Verbrennungsabläufe in Raketenbrennkammern immer weiter verbessern“, prognostiziert Hardi.

#### Experimentelle Untersuchung und numerische Simulation im Mix

Noch sind experimentelle Untersuchungen an Prüfständen bei der Triebwerkentwicklung unverzichtbar. Doch mit zunehmender Rechnerleistung und weiterem Erkenntnisgewinn steht Ingenieuren in der Raumfahrtforschung ein zusätzliches Werkzeug zur Verfügung: die numerische Simulation. Mit ihr soll die Realität von Triebwerken am Rechner so exakt wie möglich abgebildet werden. Allerdings sind diese Vorhersage-Tools speziell auf Hardis Arbeitsgebiet noch nicht weit genug ausgereift, um valide Vorhersagen treffen zu können. Justin Hardi sorgt dafür, dass die experimentellen Untersuchungen von Brennraum am Prüfstand jene Informationen liefern, mit denen sich die Prozesse in Raketenbrennkammern mit den Vorhersage-Tools künftig so genau wie möglich abbilden lassen.

Die effiziente Weiterverarbeitung der im Versuch gewonnenen Messdaten ist enorm wichtig. Hardi beschreibt dazu das DLR-interne Projekt TAUROS: „Wir arbeiten hierbei mit unseren DLR-Kollegen aus Göttingen und Stuttgart an einer sinnvollen Kombination aus Experiment und Simulation.“ Ziel ist es, die Simulationsmodelle, in diesem Fall den TAU-Code, für Flüssigkeitsraketen-triebwerke fit zu machen, sodass damit die Prozesse innerhalb einer Raketenbrennkammer möglichst genau abgebildet werden. „Dabei ist die Schnittstelle zwischen den ermittelten Messdaten und unseren Simulationsprogrammen äußerst wichtig“, hebt Hardi hervor. Mit den im Heißlauf ermittelten Messdaten validieren die Forscher ihren TAU-Code und können – angereichert mit Werten aus dem realen Versuchsbetrieb – weitere Simulationen erstellen, die dann deutlich zuverlässiger sind. Damit schaffen die Wissenschaftler im TAUROS-Projekt die Grundlage für die Entwicklung von Vorhersage-Tools, auf deren Basis sich die Anzahl der benötigten teuren Tests an Prüfständen von zukünftigen Raketen-triebwerken reduzieren lässt.

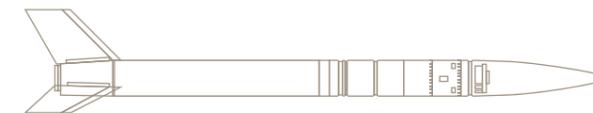
Doch der Durchbruch kommt nicht über Nacht – die Entwicklung fortschrittlicher und zuverlässiger Triebwerke gleicht eher einem Marathon als einem Sprint und fordert vor allem eines: Ausdauer und die Fähigkeit, auftretende Hürden Stück für Stück aus dem Weg zu räumen. Wer den australischen Raumfahrtingenieur kennenlernt, merkt schnell, dass er bei aller Ernsthaftigkeit und Langwierigkeit der Arbeit von diesem Forschungsfeld begeistert ist. „Unsere Arbeiten auf dem Gebiet der Verbrennungsdynamik dauern manchmal ewig, bevor wir etwas Substantielles zum Gesamtbild Rakete beitragen können. Aber das tut der Tatsache keinen Abbruch, dass man wirklich Spaß an der Arbeit haben kann. Raketenbrennkammern sind in der Tat ‚my favourite space‘“, resümiert Justin Hardi mit seinem sympathisch australisch klingenden Akzent.





Nachwuchsgruppenleiterin Dr. Hannah Böhrk und Master-Anwärter Jonas Peichl im Labor: Mit dem von der Gruppe entwickelten durchleuchtbaren Ofen lassen sich 3D-Bilder der darin erhitzten Materialproben erstellen und das Thermalverhalten von Materialien erforschen.

## FREIES FORSCHEN FÜR DIE PERFEKTE KÜHLUNG



**B**eim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre müssen Raumfahrzeuge Temperaturen von mehreren tausend Grad aushalten. Wie Wärmelasten auf Strukturen aus faserverstärkter Keramik reduziert werden können, das wollen Dr. Hannah Böhrk vom Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart und ihr Team besser verstehen. Fünf Jahre lang leitete die Wissenschaftlerin eine Helmholtz-Nachwuchsgruppe, die Technologien für moderne Hitzeschilde in Simulation und Experiment untersucht. Nun kommt das Projekt zum Abschluss.

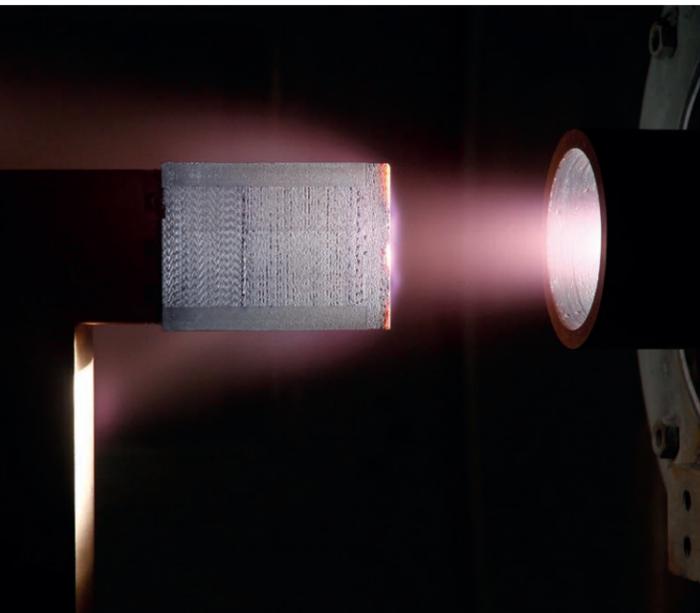
Nachwuchsgruppe „Hochtemperaturmanagement für den Hyperschallflug“: Ein kleines Team ist begeistert von einem anspruchsvollen Thema

Von Nicole Waibel

Um Raumfahrzeuge in der heißen Flugphase zu schützen, setzen Forscherinnen und Forscher am DLR Stuttgart auf die Transpirationskühlung. Dabei strömt ein Kühlgas, beispielsweise Stickstoff, durch die porösen faserkeramischen Kacheln nach außen und bildet eine kühlende Schutzschicht auf der Oberfläche. Die weltweit erste Flugprobung einer Kühlung dieser Art kam bei SHEFEX II (Sharp Edge Flight EXperiment), einem Flugexperiment des DLR, zum Einsatz. „SHEFEX II war ein toller Erfolg, wir konnten zeigen, dass die vom DLR entwickelte transpirative Kühlung funktioniert“, erinnert sich Hannah Böhrk. Kritische Stellen komplexer Strukturen hoffen die jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf diese Weise kühlen zu können – wie etwa die scharfe Vorderkante von Raumfahrzeugen oder auch Brennkammerstrukturen.

### Komplexes Thermalverhalten besser verstehen

Wie strömt das Kühlgas in einer komplexen Struktur bei verschiedenen Temperaturen und Drücken? Wie kann ich es gezielt zur heißesten Stelle strömen lassen? – „Da waren so viele spannende Fragen, denen ich gerne nachgehen wollte“, erzählt Böhrk, „aber vor allem in den Bereichen Auslegung und Instrumentierung haben noch Werkzeuge gefehlt, um diese zufriedenstellend beantworten zu können.“ Das brachte die Wissenschaftlerin auf die Idee, sich mit diesem Thema für eine Helmholtz-Nachwuchsgruppe zu bewerben. Das Programm der Helmholtz-Gemeinschaft fördert international herausragende Postdoktorandinnen und Postdoktoranden und ermöglicht diesen, eine eigene Forschungsgruppe aufzubauen und zu leiten. An den Auswahlprozess erinnert Böhrk sich noch genau: „Es gab ein mehrstufiges Verfahren mit Fachbegutachtungen und Präsentationen vor Prüfern aus unterschiedlichen Disziplinen.“ Böhrk überzeugte die Jury. Sie erhielt eine Förderung und konnte sich gemeinsam mit einem von ihr zusammengestellten Team intensiv dem „Hochtemperaturmanagement für den Hyperschallflug“ widmen.



Eine transpirationsgekühlte, faserkeramische scharfe Anlaufkante aus der Helmholtz-Nachwuchsgruppe in der Luftplasmaströmung des Plasmawindkanals PWK4 des Instituts für Raumfahrtssysteme der Universität Stuttgart

### Kleines Team, große Ziele

Fünf Jahre lang leitete Böhrc die Nachwuchsgruppe, bestehend aus einer Doktorandin und einem Doktoranden am DLR sowie einem Doktoranden an der Universität Stuttgart, und betreute zahlreiche Studierende bei ihren Abschlussarbeiten. Im Mittelpunkt: die scharfe Anlaufkante. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler konzipierten theoretisch und experimentell Werkzeuge, um die untersuchten Grenzen und Möglichkeiten der Kühlung zu erfassen. Das beinhaltete die Analyse der Aero- und Thermodynamik ebenso wie die Materialcharakterisierung und die Entwicklung von Sensoren. Eine Doktorandin beschäftigte sich mit Health Monitoring und entwickelte ein Überwachungssystem für faserkeramische Hitzeschilde. „Das Tolle an einem kleinen Team ist, dass man ständig miteinander im Austausch steht. Man kann gemeinsam intensiv an einer übergreifenden Sache arbeiten“, beschreibt Böhrc die Vorteile der Nachwuchsgruppe. Um ihre Idee von einem neuartigen, durchleuchtbaren Ofen umzusetzen, holte Böhrc 2016 noch eine Postdoktorandin ins Team.

### Sichtbar machen, was sonst verborgen bleibt

„Was ich an der Förderung besonders schätze, ist die Gelegenheit, frei zu denken und zu arbeiten. Ein Ergebnis dieser Forschungsfreiheit ist ein portabler Ofen, mit dessen Hilfe wir die Vorgänge im Inneren einer Materialprobe während des Versuchs genau beobachten können.“ Durch ein ringförmiges Fenster lässt sich der kleine Plasmawindkanal beispielsweise mit Röntgenstrahlen durchleuchten. Dazu haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Ofen an einem speziellen Teilchenbeschleuniger des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) installiert. „Innere Prozesse wie der Abbrand eines Materials, die Infiltration von Flüssig-Silizium oder Oxidationsvorgänge konnten in Sekundenschnelle und in hoher Auflösung aufgenommen werden“, erklärt Böhrc die Besonderheit der Testanlage. Auf den 3D-Bildern der erhitzten Proben konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler deutlich erkennen, wie Materialveränderungen im Inneren und an der



Postdoktorandin Dr. Işıl Şakraker Özmen beim Installieren des Röntgen-Ofens am Teilchenbeschleuniger des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Oberfläche zusammenspielen. „Mit Hilfe der Aufnahmen und Versuche lässt sich das Verhalten des Materials beschreiben. Das bildet die Grundlage für Simulationen der Wärmeübergänge im Material“, fasst Böhrc zusammen.

In Zukunft will das Team um Hannah Böhrc den Ofen so weiterentwickeln, dass man damit auch untersuchen kann, welche Reaktionen durch die Außenströmung beim Eintritt in die Atmosphäre der Erde oder anderer Planeten stattfinden. Ein Beispiel ist der Mars, dessen Atmosphäre fast ausschließlich aus Kohlenstoffdioxid besteht. Hierfür muss der Plasmagenerator am Ofen noch weiter verbessert werden.

