

# DLR / magazin

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt · Nr. 152 · November 2016

## KLARE KONTUREN FÜR ROBOTER DAVID & CO

REPORTAGE: Ins Netz gegangen – Landen ohne Fahrwerk

GESPRÄCH: Die Zukunft der Solarforschung hat gerade erst begonnen

SERIE GROSSGERÄTE: Für das perfekte Fahrgefühl







Bild: DLR/Gesine Born

### Liebe Leserinnen und Leser,

in den letzten Wochen des Jahres stellt sich stets eine ganz spezielle Stimmung ein. Eigentlich wollen wir schon erwartungsfroh den Festtagen zum Jahreswechsel entgegensehen und uns über das Geschaffte freuen. Doch in unserem Alltag ringt hierzulande der Lichte Glanz mit der Trübnis des Novembers, vor die gemütliche Teestunde drängen sich tausend Erledigungen, die ersehnte Schlittenfahrt gibt es oft nur zum Preis von Stunden im Stau, bei manch einem reicht das Geld noch nicht einmal für eine Lichterkette. Und heben wir den Blick übers Private hinaus, so werfen Umweltschäden, Hunger sowie ökonomische und politische Krisen lange Schatten auf unsere an sich so wundervolle Welt. Oft vergessen wir Deutschen dabei, dass wir in einer Komfortzone leben.

Daraus erwächst eine Verpflichtung. Wir haben die Mittel, für Veränderung zu sorgen. Neben Willen und Kraft ist dafür Wissen ganz entscheidend. Forschung und Entwicklung kann uns zu Lösungen führen. Umweltmonitoring made by DLR sichert bäuerliche Existenzen in Vietnam und China, Fliegen ohne Fahrwerk ebnet auf diese Weise leichter werdenden Solarflugzeugen den Weg an den Himmel. Ein innovatives Konzept, Gefahrstoffe aus der Ferne aufzuspüren, kann uns bei Industrieunfällen oder Naturkatastrophen helfen, die Sicherheit wiederherzustellen. Solarforscher zeigen Möglichkeiten auf, uns und die nachfolgende Generation ausreichend und umweltschonend mit Energie zu versorgen. Die Forschung für die Mobilität der Zukunft zeigt Wege zu sicherem und effizientem Fahren.

Mittel und Wege, aus problematischen Situationen herauszukommen, gibt es. Sie zu nutzen und die zuweilen unbequemen Pfade einzuschlagen, ist schon schwieriger. Doch wir werden nicht umhinkommen, diese Anstrengung auf uns zu nehmen. Im Großen wie im Kleinen.

In diesem Sinne: Geben wir den guten Stunden Raum, genießen wir, was wir haben, und sammeln wir so Kraft, all dem zu begegnen, was wir in Ordnung bringen müssen. Frohe Weihnachten und ein gutes Jahr 2017 wünsche ich Ihnen!