### Die Gruppenleitung: eine besondere Erfahrung

Hannah Böhrc möchte junge Postdoktorandinnen und -doktoranden ermutigen, sich mit einem interessanten Thema für eine Nachwuchsgruppe zu bewerben: „Der Kontakt mit der Helmholtz-Gemeinschaft war bereichernd, weil sich dadurch neue Wissensquellen für mich eröffnet haben. Gerade beim Zusammenführen der einzelnen Fragen und Antworten zu einem Ganzen hat das sehr geholfen.“ Und die Fördermaßnahme hatte noch einen weiteren Vorteil: „Die Wahrnehmung eines Forschungsthemas wird dadurch verstärkt. Es wird sichtbar – nach außen, aber auch nach innen.“

Dass die Forschungsgruppe nun nach fünf Jahren ihr reguläres Ende fand, stimmt Böhrc etwas wehmütig: „Als ihre Leiterin sammelte ich wertvolle Erfahrung und konnte in der Lehre an der Universität Stuttgart mitwirken.“ Böhrc hält heute außerdem Vorlesungen an der Hochschule Furtwangen und der Universität Augsburg. Eines Tages Professorin zu sein, das kann sie sich gut vorstellen. „Die Helmholtz-Gruppe zu leiten, hat mich diesem Ziel sicherlich näher gebracht.“

**Nicole Waibel** ist am DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig.



### Dr.-Ing. Hannah Böhrc

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und stellvertretende Leiterin der Abteilung „Raumfahrt Systemintegration“ am DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart. Fünf Jahre lang (2013–2018) leitete sie die von ihr initiierte Helmholtz-Nachwuchsgruppe „Hochtemperaturmanagement für den Hyperschallflug“.

Bevor sie 2007 ans DLR kam, promovierte Böhrc am Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart über die Leistungssteigerung von elektrischen Antrieben mit Hybridplasmageneratoren. Böhrc erhielt mehrere Stipendien und Preise und hat Experimente auf fünf Raumflügen durchgeführt.

An der Universität Stuttgart hält Böhrc die Vorlesung „Poröse Medien in der Luft- und Raumfahrt“, außerdem doziert sie an der Hochschule Furtwangen und der Universität Augsburg zum Hyperschallflug.

Hannah Böhrc ist Mutter von zwei Kindern.

## DAS HELMHOLTZ-NACHWUCHSGRUPPEN-PROGRAMM

Die Helmholtz-Gemeinschaft bietet Postdoktorandinnen und -doktoranden die Möglichkeit, in Kooperation mit einer Universität eigene Forschungsgruppen aufzubauen und zu leiten. Jeden Januar werden bis zu 15 Nachwuchsgruppen ausgeschrieben, die sechs Jahre lang eine Förderung von bis zu 150.000 Euro jährlich im Sinne einer Ko-Finanzierung erhalten.

Bewerben können sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit nachgewiesener Forschungserfahrung im Ausland, deren Promotion zwei bis sechs Jahre zurückliegt. Voraussetzung ist neben der Exzellenz des Bewerbers ein vielversprechendes Forschungsvorhaben in einem der Helmholtz-Forschungsbereiche (Energie – Erde&Umwelt – Schlüsseltechnologien/Information – Materie – Gesundheit – Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr).

Weitere Informationen unter: [helmholtz.de](http://helmholtz.de)

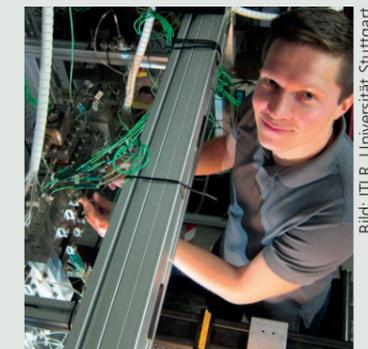
## DIE DREI DOKTORANDEN DER HELMHOLTZ-NACHWUCHSGRUPPE IM DLR



**Christian Dittert** – sein Spezialgebiet ist die Auslegung und Berechnung transpirationsgekühlter scharfer Anlaufkanten von Hyperschallfahrzeugen

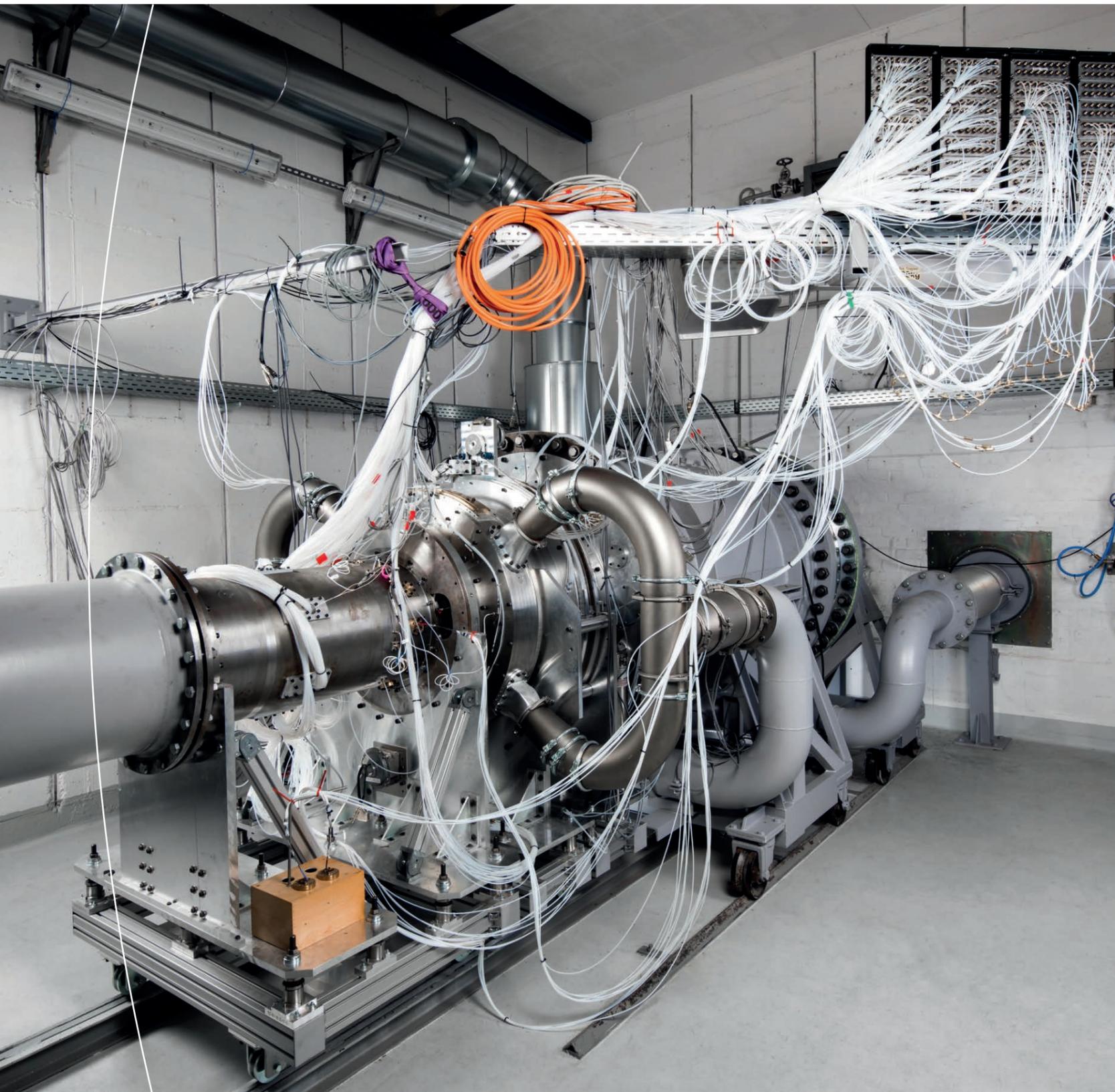


**Tina Stähler** konnte ihre Dissertation zum Thema „Elektrisches Verfahren zur Zustandsüberwachung von Thermalschutzsystemen in der Raumfahrt“ im November 2018 abgeben



**Daniel Prokein** beim Aufbauen eines Experiments an der Überschall-Versuchsanlage am Institut für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt der Universität Stuttgart

Bild: ITLR, Universität Stuttgart



Der ICD-Windkanal mit seiner aufwändigen Instrumentierung (englisch: Inter Compressor Duct, Übergangskanal)

## KURZER WEG ZUM SCHUB

An der Verdichteranlage des DLR Köln wird für die Triebwerke der nächsten Generation geforscht

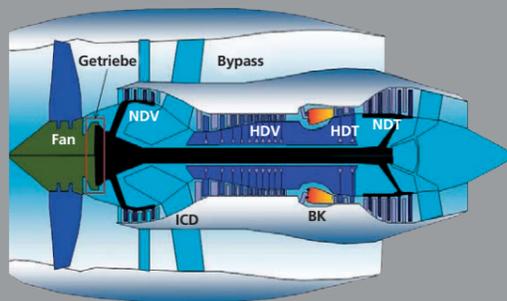
Von Doris Pfaff

Der Lärm ist ohrenbetäubend wie auf einem Rollfeld. PS-starke Motoren und Getriebe dröhnen, der Boden vibriert. Wir sind im Verdichterprüfstand des Instituts für Antriebstechnik im DLR Köln. Das Prüfobjekt, das aussieht wie der Motorblock eines Autos, ist in einer beeindruckenden Versuchsanlage eingebaut und an rund 1.000 Messstellen verkabelt. Verschiedene Sensoren und spezielle Sonden messen Druck, Temperatur und Strömungszustände. So, wie sie auch in einem Triebwerk herrschen. Die erfassten Daten werden in die Messwarte, von den Wissenschaftlern lieber als Kontrollzentrum bezeichnet, weitergeleitet. Der komplexe Aufbau rund um den Forschungsverdichter RIG 250, der ja nur eine Komponente von mehreren Triebwerkmodulen ist, lässt erahnen, welche Anstrengungen erforderlich sind, damit Triebwerke der nächsten Generation weniger Treibstoff verbrauchen und leiser werden.

Hebt ein Flugzeug vom Boden ab, ist eine Reihe aerodynamischer Kräfte im Spiel. Die entscheidende Kraft – der Schub – wird von den großen, unter den Tragflügeln angebrachten Triebwerken erzeugt. Ein Triebwerk arbeitet ähnlich wie ein Viertakt-Ottomotor. Im ersten Takt wird die Luft über den Fan – das von außen sichtbare große Schaufelrad – angesaugt. Im zweiten wird diese im Niederdruck- und Hochdruckverdichter komprimiert und dadurch auch auf eine hohe Temperatur gebracht. Im dritten Takt, in der Brennkammer, wird der Brennstoff – beispielsweise Kerosin – zugeführt und das Gemisch über einen elektrisch erzeugten Funken kontrolliert zur Explosion gebracht. Der vom Fan erzeugte Luftstrom, der nicht zur Verbrennung genutzt wird (Bypassstrom), und die austretenden heißen Gase erzeugen nun die Schubkraft, die ein Flugzeug zum Abheben und Fliegen braucht. Je größer der Bypassstrom und damit der Fan, umso leistungsfähiger die Triebwerke. Aber: Ein aus der Größe resultierendes Mehrgewicht bedeutet auch einen höheren Treibstoffverbrauch und damit eine stärkere Belastung für die Umwelt.

Hier setzen die DLR-Antriebstechniker an: Ihr Ziel ist es, leichtere Triebwerke zu entwickeln, die demzufolge weniger Treibstoff benötigen. Gleichzeitig sollten sie leiser, aber – und das ist eine der großen Herausforderungen – mindestens genauso leistungstark sein. Das ist ein wichtiger Beitrag der Luftfahrtforschung zum Klimaschutz und Teil des Forschungsprogramms der Bundesregierung.

Wie aber lassen sich die Komponenten Fan und Verdichter optimieren? „Dazu muss man wissen, dass es je nach Druckbereich verschiedene Arten von Verdichtern gibt, wie zum Beispiel den Niederdruck- und den Hochdruckverdichter. Die vom Fan angesaugte Luft wird in den darauffolgenden Rotor-Stator-Kombinationen (Verdichterstufen) bis zum Austritt komprimiert“, erklärt Andreas Peters, Ingenieur der Abteilung Fan und Verdichter und verantwortlich für die Kölner Prüfstände. Gelingt es durch optimierte Schaufelgeometrien, ganze Verdichterstufen einzusparen, lässt sich der Verdichter kompakter konstruieren. Möglich macht dies eine neue am Institut entwickelte Software, sagt Peters. Moderne Werkstoffe spielen dabei eine entscheidende Rolle. So werden neben Titan nun auch Kohlefaserverbundstoffe oder Kombinationen aus beiden Materialien eingesetzt. Beide sind leicht und besitzen eine hohe Festigkeit. Bewährt hat sich auch die Herstellung der Rotoren in sogenannter Blist-Bauweise (Blade integrated Disk). Dabei wird der Rotor nicht aus einzeln hergestellten Schaufeln zusammengesetzt, sondern komplett aus dem vollen Material gefräst. „Ob diese neuen Rotoren und Verdichter dann tatsächlich auch die versprochene Leistungssteigerung bei gleichzeitig weiter erhöhter Zuverlässigkeit bringen, zeigt sich in den Messkampagnen an den verschiedenen Prüfständen“, führt Peters aus.

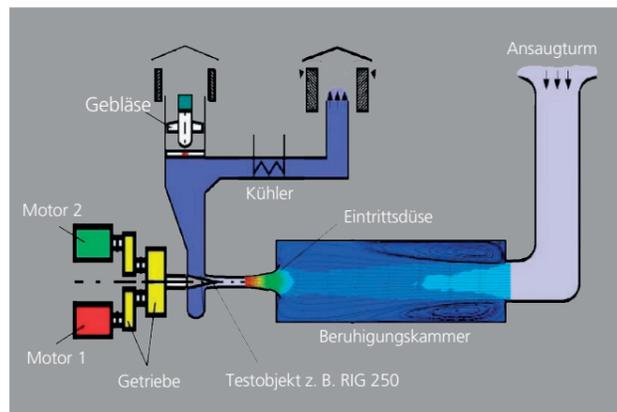


Skizze eines Triebwerks mit Getriebefans

## EINZIGARTIGE PRÜFSTÄNDE FÜR DAS OPTIMALE TRIEBWERK

Das Institut für Antriebstechnik in Köln ist mit rund 200 Fachkräften an vier Standorten (Köln, Göttingen, Berlin, Trauen) eines der größten und ältesten Institute des DLR. Die Struktur des Instituts entspricht im Prinzip dem eines Triebwerks und besteht aus den Abteilungen Fan und Verdichter, Brennkammer und Turbine: Jede kümmert sich speziell um eine dieser Komponenten mit dem gemeinsamen Ziel, optimierte Triebwerke zu entwickeln. Hinzu kommen weitere Abteilungen mit Querschnittsaufgaben, die beispielsweise das Triebwerk als Ganzes bewerten, Wege suchen, den Triebwerkslärm zu reduzieren, oder auch spezielle Mess- und Simulationstechniken entwickeln, die bei der Untersuchung des Testobjekts zum Einsatz kommen.

Die Abteilung Fan und Verdichter (FUV) am DLR-Standort Köln hat die Aufgabe, die vordersten Komponenten des Triebwerks, also Fan und Verdichter, zu optimieren. Dazu stehen den rund 30 Mitarbeitern drei Prüfstände zur Verfügung: der Mehrstufen-Zweiwellen-Axialverdichter-Prüfstand (M2VP), der Radialverdichterprüfstand (RV) und der Transsonische Gitterwindkanal (TGK). Der TGK ist zwar der älteste Prüfstand der Abteilung, aber weiterhin wichtig für die Erforschung der Grundlagen.



Schema des Mehrstufen-2-Wellen-Verdichterprüfstands (M2VP)

### Aufwändiger Versuchsaufbau und langwierige Auswertung

Und so funktioniert ein Test in der Praxis: Das Prüfobjekt, in diesem Fall der mehrstufige Hochdruckverdichter RIG 250, wird in den Mehrstufen-Zweiwellen-Axialverdichter-Prüfstand (M2VP) eingebaut und ans Messsystem angeschlossen. Er enthält unter anderem einen Rotor in Blik-Bauweise, ist also leichter und durch sein optimiertes Schaufeldesign auch effizienter. Der Aufbau des Rigs samt den zahlreichen Messstellen dauert bis zu zwei Jahre; allein die Verkabelung mit den Messwert-Erfassungsanlagen nimmt fast einen Monat in Anspruch. Bei tausend Messstellen muss sehr exakt gearbeitet werden, damit alle Messwerte der Sensoren in der Ergebnisdatenbank an der richtigen Stelle abgelegt und ausgewertet werden können, erläutert der Ingenieur.

Um einen solchen Hochdruckverdichter mit einer maximalen Drehzahl von knapp 15.000 Umdrehungen antreiben zu können, wird eine elektrische Leistung von zehn Megawatt gebraucht. Das entspricht etwa einer Leistung von 135 Mittelklassewagen mit jeweils 100 PS. Dabei entsteht mächtig viel Lärm, ähnlich wie bei laufenden Triebwerken großer Flugzeuge. Die daraus resultierende Vibration ist am Prüfstand deutlich spürbar. Für diesen Test ist eine ordentliche Luftzufuhr nötig. Die Luft wird über einen Außenturm vom Verdichter angesaugt und zunächst in eine riesige Kammer geleitet, um die verwirbelte Luft zu „beruhigen“. Und was dort reingepustet wird, ist nicht wenig: Pro Sekunde wird so viel Luft angesaugt, wie sich in einem kleinen Einfamilienhaus befindet. Anschließend wird sie über eine Eintrittsdüse beschleunigt und gelangt nahezu wirbelfrei zum Verdichtereintritt. So herrschen nun optimale Testbedingungen. Die anschließend verdichtete Luft wird bis zu 240 Grad Celsius heiß. Bevor sie später wieder in die Atmosphäre entweicht, wird ihre Temperatur über einen Kühler abgesenkt.

### Daten für die Entwicklung neuer Design- und Fertigungsmethoden

Startet die Messkampagne am jeweiligen Prüfstand, kommt der Augenblick, auf den die Wissenschaftler und Ingenieure lange hingearbeitet haben: Entsprechend groß ist die Anspannung im Kontrollraum der Versuchsanlage: Gelingt die Inbetriebnahme und läuft die so lange vorbereitete Messkampagne reibungslos ab? – Selbst wenn alles klappt, ist die Arbeit noch längst nicht beendet. Da sich die Messungen über einen Zeitraum von mehreren Wochen hinziehen – täglich bis zu acht Stunden ist der Prüfstand in Betrieb –, erfordert die detaillierte und sorgfältige Auswertung der riesigen Datenmengen noch einmal ein Mehrfaches an Zeit. Bis also die Testergebnisse den Wissenschaftlern vorliegen, ist Geduld gefragt. Mit der Geduld ist es so eine Sache – sowohl bei den DLR-Mitarbeitern als auch den beteiligten Ingenieuren im Partner-Unternehmen, die gegebenenfalls darauf warten. Deshalb wird der Versuch so geplant, dass mit einer ersten schnellen Auswertung der Tests zumindest eine



Hunderte Sensoren liefern Daten an das Messsystem des ICD-Prüfstands



Vom Kontrollraum aus überwacht das Team die Messkampagne

vorläufige Ergebnisübersicht möglich wird. Die jüngsten Messungen im Sommer 2018 beispielsweise waren Höhepunkt der langjährigen Kooperation mit Rolls-Royce Deutschland. Deren Fortsetzung ist in Planung. Untersucht wurde dabei folgendes Phänomen: Leichte dünne – also gewichtsreduzierte – Schaufeln können durch Luft zu Schwingungen angeregt werden. Mit dem Ergebnis lassen sich genau diese – aus den Schwingungen resultierenden – Spannungen vorhersagen. So kann man Aussagen zur Betriebssicherheit des Triebwerks treffen.

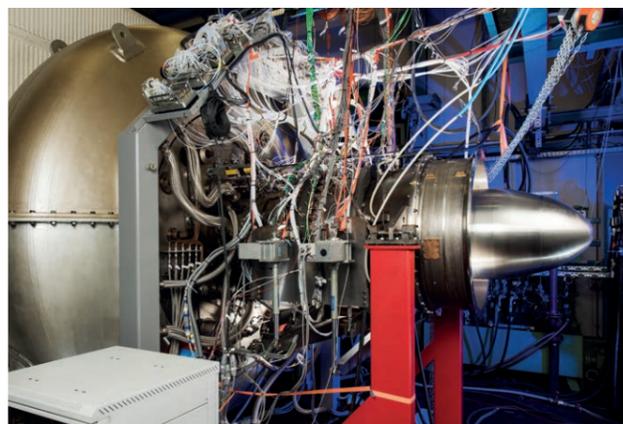
### Blick über den Tellerrand der Verdichterkomponente

An der Entwicklung von Verdichtungssystemen der nächsten Generation arbeitet das DLR-Institut nicht allein, betont Abteilungsleiter Dr. Eberhard Nicke. Gemeinsam mit MTU Aero Engines und GKN Aerospace nimmt das DLR am europäischen Luftfahrtforschungsprogramm Clean Sky 2 (CS2) teil. Ihr gemeinsames Ziel ist es, Niederdruckverdichter, Verdichtungsübergangskanal und Hochdruckverdichter so aufeinander abzustimmen, dass die Gesamtleistung des Triebwerks optimiert ist. Eine solche modulübergreifende Forschung hat es in einer solchen Detailtiefe noch nicht gegeben, erklärt Nicke. Dabei liegt das Augenmerk der Forscher in der ersten Phase des Projekts auf dem Übergangskanal (englisch: Inter Compressor Duct – ICD) des Verdichters, den es möglichst zu verkürzen gilt. „Der dritte Prüfstand des Kölner Instituts, der Transsonische Gitterwindkanal (TGK), spielt hierbei eine wichtige Rolle“, betont er weiter. Und: „Um die Strömung im Übergangskanal unter realen Bedingungen testen zu können, wurde der Gitterwindkanal um eine spezielle Messstrecke erweitert.“