Sabine Hoffmann  
Leiterin DLR-Kommunikation

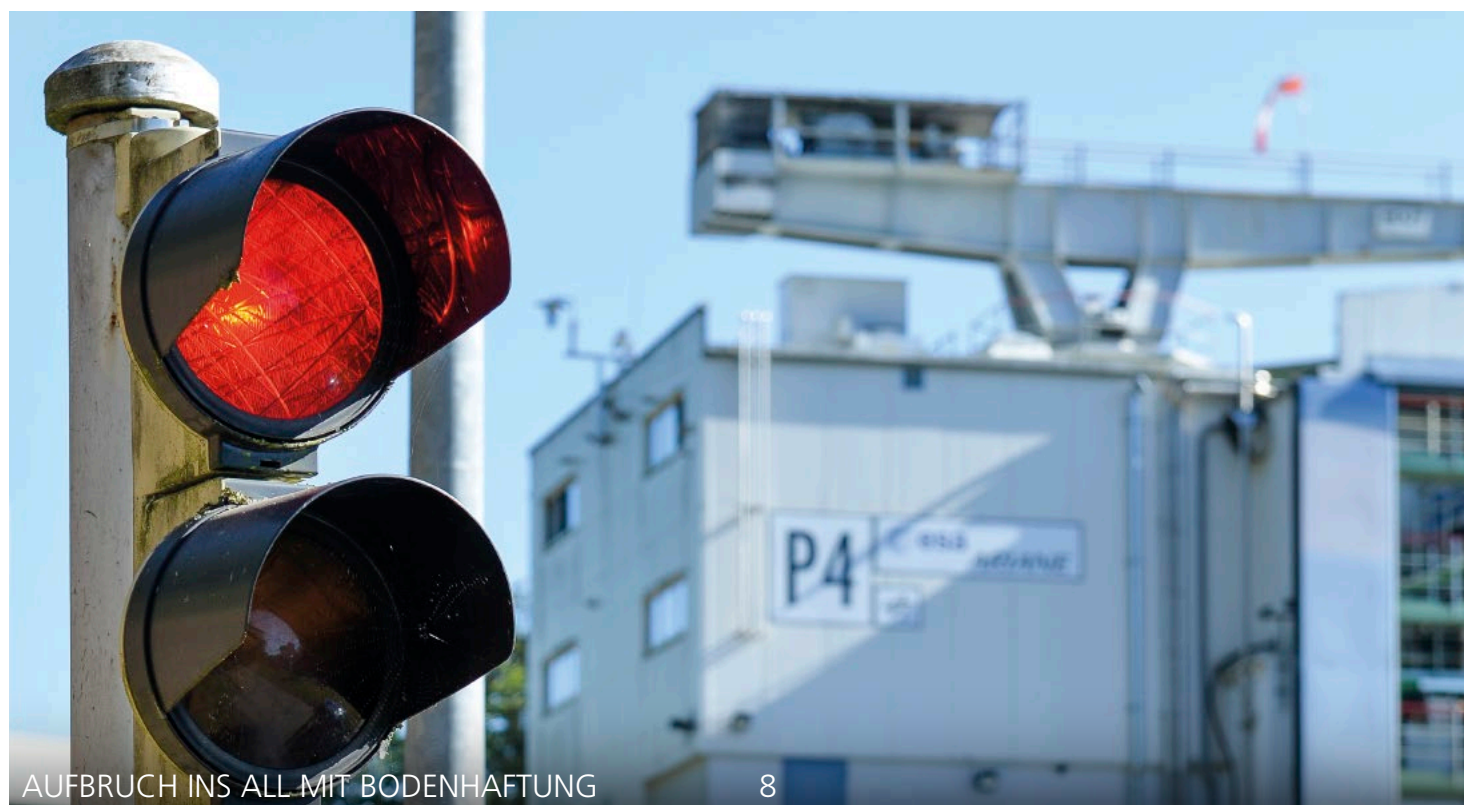


Bild: privat

AUFBRUCH INS ALL MIT BODENHAFTUNG 8



INS NETZ GEGANGEN 14



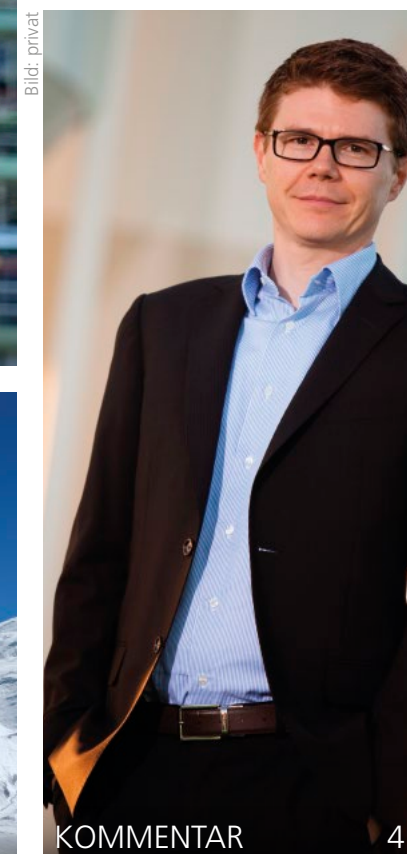
BERGRIESEN HAUTNAH 30



ELEKTROMOBILITÄT IN DER LUFT 22



EFFEKT ZWISCHEN HEISS UND KALT 40



KOMMENTAR 4

# DLRmagazin 152

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>KOMMENTAR</b>                                                                   | 4  |
| <b>MELDUNGEN</b>                                                                   | 5  |
| <b>KURZMELDUNGEN</b>                                                               | 6  |
| <b>AUFBRUCH INS ALL MIT BODENHAFTUNG</b><br>Reportage von einem Triebwerktest      | 8  |
| <b>INS NETZ GEGANGEN</b><br>Landen ohne Fahrwerk macht Solarflugzeuge leichter     | 14 |
| <b>IM EWIGEN EIS AUF DAUEREMPFAANG</b><br>25 Jahre Antarktisstation GARS O'Higgins | 18 |
| <b>ENERGIE DER ZUKUNFT</b><br>Gespräch über Solarforschung im DLR                  | 20 |
| <b>ELEKTROMOBILITÄT IN DER LUFT</b><br>Der Erstflug des Solarflugzeugs HY4         | 22 |
| <b>SPÜRHUND MIT LASERNASE</b><br>Neues Konzept zur Gefahrstoffdetektion            | 26 |
| <b>BERGRIESEN HAUTNAH</b><br>„m4“ zeigt Berge auf völlig neue Art                  | 30 |
| <b>WAS NICHT SPRICHT, BRAUCHT KEINEN MUND</b><br>Tilo Wüsthoffs Job ist das Design | 36 |
| <b>EFFEKT ZWISCHEN HEISS UND KALT</b><br>Thermoelektrik in der Raumfahrt           | 40 |
| <b>WISSENSTRANSFER MIT ASIEN-FLAIR</b><br>Umwelt-Informationssysteme made by DLR   | 42 |
| <b>STILLSTAND EINES TRENDS</b><br>Mobilitätstrends bei jungen Erwachsenen          | 46 |
| <b>FÜR DAS PERFEKTE FAHRGEFÜHL</b><br>Teil 2 der Serie „Großgeräte“: Das VR-Lab    | 48 |
| <b>IN MUSEEN GESEHEN</b><br>Hubschrauberausstellung in Bückeburg                   | 52 |
| <b>REZENSIONEN</b>                                                                 | 56 |



## INNOVATIONEN FÜR EINE WELT OHNE HUNGER

Ein Kommentar von Robert Opp

Vor weniger als fünfzehn Jahren besaß nur jeder siebte Mensch ein Mobiltelefon, kaum jemand hatte einen Laptop. Seitdem haben technische Neuerungen unsere Welt dramatisch verändert: In Ruanda werden Drohnen genutzt, um Blutplasma in abgelegene Dörfer zu transportieren; Wissenschaftler der Stanford University untersuchen, wie Satellitenbilder entscheidende Daten über Armut liefern können.

Trotz dieser technischen Fortschritte bestehen die drängendsten globalen Probleme weiter. Konflikte und Folgen des sich wandelnden Klimas bedrohen vielerorts die Lebensgrundlage. Weiterhin hungern weltweit mehr als 795 Millionen Menschen.

Dennoch: Die Lage verbessert sich stetig. Den Hunger zu besiegen ist kein bloßer Wunschtraum mehr. In 72 Ländern konnte die Zahl der Hungernden bereits halbiert werden. Die Zahl der Menschen, die nun Zugang zu ausreichend Nahrungsmitteln haben, geht in die Milliarden. Das Problem ist jedoch, dass sich die Lage nicht schnell genug verbessert. Wenn wir die nächsten fünfzehn Jahre in dem bisherigen Tempo vorankämen, würden im Jahr 2030 noch immer 550 Millionen Menschen weltweit hungern. Um Hunger und Armut zu besiegen, müssen wir schneller handeln und auf das immense Potenzial von Innovationen bauen.

Für das World Food Programme (WFP) sind Innovationen ein entscheidender Eckpfeiler in der Ernährungshilfe für die über achtzig Millionen Menschen weltweit, die wir jedes Jahr unterstützen. In der Vergangenheit wurden von WFP Nahrungsmittel mit Flugzeugen oder Lastwagen in Krisengebiete transportiert. Heute werden elektronische Kreditkarten genutzt, sodass die Betroffenen genau die Nahrungsmittel kaufen können, die sie benötigen – und zu dem Zeitpunkt, zu dem sie diese brauchen. Erstmals können syrische Flüchtlinge in Jordanien sich sogar über einen Scan ihrer Netzhaut rasch ausweisen und so ihre Hilfsgüter beziehen.

Dies ist nur eine von etlichen Innovationen, die das World Food Programme angestoßen hat, um die Hilfe für die Ärmsten zu modernisieren. Wir treiben dies sogar noch weiter, zum Beispiel indem wir große Mengen von Daten zu Nahrungsmittelpreisen analysieren, um die Hilfe entsprechend anzupassen.

Um den richtigen Nährboden für neue Ideen und innovative Ansätze zu schaffen, hat WFP zuletzt einen sogenannten Innovation Accelerator in München eröffnet. Dort bringen wir WFP-Experten mit Unternehmen und Einrichtungen zusammen, um die Verbreitung der besten Ideen zu beschleunigen. Der Accelerator orientiert sich an „best practices“ aus der Privatwirtschaft und nutzt das Know-how aus der Wissenschaft. So unterstützt er Innovationen entlang der gesamten Kette von der Idee bis zur Implementierung: Wir rufen Unternehmer auf, neue Ideen zur Hungerbekämpfung zu entwickeln. Wir testen Prototypen und fördern neue Denkanstöße.

Die Innovationen reichen von einer „Green Box“, mit der WFP-Kollegen in abgelegenen Gebieten den Energieverbrauch messen, eigenhändig anpassen und klimafreundlicher gestalten können, bis hin zur Hydrokultur als einer neuen Form des Anbaus, sodass arme Familien beispielsweise in Lima, der Hauptstadt Perus, auf kleinem Raum und mit so wenig Wasser wie möglich Nahrungsmittel anbauen und für ihr Einkommen sorgen können.

Wir sind davon überzeugt, dass wir in einer außerordentlichen Zeit leben und eine echte Chance haben, Hunger und Armut ein für alle Mal zu beenden. Wenn wir Hand in Hand mit Partnern wie dem DLR arbeiten, unser Fachwissen teilen, voneinander lernen und auf neue Technologien bauen, können wir dies gemeinsam erreichen.



Robert Opp ist Direktor der Abteilung für Innovationen und Change Management des UN World Food Programme (WFP)

Bild: privat

## AUF WOLKENJAGD, UM WETTER UND KLIMA ZU VERSTEHEN

Atmosphärenforschung hilft dabei, Wetter- und Klimamodelle zu verfeinern. Deshalb sind die Wissenschaftler des DLR rund um den Globus mit ihren Forschungsflugzeugen unterwegs und vermessen Luftschichten. Denn auch wenn die Wolken und Windströme tausende Kilometer entfernt sind, beeinflussen sie das europäische Klima.

Das Wettergeschehen in Europa hängt stark von Wettersystemen über dem Atlantik ab. Dort lenken schnell aufsteigende Warmluft-Strömungen große Windströme um, die dann ihre Wirkung tausende Kilometer weiter auf dem Kontinent entfalten. Mit den Forschungsflugzeugen HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) und Falcon flogen Forscher vom DLR und der Ludwig-Maximilians-Universität München von Island aus in diese Wettersysteme hinein. Sie drangen damit in Regionen vor, aus denen kaum Beobachtungen existieren. Während der Flüge sammelten sie mit Messsonden Informationen über Temperatur- und Windverhältnisse sowie Wolkeneigenschaften. Das soll helfen, das Wettergeschehen über dem Atlantik besser zu verstehen. Die Messwerte wurden per Live-Datentransfer zu den weltweiten Wetterdiensten übermittelt.



Das Atmosphärenforschungsflugzeug HALO auf dem Flughafen von Barbados

Inwieweit tropische Wolken in der Passatregion die globale Erwärmung beeinflussen können, untersuchten Wissenschaftler mit HALO auch südöstlich der Karibikinsel Barbados. So sollen die Zusammenhänge von Wolken, Luftzirkulation und Klima über dem tropischen Ozean aufgeklärt werden. Die Wolken, die in der Karibikregion entstehen, bedecken einen großen Teil der Erde und bestimmen dadurch auch maßgeblich, wie stark eine geänderte Wolkenbildung die Klimaerwärmung verringern kann. Die Atmosphärenforscher überprüfen dazu am Boden und in der Atmosphäre, welche Mechanismen auf die Zirkulation von Luft wirken sowie zu welcher Bewölkung diese Prozesse führen.

## GEFAHREN AUF SEE GEMEINSAM BEGEGNEN

Entführte Schiffe, Gefahrenstoffe auf der Meeresoberfläche, eine Fähre auf Abwegen und Personen über Bord. – Für solche bedrohlichen Situationen erarbeiteten Wissenschaftler des DLR und der Universität Rostock Szenarien. Im Verbundprojekt EMSec (Echtzeitdienste für die Maritime Sicherheit – Security) kombinierten die Wissenschaftler mehrere Datenquellen wie Satellitenaufnahmen, Luftbilder von Flugzeugen sowie Schiffsmeldungen. Denn wichtig bei solchen Krisenszenarien ist, sich einen schnellen und umfassenden Überblick über die Gefahrenlage zu verschaffen. In einer großen Versuchskampagne zum Projektabschluss von EMSec demonstrierten sie im September 2016 die Forschungsergebnisse der letzten drei Jahre.