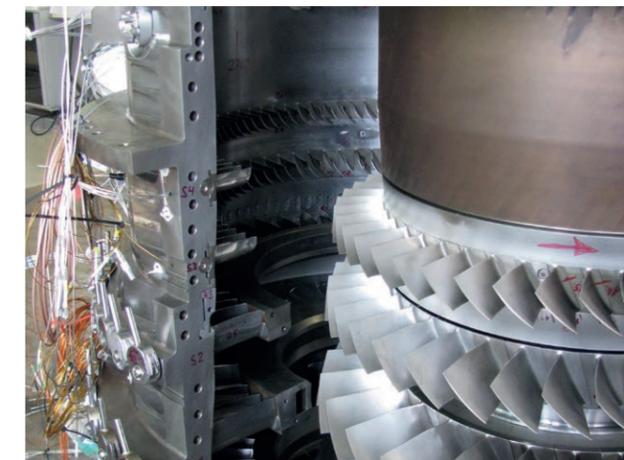
Diese Prüfstandsänderung ist gerade erst in Betrieb genommen worden. Zuvor hatten die Wissenschaftler verschiedene Strömungsuntersuchungen und Optimierungen am Rechner durchgeführt und auf dieser Grundlage ein kompaktes Modell eines Übergangskanals entworfen. Der nun erweiterte Gitterwindkanal ermöglicht es, die Luftströmung in einer bisher nicht möglichen Detailtiefe zu vermessen. Mit den so gewonnenen Messdaten können die Wissenschaftler nun die zuvor erzeugten theoretischen Modelle validieren und die Optimierung des Triebwerkverdichtungssystems in neuer Qualität durchführen. So konnte die zweite Projektphase in der Clean-Sky-2-Kooperation starten. Bei dieser soll ein Verdichter-Rig am M2VP getestet werden. „Ein solcher Testverdichter ist zumindest in der westlichen Welt einmalig“, sagt Nicke. „Bis 2021 soll die Technologie eines optimierten Verdichters einen sehr hohen Reifegrad erreicht haben.“ – Das Triebwerk der nächsten Generation rückt damit in greifbare Nähe.



Dr. Eberhard Nicke leitet die Abteilung Fan und Verdichter

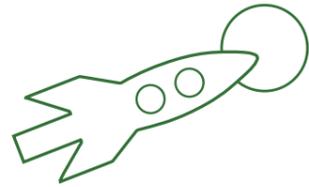


Das eingebaute RIG 250, ein viereinhalbstufiger Testverdichter, im Prüfstand



Blick in das geöffnete RIG 250 mit den vier Statorschaufelreihen und den vier Schaufelreihen des Rotors

# BÜHNE FREI – DIESMAL GEHT'S ZUM MOND!



**D**ie DLR Raumfahrt\_Show 2019: Im Juni startet die zweite Wissenschaftstour für Schülerinnen und Schüler. Aus Anlass der ersten bemannten Mondlandung vor 50 Jahren nimmt sie die Kinder mit auf eine „Gedankenreise zum Mond“ – mit beeindruckenden Showeffekten, faszinierenden Bildern und vielen Mitmach-Experimenten. Dazu gibt es ganz viel interessantes Wissen rund um den Mond.

DLR\_Raumfahrt\_Show geht wieder auf Deutschland-Tour

Von Doris Pfaff

Als am 20. Juli 1969 der amerikanische Astronaut Neil Armstrong als erster Mensch den Mond betrat, hielt die Welt den Atem an. Diesen historischen Moment lässt das DLR mit seiner Raumfahrt-Show ein halbes Jahrhundert später tausende Schülerinnen und Schüler so erleben, als seien sie live dabei. Gemeinsam zählen die Kinder den Countdown, verfolgen via Großleinwand den Raketenstart von Cape Canaveral und sehen die Mission Apollo 11 über dem künstlichen Bühnennebel in den Himmel und zum Mond fliegen.

„Es wird wieder richtig laut, spannend und ebenso lehrreich wie unterhaltsam“, sagt Dr. Volker Kratzenberg-Annies, DLR-Vorstandsbeauftragter für Nachwuchsförderung. Mit der Raumfahrt-Show 2019 knüpft das DLR an den Erfolg vom vergangenen Jahr an, als es mit einer landesweiten Bühnenshow die Horizons-Mission des deutschen ESA-Astronauten Alexander Gerst begleitete und insgesamt 25.000 Kinder begeisterte. Inhaltlich spannte das Programm den Bogen entlang einer echten ISS-Mission: vom Start über das Leben und Arbeiten in Schwerelosigkeit bis zur Landung auf der Erde. Dabei wechselten Experimente auf der Bühne mit Videos ab, mal informativ, mal humorvoll moderiert und mit vielen interaktiven Elementen. „Jedes Mal sorgten die lautstarken Saal-Aktionen für Gänsehaut, wenn viele hundert Kinder gemeinsam den Countdown mitzählten und bei ‚null‘ Krach wie beim Start einer Rakete machen durften“, erinnert sich Kratzenberg-Annies.

Die Resonanz auf das kostenlose DLR-Angebot für Klassen der Stufen drei bis sechs war enorm: Kaum hatte das DLR die Aktion angekündigt, hatten sich schon rund 500 Schulen beworben. Um nicht mehr Enttäuschung als Begeisterung zu erzeugen, musste umdisponiert werden. Am Ende waren es mehr als 50 Aufführungen in 20 Städten quer durch die Republik: von Rostock im Norden bis hinunter nach München sowie von Aachen bis Dresden. Damit möglichst viele Schulen an dem jeweils 90-minütigen Angebot teilnehmen konnten, fand das Programm in großen Hörsälen oder Stadthallen statt. Und selbst das reichte oftmals nicht: So waren beispielsweise in Erfurt 1.400 Kinder im Saal – die Schulen hatten allerdings Bedarf für 8.000 Schülerinnen und Schüler angemeldet.

**DLR**

## DLR\_Raumfahrt\_Show 2019

Eine Gedankenreise zum Mond

+++ Eine interaktive Bühnenshow auf Deutschland-Tour +++ Spannende Mitmach-Experimente +++  
+++ Faszinierende Videos auf Großbild-Leinwand +++ Tausende begeisterte Kinder +++

### Erleben, dass Physik Spaß machen kann

Die vergangene Raumfahrt-Show löste ein bundesweites Echo aus: in den sozialen Medien oder in Form zahlloser Mails und Anrufe. Und auch aus der Politik kamen begeisterte Statements: „Die Kinder lernen, wie schön es ist, sich mit Naturwissenschaft und Technik zu beschäftigen. Die Veranstaltung ist super gelungen und ich danke dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, dass es mit seiner Raumfahrt-Show nach Erfurt gekommen ist“, sagte beispielsweise Wolfgang Tiefensee, Landesminister für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitale Gesellschaft in Thüringen.

Vor allem aber Lehrer, Eltern und viele Kinder schwärmten vom Erlebten. Eltern erzählten von Töchtern, die nun jedes „Prinzessinnen“-Heft links liegen lassen, wenn es etwas zum Thema Weltraum zu lesen gibt. Lehrkräfte bedankten sich für den großartigen Impuls, der Spaß an naturwissenschaftlichen Themen und Fächern vermittelt. „Damit haben wir unser Ziel erreicht, Begeisterung für Forschung und Technik auszulösen. Mit dem Programm haben wir uns bewusst an jüngere Schülerinnen und Schüler gerichtet. Wir wollten erlebbar machen, dass Physik und andere MINT-Fächer richtig Spaß machen können. Science on Stage für Kids gewissermaßen. Und das, bevor die Kinder im Laufe ihrer Schulzeit ihr Interesse von Naturwissenschaften und Technik möglicherweise abwenden“, so Kratzenberg-Annies.

Dass die diesjährige DLR\_Raumfahrt\_Show ebenso erfolgreich sein und – wie die erste Tour – eine nachhaltige Wirkung haben wird, scheint angesichts des Themas sicher. Kratzenberg-Annies: „Der Mond übt auf Kinder eine enorme Faszination aus. Er spielt in vielen Liedern und Geschichten eine Rolle, man sieht ihn am Himmel – und er hat einfach etwas Magisches.“ An diese Alltagserfahrung von Kindern anknüpfend wird das neue Programm physikalisches und technisches Basiswissen vermitteln – rund um den Mond und eben auch zu den Apollo-Missionen. Über die reine Wissensvermittlung hinaus betrachtet es das DLR als seine gesamtgesellschaftliche Verantwortung, die junge Generation für naturwissenschaftliche Themen und vielleicht auch ebensolche Berufswege zu begeistern. „Denn wer sollte dieses Interesse an Forschung vermitteln, wenn nicht Forschungseinrichtungen selbst wie eben auch das DLR“, sagt Kratzenberg-Annies. Dabei stemmt das DLR die Raumfahrt-Show nicht allein: Wie im Vorjahr sind wieder zahlreiche renommierte Einrichtungen wie Museen und Hochschulen beteiligt, die ihre Räume für die Aufführungen kostenlos zur Verfügung stellen.

Die Raumfahrt-Show 2018 war nur eine von mehreren Bildungsaktionen des DLR rund um die ISS-Mission von Alexander Gerst. Begleitend gab es gedruckte Unterrichtsmaterialien, Lehrer-Workshops in den verschiedenen DLR\_School\_Labs und viele andere Maßnahmen wie den Schulwettbewerb „Beschützer der Erde 2.0“, den die deutsche Raumfahrtagentur im DLR initiiert hatte. Er forderte Schülerinnen und Schüler auf, Jungforscher zu werden und Konzepte zum Umweltschutz zu entwickeln. Insgesamt beteiligten sich rund 100 Schulklassen und Forscher-AGs der Jahrgänge 8, 9 und 10. Die Jugendlichen befassten sich mit verschiedenen Lebensräumen und untersuchten sie mit Hilfe von Raumfahrttechnologien: nämlich mit Erdbeobachtungsdaten, die ihnen zur Verfügung gestellt wurden, oder mit Daten einer App, die auf Basis des ISS-Experiments ICARUS die Bewegungen von Zugvögeln wiedergibt.

### Mit dem Erfahrungsschatz der DLR\_School\_Labs

Auch wenn die DLR\_Raumfahrt\_Show ein neues Format der Wissenschaftskommunikation für junge Zielgruppen ist: Das DLR kann in

der Ansprache von Kindern und Jugendlichen auf eine langjährige Erfahrung zurückgreifen. Seit dem Jahr 2000 betreibt es Schülerlabore, die inzwischen weit mehr als 300.000 Schülerinnen und Schüler betreut haben. Und die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter dieser DLR\_School\_Labs wirken auch ganz entscheidend bei der Show mit – sowohl in der Konzeption als auch auf der Bühne. Zurzeit proben sie noch für die Neuauflage. Doch in ein paar Wochen geht es wieder auf Tour.

Die Moderatoren der Veranstaltungen im Jahr 2018 begeisterten die Schülerinnen und Schüler mit spektakulären Aktionen und Mitmach-Experimenten

Finale der großartigen 2018er-Show: Die jungen Zuschauer ließen selbst gebastelte „Raumgleiter“ durch den Saal fliegen.



# DIE KUNST DES WIDERSPRUCHS

## Das ZKM in Karlsruhe – grenzenlos, menschlich

Von Peter Zarth

Zwei überraschende Aussagen gleich zu Beginn, da wir das Zentrum für Kunst und Medien, auch ZKM genannt, aufsuchen: „Wir verehren die Philosophie“, lautet die eine. Professorin Christiane Riedel, die Geschäftsführerin, lässt sie beiläufig fallen, also selbstverständlich. Die zweite: „Das Museum hat – als neue Gleichung zwischen Versammlung von Menschen und Sammlung von Objekten – die Chance und die Aufgabe, gemeinsam mit den Bürgern das Museum zu einem Ort des Wissens und der Handlungsfähigkeit zu entwickeln, um mit den Instrumenten des Denkens den Zugang zur Wirklichkeit wiederzugewinnen.“ Professor Peter Weibel, künstlerisch-wissenschaftlicher Vorstand, schreibt dies im Manual der Ausstellung „Open Codes – Die Welt als Datenfeld“. Das kann ja heiter werden.

### Wirklichkeit wiedergewinnen?

Es verblüfft uns nämlich, hatten wir doch ein Haus erwartet, in dem künstliche Intelligenz, Digitalisierung, die Welt von Algorithmen, von Quantencomputern der Zukunft und natürlich Kunst thematisiert würden. Nun, dem ist so. Auch so, müssen wir schon bald sagen, unter vielem anderem. Es ist vielleicht wirklich ein „unerreichbarer Horizont“ (ein Paradoxon), dem das ZKM zustrebt. Weitere Worte von Christiane Riedel könnten auf so etwas hindeuten: „Was uns abgrenzt? Dass wir keine Grenzen haben“, sagt sie, präzise, unprätentiös. Mit einer innewohnenden Widersprüchlichkeit ist das ZKM also zugleich unbeschreiblich und grenzenlos, menschlich. Es ist so komplex wie der zweite Satz oben. Professor Weibels Worte sind nun einmal kompliziert und ringen um Klarheit.

Versucht das ZKM tatsächlich, „mit den Instrumenten des Denkens den Zugang zur Wirklichkeit wiederzugewinnen“? Man achte genau auf die Worte: ‚Zugang zur Wirklichkeit‘, ‚wiedergewinnen‘ – ein anspruchsvoller Gang auf dünnem Eis des Denkens. Sicher ist beim ZKM nur (auch so ein Widerspruch): Sein Name ist falsch und trifft dennoch zu. Das ZKM ist nämlich weit mehr, als es seine Bezeichnung besagt. Bis 2016 noch „Zentrum für Kunst und Medientechnologien“ ist es ein Haus voll anregender Widersprüche. Wie anders könnte man sich denn auch der Wirklichkeit nähern, den Zugang zu ihr gar „wiedergewinnen wollen“, wie es Weibel fordert, als dass man ihr (unserer, menschlicher Sichtweise von Wirklichkeit) widerspricht, ihre Widersprüche aufzeigt, und fragt, was Wirklichkeit ist? Kinder tun dies. Kunst tut dies. Wissenschaft versucht es. Die Philosophie sowieso; sie stellt die Fragen auf und gibt sie den anderen vor. Überraschend eine weitere Aussage von Christiane Riedel: „Wir bringen Wissenschaft, Technik, Kunst und Philosophie zusammen.“ Trifft hier die klassische Moderne des Bauhauses auf einen Renaissance-Gedanken, in einem Museum, das keines sein will? Dies klingt nach einem Ansatz, der in die Zukunft führen könnte.

### Selbstverständnis – Weltverständnis

Aber wie funktioniert das? Lassen wir das ZKM selbst sprechen: „Das ZKM wurde 1989 mit der Mission gegründet, die klassischen Künste ins digitale Zeitalter fortzuschreiben. Deshalb wird es gelegentlich auch das „elektronische oder digitale Bauhaus“ genannt – ein Ausdruck, der auf den Gründungsdirektor Heinrich Klotz zurückgeführt wird. Von Beginn an hat es auch die Aufgabe übernommen, die Bedingungen für das Entstehen von Kunstwerken zu schaffen, sei es durch Gastkünstler oder Mitarbeiter des Hauses. Aus diesem Grund heißt es Zentrum und nicht Museum. Es will die Welt besser verstehen und greift daher aktuelle Themen auf, um die Öffentlichkeit auf Fragen, Hintergründe und Probleme aufmerksam zu machen. Vor allem aber will es Wissen teilen. Durch die Verbindung von Forschung und Produktion, Ausstellung und Aufführung, Sammlung und Archiv kann das ZKM die Entwicklung der Kunst des 20. und 21. Jahrhunderts adäquat abbilden, nicht zuletzt weil die Sammlungs-, Ausstellungs- und Forschungstätigkeit des ZKM von Symposien und anderen Plattformen theoretischer Diskurse zwischen Philosophie, Wissenschaft, Kunst, Politik und Wirtschaft begleitet wird.“



Museum? Zentrum? – Das ZKM bist (auch) Du.



Das Licht hält Hof – Raum für Gedanken, Kunst und Experiment



Kunstvoller Zugang – Zugang zur Kunst

In der Innenwelt der Außenwelt der Innenwelt – Augmented Reality der Ausstellung Open Codes



## Schreie und Flüstern

Wie nun also Unbeschreibliches beschreiben? Vielleicht, indem wir mit dem Ur-Widerspruch beginnen, den der klotzige Komplex in der Lorenzstraße mit sich trägt: Er ist eine Munitionsfabrik. Allerdings erinnert nur eine bronzene Tafel an diesen Ursprung. 17.000 Zwangsarbeiter und Zwangsarbeiterinnen, 12.000 davon aus Osteuropa, gab es ihrem Text zufolge in Karlsruhe. Weshalb, so fragt man sich, wird Osteuropa hervorgehoben? 600 „fanden“ den Tod. Keine klaren, eher verdunkelnde Worte, wer sucht schon den Tod. Gerade eine solche Vergangenheit wirkt in die Gegenwart hinein und prägt die Zukunft mit. Wir sprechen mit einer Aufsichtsperson, auch sie „aus dem Osten“. Weshalb aber, so fragen wir uns, möchte sie „keinesfalls“ mit Namen genannt werden? Ihr Blick wandert in die fast bedrohliche Höhe – die Lichthöfe des ZKM sind 32 Meter hoch – zu den umlaufenden Galerien: „Dort standen sie, die Wachen.“ Sie flüstert. Vor unserem inneren Auge tauchen dort nun Schemen von Bewaffneten auf.

Die „Munition“ des ZKM (sie wird einer ursprünglichen Bedeutung des Wortes „Munition“, nämlich ‚Lebensmittel‘, ‚Futter‘, ‚gerecht‘) besitzt glücklicherweise die Durchschlagskraft des Geistes, auf dass ein solches Grauen irgendwann einmal überwunden werden kann. Das Überlebensmittelangebot des ZKM heißt: Philosophie. Kunst. Wissenschaft. Nochmals Christiane Riedel: „Wir sind eine Membran: Vieles diffundiert und verbindet sich dadurch.“

Wirklichkeit heißt eben auch, Widersprüche auszuhalten: So lange es Überlebende der Zwangsarbeit gab, wurden sie von der Stadt Karlsruhe eingeladen und besuchten das ZKM; unter anderem 2015 mit dem „Tribunal – Ein Prozess gegen die Verfehlungen des 20. Jahrhunderts“ setzte das ZKM ein Zeichen gegen die Verdrängung des Themas Zwangsarbeit.

## Anstiftung zum partizipativen Diskurs

Sie nun, der Besucher oder die Besucherin, sollen Entscheidendes (mit)bringen, um die Mission des ZKM (mit) zu verwirklichen. Es will Sie an der „Wiedergewinnung des Zugangs zur Wirklichkeit“ beteiligen. Deshalb sieht man überall Aktivität: ob junge Leute mit Hilfe eines Roboters der Firma Kuka ein künstlerisches Manifest schreiben, ob ein Vortragender die Fließgrafik seiner Präsentation mit dem kühnen Satz: „Ich dreh‘ das hier noch ein Stückchen weiter, sonst wird’s keine Kunst“ fortsetzt, ob sich Gamer im „zkm\_gameplay. the next level“ treffen oder Besucher tuschelnd durch den „Schalldichten Vorhang“ des Experimentalstudios des polnischen Rundfunks gehen; ob man in Choreografien, so von Sasha Waltz, aktiv eingebunden wird oder Klängen des Ensemble Modern nachlauscht, ob das eigens für das Haus geschriebene theatrale Experiment „Gaia Global Circus“ des französischen Philosophen, Anthropologen und Soziologen Bruno Latour aufgeführt wird oder Künstler im Hertz-Labor neue Technologien erproben – immer lautet die Maxime: „Bei Workshops, Ausstellungen, Performances, Veranstaltungen, Konzerten und vielem anderem stiften wir zum intellektuellen Diskurs an, im besten, von uns gewünschten Fall partizipativ. Genau das kann man von uns erwarten.“ Dies sagt Regina Hock, die Pressesprecherin des Hauses. Damit setzt das ZKM den Satz von Weibel vielstimmig und mit bahnbrechenden Ausstellungen um.

Weibel zählt übrigens selbst zu den widersprüchlichen, widersprechenden und angesehenen Künstlern der Jetztzeit. Sein Kunstbegriff und der des ZKM sind weit und zeitend: „Dazu zählt natürlich auch die Musik, die Urmutter aller zeitbasierten Künste“, erläutert Christiane Riedel. „Wir trennen die Künste nicht.“ Das Haus selbst ist mittlerweile so bekannt wie Weibel. Es will – auch hier ein Widerspruch – kein Museum sein, wirbt aber damit, „an Position 4 der bedeutendsten Museen“ der Welt geführt zu werden – hinter dem Museum of Modern Art, New York, der Biennale Venedig und dem Centre Pompidou, Paris – in einem Ranking von ArtFacts.net, der weltweit größten Kunstdatenbank. Dieses Ranking ist anerkannt (und) umstritten. Auch so was dürfte den Machern des ZKM gefallen.



Vergehende Zukunft: Im Labor für antikierte Videosysteme erhält Dr. Dorcas Müller mit ihrem Team das, was vor Kurzem Spitzentechnologie war – samt künstlerischen Inhalten.

## Archäologie der Zukunft

Versuchen wir, dem Genom dieses Zentrums für Kunst und Medien weiter nachzuspüren: Was macht es aus, was einzigartig? Wir kommen zu einem ungewöhnlichen Ort, der in dieser Form really unique ist, zu dem von überall her, bis hin zum Massachusetts Institute of Technology, Wissenschaftler pilgern, um in Karlsruhe technische Hilfe zu erhalten. Wir sind bei Dr. Dorcas Müller und ihrem Team, im „Labor für antikierte Videosysteme“. Das klingt sehr oldschool und hat es in sich: „Wir retten, was vorgestern Zukunft war, und das, was übermorgen Vergangenheit sein wird“, sagt sie. „Elektronische Medien sterben nämlich einen schnellen technischen Tod. Wir machen in unserem Labor Vergangenes wieder auslesbar, sichtbar, erlebbar. Unser Techniker baut sogar Maschinentypen nach, von denen es kein Original mehr gibt, um Material abspielen zu können.“

Das dient nicht zuletzt der Erhaltung von Kunst: Im ZKM werden Werke früher Videokünstler, so vom Pionier der Videokunst, Nam June Paik, erhalten und wiederhergestellt, die ohne diese ‚Archäologie der Gegenwartstechnik‘ verloren gingen. An einem Fossil aus den Sechzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts, einem gräulichen, unhandlichen Monstrum von Bandmaschine mit Bildschirm, einem Sony CV, erläutert Dorcas Müller das Prinzip: „Das Urmodell des Smartphones gewissermaßen, das erste Consumer Video“, schmuntzelt sie. Wir haben es wiederhergestellt, es funktioniert. Wir können darauf alte Bänder abspielen. Auch das Bandmaterial restaurieren wir“, und sie blickt nach vorne: „Für die Zukunft gilt es, das heutige, digitale Erbe zu erhalten.“ Der Rezensent ist sich ziemlich sicher: 2073 wird im ZKM ein Smartphone von 2019 so aus der Zeit gefallen wirken wie heute das Sony CV – aber: Die werden das hinkriegen, dass es funktioniert.