Mit den kombinierten Informationen von Satelliten- und Flugzeugaufnahmen sowie Schiffssignalen waren die Forscher in der Lage, ein simuliertes Fährschiff aufzufinden und die Situation zu identifizieren. Die „Bayreuth“ hatte für ein Ausweichmanöver den Kurs verlassen und im folgenden Szenario ihr Automatisches Identifikationssignal (AIS) zur Vortäuschung einer Entführung ausgeschaltet. Außerdem spürten die Wissenschaftler mehrere Bojen, die zuvor als „Personen in Seenot“ über Bord geworfen wurden, auf und analysierten im letzten Szenario das Driftverhalten eines „Gefahrstoffteppichs“ – fünfzig Kubikmeter ungezuckertes Popcorn.

EMSec zeigte erstmals ein geschlossenes System von der Informationsgewinnung bis zur Lagebewältigung. Im Lagezentrum, das für die Kampagne in Cuxhaven aufgebaut wurde, liefen alle Informationen zusammen. An vier Tagen erprobte das DLR die vier Szenarien unter realen Bedingungen zusammen mit ATLAS Elektronik, Airbus und der Universität Rostock, aber auch mit der Bundespolizei See, der Deutschen Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger (DGzRS) und der Wasser-schutzpolizei.



Für den schnellen Überblick auf die Gefahrenlage erprobte das DLR vier Szenarien



Eines der Szenarien wurde zur Situation „Mann über Bord!“ durchgespielt





## LEISE GELANDET

Um Piloten von Passagierflugzeugen bei leisen Landeanflügen zu unterstützen, entwickelten die Wissenschaftler des DLR das Pilotenassistenzsystem LNAS (Low Noise Augmentation System). Ein lärmarmen Anflug ist eine äußerst komplexe Aufgabe, bei der das Flugzeug auf einem möglichst gleichbleibend niedrigen Schubniveau geflogen werden muss. LNAS zeigt den Piloten auf einem Display das ideale vertikale Anflugprofil. Dabei werden die optimalen Zeitpunkte markiert, zu denen der Pilot zum Beispiel die Landeklappen setzen oder das Fahrwerk ausfahren soll. Bei Testflügen mit dem Forschungsflugzeug Airbus A320 ATRA erprobte das DLR gemeinsam mit dem Umwelt- und Nachbarschaftshaus Kelsterbach, einer Gemeinde am südwestlichen Stadtrand Frankfurts, das LNAS-System im Hochbetrieb des Frankfurter Flughafens.

## DER BAHNÜBERGANG WARNT VOR

Ein weiterentwickeltes Assistenzsystem soll die Sicherheit an Bahnübergängen erhöhen. Dazu kommuniziert das Auto mit der Bahninfrastruktur. Sobald sich ein Zug nähert, bekommen Fahrzeugführer die Warnmeldung, dass der Übergang bald geschlossen wird. Gleichzeitig erhält auch der Zugführer die Information, dass die Autofahrer informiert sind und der Bahnübergang gesichert ist. Auf diese Weise kann das sogenannte Rail2X-System für höhere Aufmerksamkeit an kritischen Stellen sorgen. Erste Feldtests waren erfolgreich. Die Rail2X-Technologie bietet noch weitere Möglichkeiten: Mit einem Knopf am Bahnsteig oder mit dem Smartphone könnten Passagiere zukünftig dem Zugführer ihren Haltewunsch im Vorfeld mitteilen. Wenn der Zug keine Meldung erhält, kann er den Bahnsteig passieren, ohne anzuhalten.



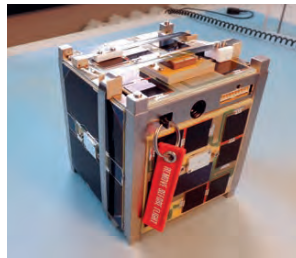
## DER HÖHENKRANKHEIT AUF DER SPUR

In 4.554 Meter Höhe erforschten Wissenschaftler des DLR die Auswirkungen der Höhenkrankheit. Dazu stiegen zehn Probanden für sechs Tage auf die italienische Schutzhütte Regina Margherita, Europas höchstgelegenes Gebäude. Die Ergebnisse der medizinischen Studie sind auch für bemannte Marsmissionen von Interesse, da Astronauten auf dem Mars höchstwahrscheinlich in einer ähnlichen Druckatmosphäre leben und arbeiten müssten wie die Probanden in den Alpen. Es ist derzeit noch nicht möglich, vorherzusagen, bei welchen Personen die Höhenkrankheit auftritt und welche Prozesse sich genau abspielen. Die Wissenschaftler untersuchten in der alpinen Studie, ob der Sauerstoffmangel in der Höhe die Gefäßbarriere beim Menschen schädigt und dadurch Flüssigkeiten und Eiweiße ins Bindegewebe einwandern.



## KLEINE BIENEN IM ALL

Der Feuerdetektionssatellit BIROS (Bi-Spektral Infrared Optical System) hat den Picosatelliten BEESAT-4 im Weltall ausgesetzt. Der würfelförmige Kleinstsatellit hat eine Kantenlänge von zehn Zentimetern. Er wurde von Mitarbeitern und Studierenden der Technischen Universität Berlin entwickelt und gebaut. Mit einem eingebauten GPS-Empfänger sammelt BEESAT-4 Daten zur Positions- und Orbitbestimmung. Daneben fotografiert er mit einer speziellen Kamera die Erdoberfläche. Die genaue Kenntnis der Position des Picosatelliten ist die Grundlage für Experimente zum Formationsflug von Satelliten. Formationsflüge hätten den Vorteil, dass Aufgaben und Funktionen auf mehrere Satelliten aufgeteilt werden können.



## NEUES WETTER-SATELLITENINSTRUMENT

Mit METImage lässt Deutschland zum ersten Mal ein Instrument für einen europäischen Wettersatelliten direkt entwickeln. Das multispektrale, abbildende Radiometer soll 2021 auf dem Wettersatelliten MetOp zum Einsatz kommen. MetOp ist Teil des europäischen Wettersatellitensystems EUMETSAT Polar System, Second Generation. An Bord von MetOp wird METImage in ungefähr 830 Kilometer Höhe Daten zur Wetter- und Klimavorhersage sammeln. Das Radiometer erfasst Informationen zu Wolkenbedeckung, zu Meeres- und Landoberflächentemperaturen und es ermittelt, wie sich Wasserdampf in der Erdatmosphäre verteilt. Das Instrument registriert das Sonnenlicht, das von Erdoberfläche, Atmosphäre und Wolken reflektiert wird, in 20 Spektralkanälen, vom sichtbaren Bereich bis in den Infrarotbereich.

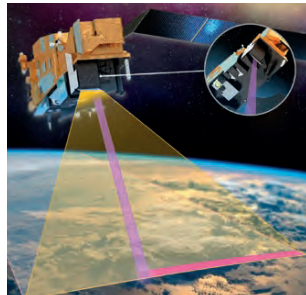


Bild: Airbus Defence and Space

## ROBOTER AUF DEM ÄTNA

Bei einer zukünftigen Explorationsmission im Sonnensystem müssen die eingesetzten Technologien extremen Oberflächen und Bedingungen trotzen. In der Mission ROBEX (Robotische Exploration unter Extrembedingungen) wird das Zusammenspiel von verschiedenen robotischen Systemen demonstriert. Die neuen Technologien sollen helfen, schwer erreichbare Gebiete mit extremen Umweltbedingungen wie Tiefsee, Polarregionen oder Himmelskörper besser zu erforschen. Um sich auf die abschließende Demo-Mission von ROBEX im Jahr 2017 vorzubereiten, testeten 21 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler rollende und fliegende Roboter auf dem unwegsamen Gelände des italienischen Vulkans Ätna. Die fliegenden Roboter vermaßen das Areal, die fahrenden setzten Instrumenten-Boxen autonom auf dem Lavaboden ab.



## PFLANZENEINFLUSS AUF DAS KLIMA

Pflanzen können die globale Erwärmung verlangsamen, indem sie über eine steigende Fotosyntheserate mehr Kohlenstoff aufnehmen. Wie genau, das zeigt eine Studie von Wissenschaftlern des DLR und der Universität von Exeter in Großbritannien, die im Journal „Nature“ veröffentlicht wurde. Langjährige Messungen in Alaska und auf Hawaii zeigten, dass die Effektivität der Pflanzen, Kohlenstoff aufzunehmen, um ein Drittel zunimmt, wenn sich der Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre verdoppelt. Dies bedeutet, dass CO<sub>2</sub>-Emissionen noch stärker reduziert werden müssen, da wir erwarten können, dass die terrestrische Kohlenstoffs Senke mit Beginn der angestrebten Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre abnimmt. Insgesamt nehmen Pflanzen und Erdbreich rund ein Viertel der vom Menschen verursachten Kohlendioxid-Emissionen auf.



## MEISTERHAFTER DOSENFLUG

Beim dritten deutschen CanSat-Wettbewerb wurden Ende September 2016 die Gewinner gekürt. Das Team „Recognize“ vom Alexander-von-Humboldt-Gymnasium Bremen setzte sich gegen neun Mitbewerber durch. Die Schüler entwickelten und bauten Minisatelliten im Getränkedosenformat, die mit einer Rakete in 600 Meter Höhe gebracht und dort ausgeworfen wurden. Der CanSat des Teams Recognize ermittelte während des Fluges zur Erde, wie die anderen Minisatelliten auch, Temperatur und Luftdruck und sendete die Werte zur Bodenstation. Zusätzlich fotografierte er noch den Erdboden mit einer Infrarotkamera, um mit Methoden der Bilderkennung Vergleiche zum Kartenmaterial zu ziehen. Das Siegerteam wird sich 2017 beim Wettbewerb der Europäischen Weltraumorganisation ESA mit internationalen Teams messen.



## TECHNOLOGIETESTS MIT BALLONEN

Die Forschungsballone BEXUS 22 und 23 brachten Anfang Oktober 2016 vom schwedischen Raumfahrtzentrum Esrange bei Kiruna Technologie-Experimente in die Stratosphäre. An Bord der beiden Ballongondeln befanden sich acht Experimente von Studententeams aus Polen, Tschechien, Belgien, Italien, Spanien und Portugal sowie zwei aus Deutschland (TU Dresden und TU München). Die Tests der gemeinsamen Missionen des DLR und der schwedischen Raumfahrtbehörde SNSB stammen aus den Bereichen Astrophysik, Satellitenkommunikation und -navigation sowie Solarzellenentwicklung, Höhen- und Strahlungsmessung. Mit dem BEXUS-Programm (Ballon-Experimente für Universitätsstudenten) können Studierende praktische Erfahrungen mit Raumfahrtprojekten sammeln.

## REGIONALMELDUNGEN

STUTTGART: Damit Autofahrer ihre Elektroautos auch ohne Stecker an Stromtankstellen aufladen können, forschen DLR-Wissenschaftler an einer kabellosen Lademöglichkeit. Beim induktiven Laden parkt das Auto auf einer Ladespule. Dann wird mittels eines magnetischen Wechselfelds Strom zwischen einer Spule an der Unterseite des Autos und der Spule im Boden übertragen, ganz ohne Stecker und Kabel-Stolperfallen.

BRAUNSCHWEIG: Vom Hörsaal in die Lüfte hieß es für 32 Studierende aus verschiedenen Universitäten. Im Rahmen der DLR\_Uni\_Summer\_School nahmen sie an Bord der Cessna C208B Grand Caravan, des „Fliegenden Hörsaals“, selbst an Messflügen teil. Vor den Flügen lernten sie, die Messflüge und die sich anschließenden Flugversuche auszuwerten.

BERLIN: In einem Flottenversuch testet das DLR zusammen mit der Taxi Berlin TZB GmbH ein neues System zur mobilen Verkehrserfassung. Die Taxis werden mit Sensoren ausgestattet. Diese empfangen Bluetooth-Signale von mobilen Endgeräten der umgebenden Verkehrsteilnehmer, wie beispielsweise von deren Smartphones. Diese Positionsdaten geben zusammen mit denen der fahrenden Taxis Aufschluss darüber, welche Straßen aktuell wie stark belastet sind.

LAMPOLDSHAUSEN: Von Treibstoffen und ihrer Verbrennung bis hin zur nächsten Generation von Oberstufentriebwerken handelten Workshops und Vorträge der diesjährigen DLR\_Summer\_School in Lampoldshausen. Zehn Tage lang konnten 20 Studentinnen und Studenten Praxiserfahrung rund um Technologien und Themen der chemischen Raumfahrtantriebe sammeln.

JÜLICH: Zur kohlendioxidfreien Herstellung von Wasserstoff wurde ein europäisches Projekt abgeschlossen. Es endete mit dem erfolgreichen Test einer Anlage am Solarturm Jülich des DLR-Instituts für Solarforschung. Mit ihr wird Schwefelsäure gespalten, ein Schlüsselprozess bei der thermochemischen Wasserstofferzeugung mit Solarenergie.

OBERPFAFFENHOFEN: Zum Oktoberfest testeten DLR-Forscher ein weiterentwickeltes Verfahren zur Lageerfassung aus der Luft. Dazu nahm das DLR-Forschungsflugzeug Dornier DO 228-212 mit drei Kameras hochaufgelöste Bilder auf, die umgehend per Laserlicht zum Boden übertragen wurden. Die im Projekt Vabene++ gemachten Luftaufnahmen dienen dazu, Veranstaltungen mit viel Publikum zu analysieren und bei Bedarf Rettungskräfte vor Ort schnell mit Lageinformationen zu unterstützen.

## DLR.DE – MELDUNGEN AUF DER DLR-WEBSITE UND DLR-NEWSLETTER

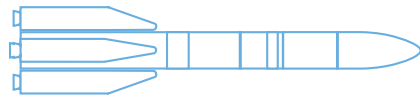
Alle Meldungen können in voller Länge und mit Bildern oder auch Videos online im News-Archiv eingesehen werden. Möchten Sie die Meldungen per E-Mail zugeschickt bekommen, abonnieren Sie einfach den Newsletter.

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

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



# AUFBRUCH INS ALL MIT BODENHAFTUNG



Reportage von einem Triebwerktest für die zukünftige Weltraumträgerrakete Ariane 6

Von Manuela Braun

Die erste Absperrung wird um 10:45 Uhr eingerichtet. Auf rund 300 Metern ist die Talstraße, die direkt unterhalb der Prüfstände am DLR-Gelände vorbeiführt, jetzt für die Durchfahrt gesperrt. Und auch die Ampel etwa 50 Meter vor dem Prüfstand P4.1, den das DLR im Auftrag der ESA gebaut hat und betreibt, steht auf Rot. „Gefahrenzone“ steht in Großbuchstaben in leuchtendem Rot auf dem Schild, das an der quer gespannten Kette an der Zufahrtsstraße zum Prüfstand baumelt. „Bei geschlossener Kette: Lebensgefahr, DLR-Großversuch.“ Heute werden flüssiger Sauerstoff mit einer Temperatur von minus 183 Grad Celsius und flüssiger Wasserstoff mit minus 253 Grad durch Leitungen fließen, ein Vinci-Triebwerk im Vakuum zweimal zünden, um anschließend zwei Stunden lang einen antriebslosen Flug simuliert fortzusetzen. Dabei werden die Schwingungen der Leitungen, die entstehen, wenn diese sich mit flüssigem Sauerstoff füllen, mit einem neu entwickelten System möglichst effektiv gedämpft.

Das alles passiert unter Bedingungen, wie sie bei einem zukünftigen Flug der Trägerrakete Ariane 6 ins All herrschen würden – und doch dicht am Boden. Der Prüfstand P4.1 ist der Einzige in Europa, der während eines Tests ein dauerhaftes Vakuum erzeugen kann, in dem Triebwerk und Düse wie in über 70 Kilometer Höhe arbeiten können.

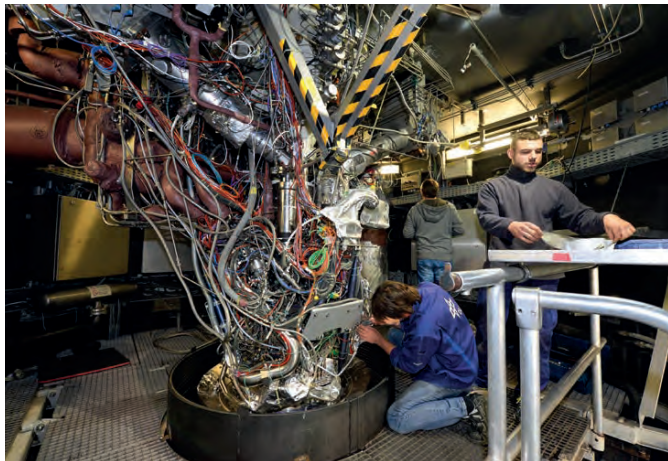
## Choreografie eines Tests

„Der Prüfstand ist geräumt.“ Bernhard Linseisen legt den Telefonhörer auf. Er ist dafür verantwortlich, dass die strengen Absicherungen um den Prüfstand während des Triebwerktests eingehalten werden, und er hält den Kontakt zwischen Versuchsleiter und Sicherheitszentrale. Wer sich jetzt noch im abgesperrten Bereich aufhält, darf das nur noch mit Genehmigung des Versuchsleiters und ausdrücklicher Anmeldung bei der Sicherheitszentrale tun. Manuel Müller nickt und greift zum Kugelschreiber. Ein Haken mehr auf der langen Liste mit rund 1.500 Punkten, die am heutigen Testtag abgearbeitet werden müssen. Müller ist heute für diese Chronologie zuständig und somit die rechte Hand von Versuchsleiter Stefan Grunwald. Heute Abend, gegen 19:00 Uhr, wird in dem dicken Stapel Papier der letzte Vermerk eingetragen und der letzte Haken gesetzt werden. Ein Triebwerktest folgt einer ausgefeilten Choreografie mit vielen Beteiligten, die jeweils für ihren Bereich zuständig sind. Die Chronologie sorgt dafür, dass alle Fäden an einem Punkt zusammenlaufen und kein Detail vergessen wird.