## Spiegelwelten – ㄹᄇᄇᄇᄇᄇᄇᄇᄇ

Manchmal wird es im ZKM tatsächlich heiter, wie oben mehr flapsig gesagt. Selten wird schon beim Eintritt in eine Ausstellung so viel gelacht. Das Exponat „YOU:R.CODE“ eröffnet die Schau „Open Codes“. Der Titel lässt sich auf unterschiedliche Arten deuten: Die Lesart „your code“ verweist darauf, dass die Besucher in der Installation auf verschiedene Weise digitale Transformationen ihrer selbst erleben. Sehen sie im Eingang noch das eigene Spiegelbild – also das unserer Wirklichkeit nahe virtuelle Abbild –, wird das Spiegelbild zunehmend in einen digitalen Datenkörper transformiert, bis die Besucher zuletzt auf einen industriell lesbaren Code reduziert werden. Am Ende befreien sie sich aus der virtuellen Darstellung und werden über ein Flip-Dot-Display materialisiert. Die zweite Lesart, „you are code“, stellt heraus, dass wir selbst aus einem Code bestehen, der sich unter anderem im genetischen Code manifestiert. Er bildet den Algorithmus des Lebens und bestimmt uns von Geburt an mit. Synthetisierte DNA-Stränge dienen in aktuellen Forschungsprojekten der kompakten Langzeitspeicherung digitaler Daten. Auch von den in Clouds operierenden Daten-Analysten und künstlichen Intelligenzen, die uns über Smartphones tägliche Handlungsanweisungen geben, werden wir nur vermittelt in Form von Sensordaten und über unsere elektronischen Äußerungen wahrgenommen – für sie sind wir Codes.



Spiegelwelten – Weltenspiegel: mit YOUR:R.CODE in die Wirklichkeit(en)

Beim Exponat YOU:R.CODE ist übrigens das ZKM, diese Munitionsfabrik des Geistes, selbst der Künstler. Es schafft nämlich auch eigenständig Kunstwerke. Oder sind vielleicht doch Sie es, die „mit den Instrumenten des Denkens den Zugang zur Wirklichkeit wiedergewinnen“?

Sie können selbstverständlich einfach nur durch die Museumssammlung schlendern, aktuell in der Sammlungspräsentation „Writing the History of the Future“: Sammlung und Archive umfassen Werke und Dokumente des 20. und 21. Jahrhunderts. Die Besonderheit der Sammlungstätigkeit des ZKM besteht in der Ausrichtung auf die elektronischen Künste. Der Bestand an Videokunst zählt zu den größten in Europa, die Computerkunstsammlung ist die größte ihrer Art weltweit.

Aus Tradition modern: das ZKM mit dem ZKM-Kubus (vorn), darin der Klangdom



## ZKM – ZENTRUM FÜR KUNST UND MEDIEN

### Öffnungszeiten

Montag, Dienstag:	geschlossen
Mittwoch bis Freitag:	10 bis 18 Uhr
Samstag, Sonntag:	11 bis 18 Uhr

### Preise

Erwachsene	6 Euro
Ermäßigt* & Gruppen ab 10 Personen	4 Euro
Kinder (7 bis 17 Jahre)	2 Euro
Familien	12 Euro

Preise können je nach Ausstellung abweichen.  
Jeden Freitag ab 14 Uhr ist der Eintritt in alle Ausstellungen frei.  
**Die Ausstellung „Open Codes“ ist generell eintrittsfrei.**

\* Ermäßigte Preise für Gruppen ab zehn Personen, Studierende, Menschen mit Behinderung, Bufdis, FSJ-IerInnen und Senioren ab 65 Jahren.

### Anschrift

ZKM Zentrum für Kunst und Medien  
Lorenzstraße 19  
76135 Karlsruhe

### Kontakt

Telefon 0721 8100-0  
info@zkm.de

[zkm.de](http://zkm.de)

# VOR 100 JAHREN: DER KRANICH FLIEGT NACH FAHRPLAN



**A**ls am frühen Morgen des 6. Februar 1919 auf dem Flugfeld von Johannisthal bei Berlin die Mechaniker der ersten deutschen Luftverkehrsgesellschaft vor dem heute noch bestehenden Hangar zwei alte Militärflugzeuge startklar machten, war ihnen die Bedeutung der Stunde wohl kaum bewusst: Das erste Mal sollte zumindest in Deutschland ein Linienflug nach einem zeitlich exakt festgelegten Flugplan erfolgen.

## Die Deutsche Luft-Reederei stand am Beginn der Verkehrsluftfahrt in Deutschland

Von Dr. Bernd-Rüdiger Ahlbrecht

Bereits seit 1910 wurde in Frankreich und ab 1912 in der Karibik nach Plan jeweils eine Fluglinie befliegen. Doch auf den zivilen Luftverkehr in Deutschland hatte das vor allem wegen des Ersten Weltkriegs keine Auswirkungen – es gab ihn einfach nicht. Die Deutsche Reichspost bemühte sich zwar, eine regelmäßig beflogene Flugstrecke für Post und Zeitungen einzurichten; 1918 fanden zwischen Berlin und Köln sowie Hannover erste Versuchspostflüge statt. Die Fracht bestand zu dieser Zeit jedoch nur aus alten Zeitungen. Der Krieg und technische Schwierigkeiten verhinderten ein befriedigendes Ergebnis. Der Anstoß, erneut einen Versuch zu wagen, kam schließlich aus der Politik: Die Verlegung der Nationalversammlung, des ersten demokratisch gewählten deutschen Parlaments, von Berlin nach Weimar machte eine relativ sichere Verbindung zwischen beiden Städten notwendig. Und das war nur auf dem Luftweg zu realisieren.

Am 5. Februar 1919 erfolgte mit einer kommerziellen Ladung von Post und Zeitungen ein erster Versuchsflug zwischen Johannisthal bei Berlin und Weimar (Flugplatz Webicht). Am folgenden Tag startete nach einem vorher veröffentlichten Flugplan um 6 Uhr der erste planmäßige Linienflug in Deutschland. Aufgrund der umfangreichen zu befördernden Fracht (wiederum Post und Zeitungen) musste die Deutsche Luft-Reederei sogar zwei Flugzeuge einsetzen. Geflogen wurden die notdürftig hergerichteten ehemaligen Militärmaschinen durch Weltkriegsbesatzungen, darunter auch der spätere Ozeanflieger Hermann Köhl. Die Strecke wurde zweimal täglich bedient. Nur wenige Tage nach der Aufnahme des Postdienstes folgten die ersten Passagiere, zuerst Abgeordnete der Nationalversammlung, darunter auch Reichspräsident Friedrich Ebert.

Die Deutsche Luft-Reederei war von ihrer Gründung 1917 bis zu ihrer Fusion mit der Lloyd Luftdienst GmbH im Jahr 1923 die erste deutsche Luftverkehrsgesellschaft. Den Politikern und Abgeordneten muss ziemlicher Mut bescheinigt werden: Sie bestiegen nur wenige Tage nach dem Premierflug, eingehüllt

Bild: Archiv der Berliner Flughafengesellschaft



Regierungsflug anno 1919 – Mitglieder der Reichsregierung vor dem Start nach Weimar, 1. Reihe von links: der Preußische Eisenbahnminister Oeser, Reichsminister a. D. Schiffer, Reichsverkehrsminister Bell, dahinter mit Hut Dr. von Rieben, Geschäftsführer der Deutschen Luft-Reederei

in dicke Pelze, die provisorisch hergerichteten alten offenen Militärflugzeuge und saßen zu zweit auf eingelegeten Brettern im Beobachterstand. Dem Vernehmen nach soll Brennstoff nicht nur im Tank an Bord mitgeführt worden sein, sondern auch in Flachmännern. Schließlich war es noch Winter, und ein strenger dazu. Zweimal am Tag wurde die Strecke in jeder Richtung befliegen – und dies pünktlich.

Ab dem 1. März 1919 folgte eine zweite Verbindung, nach Hamburg-Fuhlsbüttel. Am gleichen Tag wurde auf der Strecke von Johannisthal nach Weimar eine Zwischenlandung in Leipzig eingeführt. Im April folgten die Strecken nach Gelsenkirchen über Hannover und nach Warnemünde sowie die Einrichtung des ersten Messe-Sonderflugverkehrs zwischen Weimar und Berlin über Leipzig. Die rasche Zunahme der Linien zwang zur Aufteilung des Verkehrs: „Rumpler Luftverkehr“ beflug die Strecken nach München über Gotha – Augsburg. „Sablattmig“ beflug die Strecke nach Warnemünde und Kopenhagen. Der planmäßige Linienflugdienst wurde europäisch.

Bereits Mitte 1919 war nicht nur ein deutsches Streckennetz installiert, sondern auch eine internationale Anbindung erfolgt. Die Deutsche Luft-Reederei wurde 1919 Gründungsmitglied der ersten IATA in Den Haag und eine der Gesellschaften, aus der 1926 die



Verladung von Post für die Nationalversammlung in Weimar



Hans Albers in einer Maschine der Deutschen Luft-Reederei in Johannisthal

Deutsche Luft Hansa AG hervorging. Und – schon damals zierte der Kranich das Leitwerk – ein bis heute in der Luftfahrt weltweit geschätztes Symbol.

**Dr. Bernd-Rüdiger Ahlbrecht** ist Vorsitzender der Gesellschaft zur Bewahrung von Stätten deutscher Luftfahrtgeschichte, Mitglied des Vorstands beim Royal Air Force Museum Laarbruch Weeze und beim Förderverein des Luftwaffenmuseums der Bundeswehr.

Bild: Archiv GBSL



Werbeplakat der Deutschen Luft-Reederei für Rundflüge

Bild: Archiv GBSL



Hangar und Vorfeld der Deutschen Luft-Reederei in Johannisthal im Jahr 1919

## ... WAS NOCH INTERESSANT IST

Die International Air Transport Association (IATA, englisch für Internationale Luftverkehrs-Vereinigung) wurde als Dachverband der Fluggesellschaften im April 1945 in Havanna auf Kuba gegründet. Sie ist die Nachfolgeorganisation der am 28. August 1919 in Den Haag gegründeten International Air Traffic Association. Ihr Sitz ist in Montreal in Kanada. Der Organisation gehören heute circa 280 Fluggesellschaften an, die rund 94 Prozent aller internationalen Flüge durchführen.

Nach 1923 fusionierten die Deutsche Luft-Reederei und die Lloyd Luftdienst GmbH, die als bedeutendsten Anteilseigner den Lloyd Luftverkehr Sablatmig aufgenommen hatte, zur Deutschen Aero Lloyd AG, aus welcher sich 1926 durch die Fusion mit der Junkers Luftverkehr AG die Deutsche Luft Hansa AG gründete.