Achtung: Test am Prüfstand P4.1. Gleich wird ein Triebwerk im Vakuum gezündet, also unter Bedingungen fast wie im Weltraum. Das macht die Großanlage am DLR-Standort Lampoldshausen einzigartig in Europa.





Rund 900 Sensoren haben die Techniker in das Forschungstriebwerk Vinci eingebaut. Mit jedem Test und jeder Datenauswertung kommen sie dem zukünftigen Triebwerk der Ariane-6-Trägerrakete näher.

## NEUER PRÜFSTAND FÜR DIE ARIANE 6

Für den Test der Oberstufe der neuen Trägerrakete Ariane 6 wird im Auftrag der ESA eine neue Anlage am DLR-Standort Lampoldshausen entwickelt und gebaut. Im Prüfstand P5.2 wird man gesamte Oberstufen umfangreich testen können – europaweit ist er dann die einzige Großanlage, in der das möglich ist. Hierzu zählen neben Versuchen zur Be- und Enttankung auch komplette Stufentests, bei denen die Oberstufe mit laufendem Triebwerk getestet wird. Ab 2018 wird der neue Prüfstand seine Arbeit schrittweise aufnehmen. Technisch verantwortlich für den Bau und den späteren Betrieb des Teststands ist das DLR-Institut für Raumfahrtantriebe.



Der Platz des Versuchsleiters: Über Computerbildschirme wird der Test verfolgt und kann im Notfall abgebrochen werden.



Mit Zündung des Triebwerks wird die grau-schwarze Düse in der Vakuumkammer beginnen, rot-orangefarben zu leuchten

### Warten auf die Freigabe

Noch ist die Stimmung im Kontrollraum entspannt. Seit heute Morgen um 10:00 Uhr ist das Triebwerk zum Schutz vor Hitze mit einem speziellen Schutzschild versehen, alle Geräte und Werkzeuge aus der Vakuumkammer im Prüfstand sind abgebaut und die schwere Tür der Vakuumkammer ist geschlossen. Die Düse hängt tiefschwarz unterhalb des Triebwerks. Einer der Bildschirme im Kontrollraum scheint deshalb nichts anzuzeigen – die Kamera blickt auf eine schwarze Düse in einer schwarzen Kammer. Erst während des Heißlaufs wird auch dieser Bildschirm etwas zeigen – nämlich das orangefarbene Glühen der Triebwerkdüse. Während die letzten Vorbereitungen laufen, sitzt Versuchsleiter Stefan Grunwald nebenan im Besprechungsraum. Gemeinsam mit seinem Team bespricht er mit dem Kunden, dem Unternehmen Airbus Safran Launchers (ASL), noch die letzten Messwerte und die Abweichungen von diesen bei der Generalprobe. Erst wenn beide Seiten – das DLR als Prüfstandsbetreiber und ASL als Auftraggeber – mit den Rahmenbedingungen für den heutigen Test einverstanden sind, gibt es grünes Licht für den geplanten Versuch.

### Steigerung von Versuch zu Versuch

Um 11:30 Uhr ist es schließlich so weit: Stefan Grunwald befestigt das Freigabe-Dokument an der weißen Tafel im Kontrollraum. „Green Light for test M5R-12“ und die Unterschriften von Versuchsleiter und Kunde stehen auf dem Papier. Der zwölfte Versuch seit April 2016 – und der insgesamt 108. Der Versuch mit einem Vinci-Triebwerk kann beginnen. Mit der Entscheidung der ESA-Ministerratskonferenz vom Dezember 2014, die Trägerrakete Ariane 6 zu entwickeln, veränderten sich auch die bisher getesteten Vinci-Triebwerke und -Triebwerkdüsen. Statt beispielsweise einer ausfahrbaren Düse wird nun eine kürzere, kompaktere Düse entwickelt und auf Herz und Nieren getestet. Am DLR Lampoldshausen wurde der bewährte Höhenprüfstand P4.1 deshalb an die neuen Entwicklungsziele angepasst und umgebaut. Wurde im ersten Test noch ein Heißlauf ohne Düse durchgeführt, um das Risiko gering zu halten, hat man sich mittlerweile mit jedem Test ein Stückchen weiter an die Endkonfiguration herangetastet. Heute befinden sich mit Triebwerk, Düse, LOX-Flugleitung und -ventil sowie einem System zur Dämpfung von Schwingungen gleich mehrere neu entwickelte Komponenten im Prüfstand.

Das „Go“ ist erteilt. Von nun an fließen Sauerstoff und Wasserstoff durch die Prüfstandsleitungen – rund zweieinhalb bis drei Stunden wird es dauern, bis Prüfstand und Triebwerk so weit abgekühlt sind, dass die Versuchsbedingungen gegeben sind. – „LH2?“ „Tankdruckregelung läuft.“ „Welche Gaszusammensetzung haben wir in der Vakuumkammer?“ – Im Kontrollraum werden die Hintergrundgeräusche weniger, stattdessen werden nur noch kurze Fragen und Antworten ausgetauscht. Jeder sitzt nun als Fachmann für seinen Bereich am Platz und blickt auf seinen Bildschirm mit Grafiken und Messwerten. Zu Beginn des Tests wird vieles noch manuell eingestellt, dabei zählen Grenzwerte, Erfahrungen und Fingerspitzengefühl. Später wird zunehmend der Computer übernehmen. Rund 150 Sequenzen mit unzähligen Codezeilen werden dann dafür sorgen, dass die Abläufe im Prüfstand automatisch und exakt vonstattengehen – und der Test gestoppt wird, wenn die gemessenen Werte es erforderlich machen.

### Zünden, kühlen, fliegen

600 Sekunden lang wird das Triebwerk nach der ersten Zündung laufen. Kurz vorher werden vier Dampferzeuger zünden, die – nachdem eine große, drei Meter durchmessende Klappe die Verbindung zwischen Vakuumkammer und Höhenanlage hergestellt hat –, für die Zeit des Tests in der Anlage einen Luftdruck von nur noch wenigen Millibar, also nahezu Vakuum, erzeugen. Dann folgen kurze 120 Sekunden, in denen das Triebwerk gespült und erneut abgekühlt und dann für 60 Sekunden nochmals gezündet wird. Anschließend gibt es einen zweistündigen „Freiflug“, eine sogenannte „Coast Phase“,

in der die Oberstufe der Ariane-6-Rakete ohne Antrieb „fliegt“. Mit einem letzten Abkühlen des Triebwerks soll der Test am P4.1 dann enden. Insgesamt rund 900 Sensoren, die im Triebwerk und Prüfstand verbaut wurden, zeichnen während des gesamten Tests Drücke, Temperaturen und Beschleunigungen auf. Nicht alles wird an diesem Testtag allerdings so ablaufen, wie es dieser Plan vorsieht.

13:00 Uhr. „Jetzt wird’s kalt.“ Ralf Hupertz ist heute „Supervisor“ im Testteam und blickt auf zwei Bildschirme voller Daten, Messwerte und Grafiken. „Jetzt haben wir Flüssigkeiten in den Leitungen.“ „13:30 Uhr dann die nächste Abspernung“, sagt Grunwald. Linseisen informiert die Kollegen in der Sicherheitszentrale. Von nun an ist der Radius der gesperrten Zone noch weiter gezogen als bisher. Der Kontrollraum ist jetzt von der Außenwelt abgeschnitten, lediglich die Sprechverbindungen zur Sicherheitszentrale und zur Feuerwehr stehen. Immer stiller wird es im Kontrollraum. Jetzt wird kaum noch etwas quer durch den Raum gerufen, stattdessen tragen alle ihre Kopfhörer mit Sprechfunk. Im Kontrollraum nebenan, nur durch eine dünne Wand getrennt, sitzt das Team der Dampferzeugeranlage, mit der schon kurz vor der Triebwerkzündung für das notwendige Vakuum gesorgt wird. Das Telefon, das zwischen Versuchsleiter Stefan Grunwald und „Chronist“ Manuel Müller steht, ist außer Funktion gesetzt – jemand hat den Hörer neben den Apparat gelegt. Während der heißen Phase im Test soll auch kein Telefonklingeln die Konzentration und den Ablauf stören.