## HEUREKA, ICH HAB'S VERSTANDEN

„Nichts im Leben muss man fürchten, man muss es nur verstehen.“ Das Zitat von Marie Curie könnte die Triebkraft für **Wissenschaft & Technik. Die illustrierte Weltgeschichte (Verlag Dorling Kindersley)** gewesen sein. Denn der in doppeltem Wortsinn großartige und gewichtige Bildband ist ein umfangreiches Nachschlagewerk sowohl für Wissenschaft als auch für Weltgeschichte. Chronologisch geordnet spannt das Buch einen Bogen von den Anfängen der Wissenschaft in der Frühzeit über die Renaissance und Aufklärung, die industrielle Revolution und das Atomzeitalter bis ins heutige Informationszeitalter. Dabei begeistert es mit seiner aufwändigen Gestaltung, mit informativen Grafiken und starken Bildern.

Das Buch nimmt den Leser mit auf eine Zeitreise durch die Weltgeschichte und die Errungenschaften in Technik und Wissenschaft, versetzt ihn ins Staunen, gibt den Blick aufs Ganze frei. Und es lässt verstehen. Ob die Erfindung des Holzrades in der Frühzeit, die Erkenntnis Aristoteles', dass die Erde rund ist, die Erforschung des menschlichen Körpers, das Zeitalter der Aufklärung oder der Durchbruch für das Weltbild des Kopernikus im Jahr 1543: Prägnante Ereignisse werden fast liebevoll in Szene gesetzt und nachvollziehbar erläutert. Kompliziertes wird anschaulich dargestellt und Fakten sind so aufbereitet, dass der Bildband sowohl für den wissenschaftlich Interessierten als auch für den neugierigen Laien ein wertvolles Nachschlagewerk ist. Wie funktioniert Schall, der, wie Aristoteles erkannte, sich in Schwingungen ausbreitet, und warum klingt er je nach Standort des Beobachters mal hoch und mal tiefer?

Grafiken lassen verstehen. An anderer Stelle hilft ein Zeitstrahl bei der Orientierung und zeigt rasante Entwicklungen, so in der Geschichte der Luftfahrt, von den ersten Flugversuchen Ende des 19. Jahrhunderts bis hin zum Start des Giganten Airbus 350 im Jahr 2015. Oder es gibt eine Übersicht über die Meilensteine der Geschichte des Atomzeitalters, von der Entdeckung des Atoms, der Radioaktivität bis zum Abwurf der Atombombe. Und schließlich landet der Leser in der Geschichte der Weltraumforschung, erfährt, wie Raketenantriebe funktionieren und wie bedeutsam Satelliten inzwischen für unser Leben sind, und kommt schließlich an im Hier und Heute. Dank modernster Technik und Computer kommunizieren die Menschen nun in Echtzeit, erforschen das dunkle Universum, kämpfen auf molekularer Ebene gegen Krankheiten, untersuchen den Klimawandel und erschließen sich erneuerbare Energiequellen.

„Der Genießer, der Zeit zum Lesen hat, kommt genauso auf seine Kosten wie der Schüler, der schnell ein physikalisches Gesetz oder eine mathematische Formel nachschlagen möchte“, schreibt Professor Dr. Wolfgang M. Heckl, Generaldirektor des Deutschen Museums in München, im Vorwort sehr treffend. Auch der ausführliche Anhang mit Register, Glossar und Kurzbiografien macht unmissverständlich klar: Das Werk will Wissen vermitteln, damit der Leser versteht.

Doris Pfaff



## GERST, WIE WIR IHN KENNEN

Meist erscheinen Biografien, wenn die beschriebene Persönlichkeit schon etwas älter ist. Der **riva-Verlag** hingegen hat auf Aktualität gesetzt – und **Alexander Gerst. Biografie** pünktlich zur zweiten Mission des gerade einmal 42 Jahre alten deutschen Astronauten veröffentlicht. Verwunderlich ist es also nicht, dass das Buch mit 185 Seiten nicht allzu üppig ausfällt. Autor Felix Westermühl hat dafür Fleißarbeit betrieben und sich in Pressemitteilungen von DLR und ESA informiert, Youtube-Videos geschaut, Artikel in Zeitungen und Zeitschriften sowie natürlich auch die Blogbeiträge von Gerst gelesen. Dies macht er auch transparent und gibt ganz ordnungsgemäß bei allen Zitaten in seinem Text die Quellen an. Für eine Biografie des Astronauten ist das allerdings etwas mager: Die meisten der Informationen lassen sich mit wenigen Klicks im Web finden und sind vielen schon bekannt. Die Aussage auf dem Buchrücken, es seien auch Jahre nach Gersts erstem Start noch viele Details aus dem Leben des Astronauten unbekannt, mag stimmen. Doch auch hier: Bis dato Unbekanntes liefert diese Biografie nicht.

Westermühl bleibt dabei, bisher Veröffentlichtes darzustellen und ein wenig zu deuten. Das ist manchmal gut, oftmals weniger gut gelungen. Dennoch: Das Buch ist leicht verständlich geschrieben, kombiniert Kapitel über Alexander Gerst mit solchen über die Anfangszeiten von Raumfahrt und Raumstationen. Es vereint die Informationen über den Astronauten, die man mal hier, mal da schon gehört hat. Wer nur den Astronauten Gerst kennt, kann hier auch (dank Gersts Homepage) von seiner wissenschaftlichen Beschäftigung mit Vulkanen und seinen Forschungsreisen erfahren. Oder er findet in den Quellenangaben gute Tipps, wo man online noch Texte oder Videos aufstöbern kann.

Manuela Braun

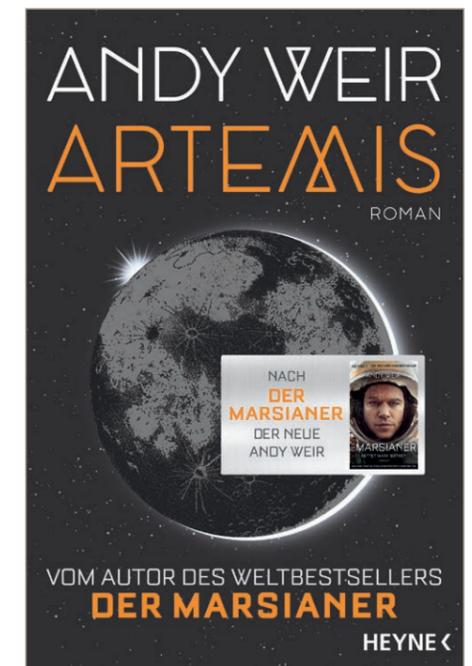


## LEBEN, WO DIE APOLLO-ASTRONAUTEN LANDETEN

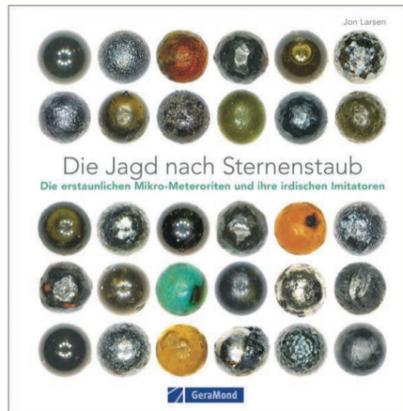
Mit dem „Marsianer“ hatte Andy Weir einen Volltreffer gelandet – dem Bestseller folgte der Kinofilm. Sein Anschluss-Roman **Artemis (Heyne)** reicht nicht ganz an den „Marsianer“ heran, ist aber ähnlich unterhaltsam. Auch dieses Mal schafft Weir es, einen Science-Fiction-Roman zu schreiben, der nah an unserer Gegenwart spielt: Der Mond ist besiedelt, in fünf großen Blasen – benannt nach den Apollo-Astronauten – leben Millionäre, Wissenschaftler, Touristen und Arbeiter. Jazz Bashara, die Protagonistin, hält sich mit kleinen kriminellen Schmutzgeleien und Geschäften über Wasser. Angenehm sperrig, ähnlich wie Mark Watney im „Marsianer“ mit einem lockeren, schnodderigen Mundwerk ausgestattet, handelt sie immer nach ihren eigenen Regeln. Als Jazz den Auftrag erhält, eine Aluminiumfabrik auf dem Mond zu sabotieren, und kurze Zeit später ihr Auftraggeber ermordet wird, beginnt ein Thriller, der geschickt die himmlische Umgebung nutzt. Das alltägliche Leben ist fast irdisch, aber in vielen Details elegant an die Mondbedingungen adaptiert. Ausstiege auf die Mondoberfläche sind die Attraktion für Touristen, die Apollo-Landestelle ist zum Kult geworden und eines der Highlights für jede Besuchergruppe. Waren gelangen in regelmäßigen Transporten von der Erde zum Mond. Verbotene, für eine solche Umgebung gefährliche Güter wie Feuerzeuge oder auch Zigaretten sind Schmuggelware.

Andy Weir ist ein Wissenschaftsfreak, der gerne Fakten recherchiert und diesen in seinen Geschichten eine wichtige Rolle zuweist. Wer „Artemis“ liest, wird Zeuge von Action, Verfolgungsjagden und Verbrechen. Er bekommt aber auch eine Vorstellung davon, wie eine Stadt auf dem Mond funktionieren könnte.

Manuela Braun



## WUNDER IM STAUB



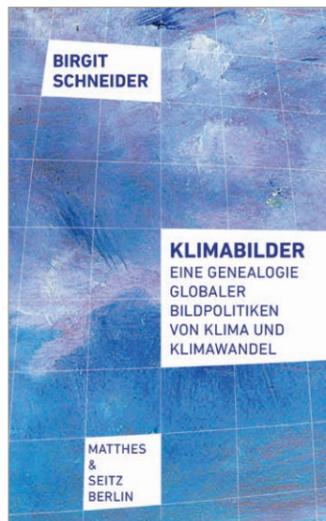
Die Szene ist schon etwas sonderbar: Da parkt jemand sein Auto vor dem Supermarkt, fegt ein klein wenig Staub auf dem Asphalt zusammen, füllt ihn in ein Döschen, um bei Gelegenheit bei einem Bekannten, der in der Forschung arbeitet, unter dem Mikroskop die einzelnen Staubkörnchen zu betrachten ... So einer ist Autor Jon Larsen. Und dann taucht er ein in eine bunte, vielgestaltige Welt, einen Mikrokosmos von Formen und Farben. Wunderschöne Staubkörner! Und manche sind nicht von dieser Welt! Jon Larsen hat sich in seinem 2018 bei **GeraMond** erschienenen Buch **Die Jagd nach Sternenstaub – Die erstaunlichen Mikro-Meteoriten und ihre irdischen Imitatoren** mit dem Mikrokosmos beschäftigt, der sich unseren Augen fast komplett entzieht.

Kosmische Staubpartikel entstehen, wenn Objekte aus dem Weltraum in die Erdatmosphäre eintreten und wegen ihrer hohen Geschwindigkeit dabei so viel Reibungswärme erzeugen, dass sie fast vollständig verdampfen. Ein winziges Überbleibsel erstarrt aus einer Restschmelze und kühlt zu Staubteilchen ab. Diese Leuchterscheinung ist als Meteor oder Sternschnuppe am Himmel nur für wenige Sekunden sichtbar. Der dabei entstandene Staub rieselt langsam zur Erdoberfläche herab und kann dann überall, auch aus einer Regenrinne beispielsweise, eingesammelt werden. Mit wenig Worten und umso mehr wunderschönen Bildern erklärt Larsen, wie dieser kosmische Staub aussieht und wie er sich von irdischem Staub unterscheidet. Auf über 150 Seiten stellt er die unterschiedlichen Typen an Spherulen (geschmolzene Kügelchen) dar. Es ist faszinierend, was auch durch natürliche Prozesse auf der Erde, wie Vulkanismus, Blitzschlag, Brände, Erosion und Ähnliches, oder durch menschengemachte Vorgänge, wie Schmieden, Schweißen, Schleifen, Explosionen oder die industrielle Fertigung von Steinwolle und vielen anderen Produkten, an Staub entsteht.