### System gegen schädliche Schwingungen

Bevor der Versuch startet, wird noch einmal jenes System getestet, mit dem die Sauerstoffsäule in der Fahrleitung künstlich in Schwingung versetzt wird. Solche sogenannten Pogo-Schwingungen könnten im schlimmsten Fall im Eigenresonanzfrequenzbereich der Rakete auftreten. „So etwas könnte dann die ganze Rakete zerstören“, sagt „Supervisor“ Hupertz. Selbst die große Saturn-V-Rakete, die später die Apollo-Astronauten zum Mond flog, habe bei einem unbemannten Testflug durch diese Schwingungen Triebwerkausfälle gehabt. Das „Pogo Suppressor Device“, kurz PSD, das nun im Triebwerk über der LOX-Turbopumpe die künstlich hervorgerufenen Schwingungen dämpfen soll, könnte später einmal dafür sorgen, dass die Ariane 6 damit kein Problem haben wird.

### Start mit Verzögerung

Kurz nach 14:00 Uhr. Die 20-Minuten-Warnung schallt aus den Lautsprechern auf dem gesamten Gelände. Statt 20 Minuten wird es allerdings 25 Minuten dauern, bis der Heißlauf startet: Die Abkühlkriterien sind erst nach einigen Zusatzminuten erreicht. Am nächsten Tag werden diese Abweichungen in der Teamsitzung mit dem Kunden Thema sein, um für den nächsten Test gegebenenfalls andere, optimierte Rahmenbedingungen zu setzen. Die Kameras übertragen jetzt nur noch Aufnahmen von einem verlassenen Prüfstand auf die Bildschirme. Die einzigen Menschen, die sich in unmittelbarer Nähe des Prüfstands mit dem startbereiten Triebwerk befinden, sitzen im geschützten Kontrollraum. Das Wechselspiel von Abfrage und Antwort beginnt wieder. „Druck in der Vakuumkammer?“ „32 mbar“ „Massenspektrometer, Ventile schließen für den Heißlauf!“ „Geschlossen.“

Die Dampferzeuger starten. Auf dem Bildschirm hüllt sich der Prüfstand mehr und mehr in Wolken. Von draußen ist ein dumpfes Grollen zu hören. Nur noch wenige Sekunden, bis sich die große Vakuumklappe in der Anlage öffnet – und das Triebwerk kann zünden. Die Countdown-Uhr über den Bildschirmen springt auf Null, in der Vakuumkammer läuft das Triebwerk, und das Kamerabild verfärbt sich von Schwarz auf Leuchtendrot. „Bisher keine Alarme.“ Zehn Minuten lang glüht die Düse im Heißlauf. „Ok, Brennschluss“, ruft Stefan Grunwald. Auf dem Bildschirm wird die Düse langsam wieder dunkler.





Während des Tests übertragen Kameras, was im und um den Prüfstand herum geschieht. Der Kontrollraum ist dann ein geschützter Raum, der nicht verlassen werden darf.



Anspannung bei Versuchsleiter Stefan Grunwald (hinten) und Chronist Manuel Müller. An diesen beiden Positionen laufen alle Informationen zusammen.

## Test mit ungeplanter Zündhemmung

Gerade einmal zwei Minuten liegen zwischen der ersten und zweiten Zündung. Im Kontrollraum bleibt es angespannt. „Jetzt die zweite Zündung ...“. – Stefan Grunwalds Stimme wird zögerlich. Wenn es sie denn geben würde. Die geplante zweite Zündung bleibt aus. Alle Augen sind nun auf die Messwerte gerichtet. Eingreifen kann jetzt niemand mehr. Nach zwei Minuten verklingt von draußen das Fauchen der Dampferzeuger, und die weiße Wolke um den Prüfstand löst sich langsam auf. Auch wenn die zweite Zündung ausgefallen ist – der Test geht weiter mit der geplanten Freiflugphase und der erneuten Abkühlung des Triebwerks. Rund anderthalb Stunden wird es dauern, bis an den Konsolen wieder die nächste konzentrierte Phase beginnt. Im Nebenraum wird währenddessen diskutiert, warum die geplante Zündung nicht erfolgte. „Es kann zum Beispiel sein, dass die Vorgaben für den Testablauf so aus technischen Gründen nicht durchgeführt werden konnten“, sagt Versuchsleiter Grunwald. „Das wird die Analyse der Messwerte zeigen.“

Um 16:35 Uhr geht die nächste 20-Minuten-Warnung über die Lautsprecher. Wieder sollen der Prüfstand und das Triebwerk abgekühlt werden sowie die Dampferzeuger Vakuum erzeugen. Sobald das Vinci-Triebwerk für eine dritte Zündung bereit wäre, würde der heutige Test enden. Kurz bevor die Dampferzeuger starten sollen, kommt über Kopfhörer die Meldung aus dem benachbarten Kontrollraum: „Wir haben ein Problem mit der Tankbedrückung.“ Die Optionen sind überschaubar: Das Team für die Dampferzeuger könnte noch einmal den Kontrollraum verlassen und vor Ort das Problem beheben. Das würde aber die laufende Coast Phase verlängern. Oder es kann nicht zusichern, dass die Dampferzeuger laufen werden. Der Versuchsleiter nickt kurz und entscheidet in Abstimmung mit dem

Auftraggeber: Die Freiflugphase soll wie geplant simuliert werden – sollten die Dampferzeuger nicht laufen, wäre das nicht entscheidend für die gewünschten Messdaten. Schließlich tönt die letzte, die 1-Minuten-Warnung, über das Gelände. Und das Fauchen der Dampferzeuger setzt erneut ein. „Na also, funktioniert ja doch wie geplant“, murmelt Ralf Hupertz.

## Messwerte für die Zukunft

Felix Löhr, der für den Ablauf der automatischen Sequenzen zuständig ist, blickt auf seinen Bildschirm. „LH2 ist bereits kalt.“ Manuel Müller ist in der Chronologie fast auf der letzten Seite angelangt und hakt Position um Position ab. „LOX hat zwei von drei Abkühlkriterien erfüllt.“ Als der LOX, der flüssige Sauerstoff, ebenfalls die vorgeschriebene Temperatur erreicht hat, blickt Testleiter Stefan Grunwald hoch. „Ok, dann endet der Test hier.“ Das Rauschen der Dampferzeuger legt sich. Um 17:18 Uhr ist der Hauptversuchsdurchlauf abgeschlossen; jetzt folgt noch die Außerbetriebnahme der einzelnen Prüfstandssysteme sowie das Rekonditionieren des Triebwerks, was nochmals rund eineinhalb Stunden dauern wird.

Bereits am nächsten Tag werden Tausende Messwerte analysiert und ausgewertet werden. Nach dem Test ist vor dem Test, denn jedes Ergebnis fließt in die nächsten Testläufe ein. Voraussichtlich im Dezember 2016 wird dann ein neues Vinci-Triebwerk in den Prüfstand eingebaut – eines, das dem Flugtriebwerk, wie es mit der Ariane 6 2020 starten wird, schon sehr nahe kommt. Was sich dann im Vergleich zum getesteten Entwicklungstriebwerk verändert hat, basiert vor allem auf einem: den Testergebnissen des DLR vom Prüfstand 4.1 vom heutigen Tag.

## EUROPÄISCHE TRÄGERRAKETE DER ZUKUNFT

Das Ariane-6-Entwicklungsprogramm wurde auf der ESA-Ministerratskonferenz im Dezember 2014 beschlossen und von zwölf Teilnehmerstaaten unterzeichnet. Studien im Vorfeld der Konferenz hatten ergeben, dass auf Basis der bisherigen Erfahrungen mit der existierenden Ariane 5 und den Entwicklungsarbeiten zur Ariane 5ME die Voraussetzungen gegeben sind, um ein zukunftsfähiges Trägerkonzept umzusetzen. Durch die Kombination der bereits vorhandenen Bausteine sowie der Entwicklung weiterer Elemente ist es möglich, die Ariane 6 in nur fünf Jahren vollständig zu entwickeln.

Die Trägerkonfiguration der neuen Ariane 6 nutzt sowohl in der Unter- als auch in der Oberstufe die Treibstoffkombination Flüssigwasserstoff und Flüssigsauerstoff. Die neue Unterstufe basiert auf der „alten“ Unterstufe der Ariane 5, ist jedoch in technologischen Details verbessert sowie kostenoptimiert ausgelegt. Als Oberstufe kommt eine Abwandlung der bereits für die Ariane 5ME gedachten neuen Oberstufe mit dem wiederzündbaren Vinci-Triebwerk zum Einsatz. Die Ariane 6 kann, je nach Konfiguration, fünf oder elf Tonnen Nutzlast in den Geostationären Transferorbit (GTO) transportieren; dafür ist sie dann entweder mit zwei oder vier Feststoffboostern ausgestattet. Der Erstflug der 70 Meter hohen Rakete ist für 2020 geplant. Das französisch-deutsche Unternehmen Airbus Safran Launchers (ASL) wurde von der ESA beauftragt, die Ariane 6 zu entwickeln. Die Tests lässt ASL im DLR ausführen.

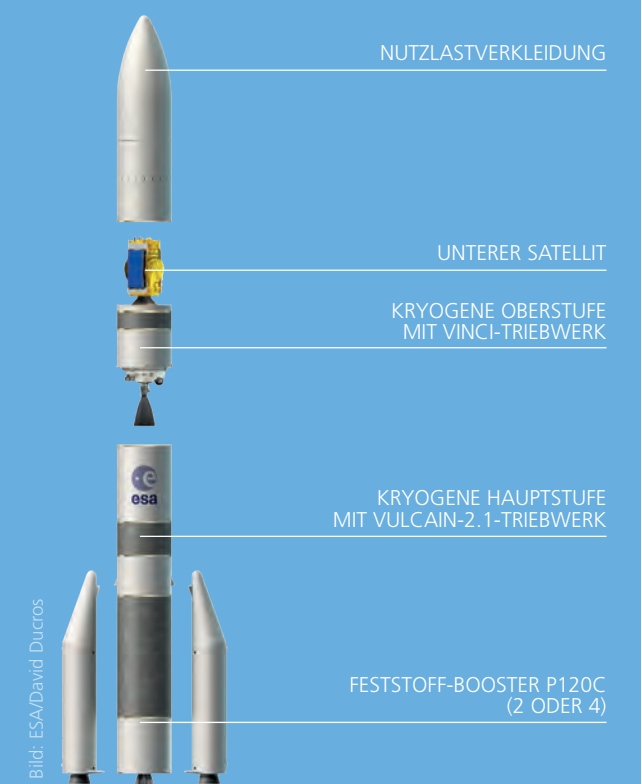


Bild: ESA/David Ducros



# INS NETZ GEGANGEN



Landen ohne Fahrwerk macht Solarflugzeuge leichter

Von Fabian Locher

Ein kleiner Flugplatz mitten in der bayerischen Idylle. Eine sattgrüne Wiese im Unterallgäu, umgeben von tannenbewachsenen Hügeln. Die Wipfel ducken sich unter dem pfeifenden Wind. Wolken und Sonne wechseln sich ab. Plötzlich fährt ein Auto mit circa 80 Stundenkilometern über die Landebahn. Auf dem Dach ein vier mal fünf Meter großes Netz. Zwei Meter über ihm surrt ein unbemanntes Flugzeug. Die Drohne sinkt immer tiefer. Das Ende der Landebahn kommt näher. Der Wind peitscht von der Seite auf Auto und Fluggerät ein. Die Drohne ist nun fast direkt über dem Netz. Sie stoppt noch einmal kurz, scheint in der Luft zu stehen, während das Auto weiterrast. Dann sackt sie ab ... und schaukelt sicher im Netz. Bremsen quietschen. Die konzentrierten Gesichter des Teams zeigen pure Erleichterung. – Was hat dieser Versuch mit Solarflugzeugen zu tun? Mehr, als man denkt ...

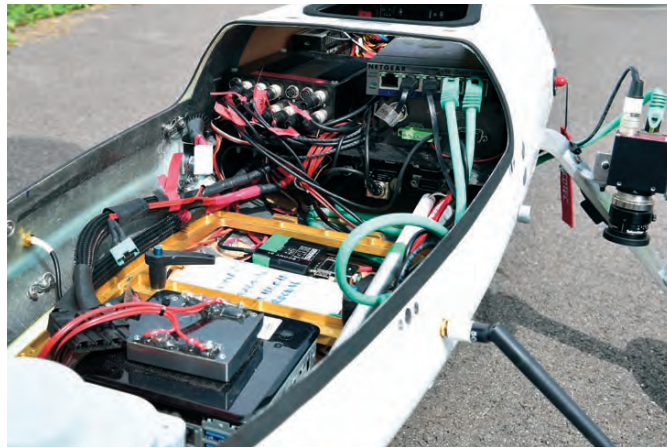
## Ultraleicht ist noch zu schwer

Noch ist es Zukunftsmusik: Ultraleichte Solarflugzeuge fliegen monatelang in mehr als 20 Kilometer Höhe. Das ist doppelt so hoch wie normale Passagierflugzeuge, doch wesentlich niedriger als Satelliten. Als „Pseudo-Satelliten“ erfüllen sie ähnliche Aufgaben wie diese – bei erheblich geringeren Kosten. Sie liefern beispielsweise in Katastrophenfällen live Lagebilder, ersetzen ausgefallene Kommunikationsnetze oder sammeln Daten zum Klimaschutz. Die Spannweite dieser sogenannten HALE/UAV-Plattformen (High Altitude Long Endurance/Unmanned Aerial Vehicle) erreicht die Größe eines herkömmlichen Passagierflugzeugs, dabei wiegen diese Fluggeräte nur wenige hundert Kilogramm. Der Platz auf den Flügeln wird unter anderem für die vielen Solarzellen gebraucht, aus denen die Flieger ihre Energie ziehen und die Batterien für den Nachtflug aufladen. Noch sind die Plattformen zu schwer. Noch können sie deshalb nicht lange genug in der Luft bleiben und auch nicht mit all der gewünschten Hardware beladen werden. Noch sind sie zu anfällig für Wind und Wetter. Und so sind sie deshalb kommerziell auch noch nicht interessant genug, um Satelliten zu ersetzen oder zu ergänzen.





Inspektion vor dem Abflug: Kritischer Blick ins Innere, dann ist die Drohne startklar.



Komplexe Elektronik: Die Software der Drohne kombiniert eigenständig GPS-Daten mit den Daten einer Kamera, um ihre Position zuverlässig zu bestimmen.



Sicherheitspilot im Einsatz: Laut Luftfahrt-Bundesamt ist bei Experimenten mit autonomen Fluggeräten ein Sicherheitspilot in Sichtweite notwendig. Dieser muss das Flugzeug jederzeit wieder manuell übernehmen können.



Geschafft: Drohne im Netz – Experiment geglückt!

Je nach Flugzeugtyp macht das Landefahrwerk bis zu zehn Prozent des Abfluggewichts aus. Streicht man dieses aber aus der Konfiguration, so ändert sich die Sachlage deutlich. Und weniger Gewicht bedeutet mehr Nutzlast bei längerer Einsatzzeit. Auch die Aussicht auf Wiederverwertbarkeit der Systeme ist ein großer Anreiz für kommerzielle Nutzer. Im Gegensatz zu den meisten Satelliten, die ihre Bahnen in großer Höhe ziehen, fliegen die HALE/UAV-Plattformen zudem sehr viel niedriger und könnten so Daten wesentlich schneller und mit weniger Verzögerung übertragen.

Aber nicht allein die Geschwindigkeit der Datenübertragung ist wichtig: Die Systeme schließen auch die sogenannte „Auflösungslücke“ zwischen konventionellen Flugzeugen und Satelliten: Sie sind weit genug von der Erde entfernt, um große Bereiche abzudecken, aber noch nah genug dran, um hohe Auflösungen zu erlauben. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die hohe Flexibilität: Anders als Satellitensysteme sind sie örtlich und zeitlich nicht an Umlaufbahnen und -geschwindigkeiten gebunden und so kurzfristiger einsetzbar – gerade in Katastrophenfällen ein großer Vorteil. Genug gute Gründe also, um die dafür notwendige Technologie in einem kleineren Maßstab zu testen.

#### Anders landen

„Wenn man kein Landefahrwerk hat, muss man das Landen anders lösen“, erläutert Tin Muskardin vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik. „Genau da setzen wir an.“ Wie aber landet man ein Flugzeug ohne Räder? Genauer: Wie landet man ein autonomes Flugzeug auf einem autonomen Fahrzeug? Theoretisch wissen die Wissenschaftler bereits Antworten auf diese Fragen. Sie wurden im europäischen Forschungsprojekt EC-Safemobil erarbeitet. Für den Praxistest ging es nun auf einen Flugplatz in der Nähe von Tussenhausen im schwäbischen Unterallgäu.

Ihre Ausrüstung: eine elektrische Drohne, zwei Autos, ein fünf mal vier Meter großes Netz und ein zur Schaltzentrale umgerüsteter Van voller Monitore und Elektronik, um die komplexen Algorithmen zu überwachen. Das Netz ist schnell auf dem Dach montiert, die Drohne

startklar gemacht und auf die Startbahn bugsiert. Einmal manuell gestartet, fliegt sie ab 100 Meter Höhe selbstständig ein vorher programmiertes Wegpunktmuster ab. Sie dreht eine Runde über den Flugplatz, bis sie wieder den Beginn der Landebahn erreicht. Dort steht bereits das fahrende Netz bereit.