Die Texte zu den einzelnen Kapiteln sind informativ und dabei kurz und kompakt. Die sehr gut lesbare Übersetzung ins Deutsche stammt von Ulrich Köhler aus dem DLR-Institut für Planetenforschung. Man würde von der Vielzahl der mittels Elektronenmikroskop gemachten Fotos (meist in Farbe) fast erschlagen werden, wenn diese nicht sorgfältig sortiert wären. So aber ist es ein Vergnügen eine Welt zu erkunden, deren winzige, meist nur 0,1 bis 0,3 Millimeter große Hauptdarsteller wie Planeten oder Asteroiden der Makrowelt ausschauen. Larsen hat ein überraschendes Bilderbuch geschaffen, das einem den Weg zum Sternenstaub ebnet. Absolut sehens- und lesenswert.

Dr.-Ing. Christian Gritzner

## WIE BILDER POLITIK MACHEN



Seeing is believing – heißt eine bekannte Redewendung. Und damit ist auch klar, warum es Klimaforscher schwer haben: Wie kann man einen so abstrakten Begriff wie den Klimawandel visuell erfassbar machen? In ihrem Buch **Klimabilder – eine Genealogie globaler Bildpolitiken von Klima und Klimawandel** (Verlag Matthes & Seitz Berlin) sucht die Medienwissenschaftlerin Birgit Schneider Antworten. Sie beschreibt, wie Bilder und Grafiken der Klimaforscher unsere Vorstellung vom Klimawandel geprägt haben: Von den ersten Klimakarten von Alexander von Humboldt über die legendäre Hockeyschläger-Kurve von Michael E. Mann bis zu Grafiken von komplexen Klimamodellen untersucht die Autorin, wie Forscher ihre Daten bisher visuell dargestellt haben. Die dabei entstandenen Bilder sind nicht nur äußerst komplex, sondern auch brisant. Schließlich geht es um die Frage, wie man von der Ästhetik zum Handeln gelangt, oder anders gesagt, wie aus abstrakten Daten ein globales politisches Handeln abgeleitet werden kann. Klimabilder werden daher nicht nur von Wissenschaftlern eingesetzt, auch Politiker, Aktivisten, Lobbyisten und Pädagogen beziehen sich darauf. Die Autorin zeigt zudem auf, dass man aus den Bildern und Daten nicht unbedingt die gleichen Schlüsse ziehen muss: Sie beschreibt, wie diejenigen, die den Klimawandel immer noch als offene Frage darstellen, durch Fehlinterpretationen und Rosinenpickerei ein anderes Bild zeichnen wollen. Ein spannendes und wichtiges, wenn auch durch und durch wissenschaftliches Buch für alle, die sich mit dem Klimawandel beschäftigen und die gesellschaftliche und politische Reaktionen auf die Daten und Statistiken verstehen wollen. Denn die nüchternen Karten und Kurven der Klimawissenschaftler sind eng mit dem kollektiven Bildgedächtnis verwoben.

Dorothee Bürkle

## DEM ZUFALL ZU VERDANKEN



Es sind kleine Errungenschaften, die uns das Leben erleichtern, mitunter sogar versüßen: das Eis am Stiel, der Rollkoffer, der Barcode, die Mikrowelle oder das Post-it. Sie eint das Zufallsprinzip: Wie viele andere Dinge auch wurden sie ganz nebenbei erfunden, manchmal einfach aufgrund einer Gedankenlosigkeit ihrer Erfinder.

Serendipity. 77 zufällige Entdeckungen, die Geschichte schrieben, haben die Autorinnen Miriam Meckel und Daniel Rettig unter Kafkas abgewandeltem Zitat **„Wer nicht sucht, der findet“** (Verlag Kein & Aber) zusammengetragen. Das gebundene Büchlein erzählt kurzweilig – und wie vom englischen Wort „serendipity“ beschrieben – kleine Geschichten von zufälligen Erfindungen, die uns heute wie selbstverständlich begleiten. Im Mittelpunkt des Buches stehen jene Menschen, die plötzlich glorreiche Ideen hatten, und das sind bei Weitem nicht nur Wissenschaftler. So erfahren wir von dem Amerikaner Frank Epperson, der sich an einem Winterabend im Jahr 1905 mit einem Holzstab eine Brause anrührte, sie draußen vergaß und am nächsten Morgen das erste Eis am Stiel vorfand. Oder von Bernhard Sadow, der 1972 den Rollkoffer kreierte: Dem Arbeiter in einer Gepäckabfertigung kam die Idee, dass es doch hilfreich wäre, die Rollbretter, wie sie für schwere Lasten benutzt wurden, auch an Koffer zu montieren. Spannend ist auch die Geschichte des russischen Chemikers Constantin Fahlberg, der eines Tages nach seiner Arbeit im Labor schlichtweg das Händewaschen vor dem Essen vergaß und so einer ungewöhnlichen Süße auf die Spur kam, dem Saccharin.

Ähnlich wie ein Abreißkalender gestaltet, mit ein paar wenigen Illustrationen von Johanna Benz und in der handlichen Abmessung von zehn mal fünfzehn Zentimetern, bietet das Büchlein kurzweilige Unterhaltung für daheim und unterwegs. Es sind interessante Geschichten über kleine und große Alltagshelfer, deren Erfindung wiederum zeigt: Es braucht Kreativität und Mut für Neuerungen – aber manchmal eben auch einfach einen glücklichen Zufall.

Doris Pfaff



## WISSEN ÜBER DEN MILCHIGEN KREIS

„Echte Fragen von echten Schulkindern“ liegen dem von **Kein & Aber** herausgegebenen Buch **Gibt es auf der dunklen Seite vom Mond Aliens?** zugrunde. Ben Moore, Astrophysikprofessor an der Universität Zürich, beantwortet sie in leichter bildhafter Sprache. Die kurzen Texte des Briten werden aufgelockert von heiteren Illustrationen der ebenfalls in Zürich lebenden Niederländerin Katharina Blansjaar.

Nun gut, Bilder eines Astronauten, schwebend an Planeten-Luftballons, oder eines Fieberthermometers im Schwarz des Alls machen nicht schlauer, sind aber sehr schön anzusehen, und sie machen den Lesern (ab 8 Jahre) Freude. Die 120 Seiten im Schulheft-Format brauchen auch kein Inhaltsverzeichnis, hier ist Stöbern angesagt. Und Staunen. Am Ende lässt sich prima prahlen, wenn man weiß, dass die Milchstraße nichts mit Milch zu tun hat, weil der Begriff nämlich vom griechischen „galaktikos kyklos“ kommt, was „der milchige Kreis“ bedeutet.

Cordula Tegen

## LINKTIPPS

### DIE PHYSIK HINTER DEN DINGEN

[weltderphysik.de/](http://weltderphysik.de/)

Wie kann ein Flugzeug ohne Rotor fliegen? Was lässt den Regenschirm urplötzlich umstülpen? Können Insekten nachgebaut werden und wieso gibt es Dünen auf Planeten? Die „Welt der Physik“ widmet sich auf ihrem Webauftritt den Themen Teilchen, Materie, Leben, Technik, Erde und Universum. In regelmäßig erscheinenden Beiträgen erläutern Autoren physikalische Phänomene und stellen neue Ergebnisse aus Wissenschaft und Forschung vor. Zusammen mit Animationen und kurzen Videos gibt es hier einleuchtende Erklärungen für abstrakte physikalische Vorgänge.

### DIE ERDE 2.0?

[t1p.de/0xg1](http://t1p.de/0xg1)

Folgendes Szenario: Unser Planet ist zerstört. Ist die Flucht ins All eine Option? Gibt es eine zweite Erde, die Leben ermöglicht? Die FAZ wirft in einem Dossier mit vielen Animationen und sehr informativen Grafiken einen weitreichenden Blick in die Zukunft und nimmt den Leser mit auf eine spannende Reise ins All.

### SPAZIEREN IM FUSIONSREAKTOR

[sonnenmaschine-vr.de](http://sonnenmaschine-vr.de)

[sternenmaschine-vr.de](http://sternenmaschine-vr.de)

Es hat den Anschein, als stünde man selbst im Plasmagefäß und schaue sich um: In einem digitalen Rundgang mit oder ohne Virtual-Reality-Brille kann man eintauchen in die Fusionsanlagen ASDEX Upgrade und Wendelstein 7-X im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP). Auch die Experimenthalle und die Mikrowellenheizung sind digital begehbar.

### PLASTIKSPAREN LEICHT GEMACHT

[zerowastelifestyle.de/](http://zerowastelifestyle.de/)

Wie lässt sich Plastik im Alltag vermeiden? Gute Tipps bietet die Kölnerin Olga Witt auf ihrer Seite „Zero Waste Lifestyle“. Charmant und praxisnah zeigt die Mutter in Wort- und Videobeiträgen, wie sie in ihrer Küche mit wenigen Handgriffen und Zutaten eigenes Waschmittel, Flüssigseife und Haushaltsreiniger herstellt, sie in leergewordene Plastikflaschen füllt und so den Kauf neuer Plastikverpackungen spart. Alle Fragen und Hinweise beantwortet die Bloggerin unaufgeregt und überzeugt mit ihrer wohlthuenden Sachlichkeit.

### EIN EIGENES RAUMFAHRTZENTRUM

[youtu.be/wGHICSMGO04](http://youtu.be/wGHICSMGO04)

Wer davon träumt, selbst Raketen zu konstruieren und zu fliegen, bemannte Raumstationen zu betreiben oder Missionen zu fremden Planeten zu starten, kann das im Computerspiel Kerbal Space Program. Die Art der Animation erinnert an Spielzeug für große Kinder – sie ist aber hochkomplex und lässt Raumschiffe auch mal gnadenlos in der Atmosphäre verglühen. (kostenpflichtig)

### NA, WO FLIEGEN SIE DENN?

[blogs.nabu.de/zugvoegel/](http://blogs.nabu.de/zugvoegel/)

[blogs.nabu.de/stoerche-auf-reisen/](http://blogs.nabu.de/stoerche-auf-reisen/)

Wenn Zugvögel heutzutage auf Reisen gehen, bleibt es nicht mehr ihr Geheimnis, welche Route sie nehmen, in welchem Land sie rasten und wie lange sie sich an welcher Trinkstelle aufhalten. Per Satellit gesteuerte GPS-Sender verraten Vogelfreunden des Naturschutzbundes (NABU) Deutschland, wo beispielsweise die Störche Robert, Diana und Anni sind. Blogs zeigen auf Karten die Flugreise und erläutern sie in Beiträgen.

## 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 8.200 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, Anja Kaboth, Florian Kammermeier, Denise Nüsse, Doris Pfaff sowie Peter Zarth

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](http://DLR.de/dlr-magazin)

Onlinebestellung:  
[DLR.de/magazin-abo](http://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

Der schnellste ausschließlich für die Luftfahrtforschung genutzte Rechner Europas steht im DLR Göttingen. Der Computer ist das Kernstück des Simulationszentrums C<sup>2</sup>A<sup>2</sup>S<sup>2</sup>E (Center for Computer Applications in Aerospace Science and Engineering).

Bild: DLR/Thomas Ernsting