Unter dem Netz, im Auto, sitzt Konstantin Kondak. Er leitet die Gruppe „Flugrobotik“ am Robotik und Mechatronik Zentrum (RMC). Ein über dem Autoradio montierter Bildschirm zeigt ihm ein Fadenkreuz an. Bereits bevor die Drohne angefliegen kommt, schnellt das Fadenkreuz aus der Ruheposition nach oben. Das Auto verwendet ein mathematisches Modell, um den Startzeitpunkt für die Beschleunigungsphase abzuschätzen. Der Fahrer weiß nicht, wo sich die Drohne genau befindet – er ist lediglich das ausführende Organ des Algorithmus. Dieser zeigt ihm an, ob er schneller, langsamer, mehr nach links oder mehr nach rechts fahren soll. Erreicht die Drohne das Auto, sind die Geschwindigkeiten der beiden Systeme bereits angeglichen. Die Systeme der Drohne und der im Auto installierten Software kommunizieren miteinander und tauschen ständig Daten aus. Übermittelt werden aktuelle Position, Kurs und Geschwindigkeit. Der Algorithmus der Robotiker gleicht dabei Verzögerungen beim Datenaustausch aus, sodass sich Auto und Drohne völlig synchron bewegen – und das bei 80 Stundenkilometern.

#### Es beginnt ...

Die Drohne fliegt heran. Der Fahrer tritt aufs Gaspedal. Das Landemanöver beginnt. Dieses besteht aus einer Sequenz verschiedener Zustände. Das Fluggerät beginnt zunächst unabhängig vom Auto mit dem Sinkflug. Innerhalb weniger Sekunden sinkt es aus 100 Meter Höhe auf 20 Meter hinab. Nun fliegt die Drohne in niedriger Höhe weiter über der Landebahn. Dann beginnt die kooperative Phase, das Auto beschleunigt und gleicht seine Geschwindigkeit der Drohne an. Bei fünf Meter Höhe wird es spannend: In der letzten Flugphase, dem sogenannten „Landing Flare“, zieht sie die Nase langsam hoch und sinkt kontinuierlich. Die Vertikalgeschwindigkeit nimmt stetig ab. Nun fliegt sie zentral über der Landeplattform. Beide bewegen sich mit 80 Stundenkilometern synchron.

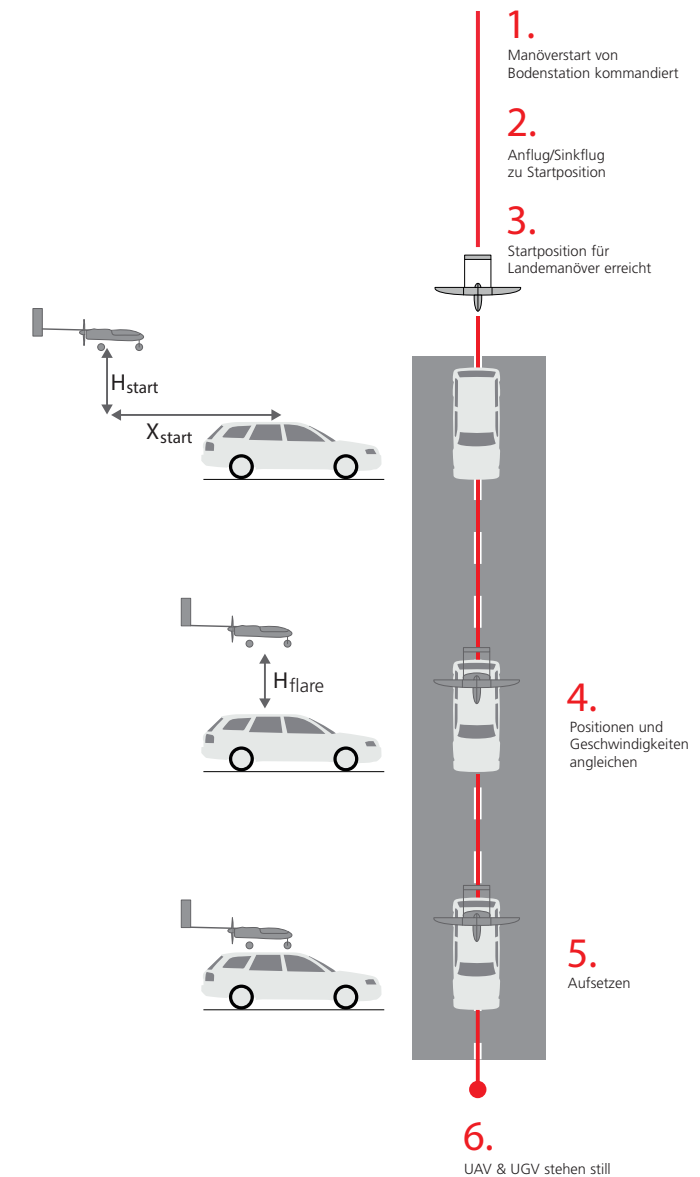
Sobald die Drohne einen definierten Bereich im Luftraum über dem Auto betritt, beginnt der Landevorgang. Zusätzlich zu den GPS-Daten scannt der Flugkörper die optischen Marker, die auf dem Dach des Autos angebracht sind. So erhöht er die Zuverlässigkeit seiner Positionsbestimmung. Zwingt eine Windböe die Drohne aus diesem „Landewürfel“ in der Luft, steigt sie selbstständig einige Meter nach oben, korrigiert ihre Position und versucht erneut, in den kritischen Bereich vorzudringen. Das Manöver wiederholt sich so lange, bis es klappt und die Drohne im Netz liegt – oder die Landebahn endet. Bleibt das Auto stehen, registriert das System der Drohne das und bricht den Vorgang automatisch ab. Sie steigt wieder in 100 Meter Höhe auf, fliegt einen Halbkreis um die Bahn herum und beginnt erneut mit dem Manöver.

#### Kooperation von Robotern

„Der Mensch im Auto stellt lediglich noch ein ausführendes Bindeglied zwischen den Maschinen dar“, erklärt Tin Muskardin, der die Flugversuche geleitet hat. In einem späteren Anwendungsfall fällt diese Brücke komplett weg. „Später könnte ein autonomes Fahrzeug mit einer intelligenten Landeplattform automatisch losfahren, sobald es das herannahende Flugzeug wahrnimmt. Eine solche Apparatur wird sich auch dynamisch der Höhe und dem Anflugwinkel des Flugzeugs anpassen.“ Durch den ständigen Informationsaustausch der Algorithmen „sprechen“ die Maschinen sich haargenau ab. So wird aus einer Landung bei Wind, Regen und zwei sehr schnellen Maschinen schlicht ein intelligenter Austausch von Einsen und Nullen.

Das Landen ohne Fahrwerk ist auch auf die kommerzielle Luftfahrt übertragbar. Die dafür notwendigen robotischen Technologien werden am Robotik und Mechatronik Zentrum des DLR in Oberpfaffenhofen entwickelt.

Noch sind die Höhenplattformen ferne Zukunftsmusik. Mit dem erfolgreichen Landen einer autonomen Drohne auf einem halb-autonomen Auto tönt sie aber schon etwas lauter. „In fünf Jahren könnte unsere Kommunikation statt über Satelliten bereits über ultraleichte Solarplattformen stattfinden“, schließt Dr. Kondak. „Wir arbeiten daran, dass wir die Höhenplattformen dann auch wieder sicher auf der Erde landen.“





# IM EWIGEN EIS AUF DAUEREMPFGANG

Seit 25 Jahren lauscht die Antarktisstation GARS O'Higgins auf Satellitendaten

Von Manuela Braun



Das erste Satellitenbild, das jemals auf der Antarktisstation GARS O'Higgins (German Antarctic Receiving Station) empfangen wurde, zeigt die Region Coatsland in der Antarktis mit ihren Strukturen, Rissen und Kanten. Das war am 24. September 1991 – und mit diesen Daten des Erdbeobachtungssatelliten ERS-1 startete vor mittlerweile 25 Jahren der Betrieb der Station im ewigen Eis. Inzwischen trotzen 35 miteinander verbundene Container und die 9-Meter-Antenne auf einer kleinen Halbinsel, der Peninsula Schmidt, den Temperaturen und den Sturmböen der Antarktis – und bieten auch noch den ansässigen Pinguinen einen willkommenen Windschutz.

Anfangs blieb die Station allerdings nur während der Sommermonate besetzt – dann, wenn es mit gerade einmal ein oder zwei Grad unter Null Grad Celsius für die Antarktis recht warm ist und die Sonne nachts nur kurz unter den Horizont sinkt. Von Oktober bis in den März hinein lebten und arbeiteten kleine Vierer-Teams aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern auf der Station und sorgten für den Betrieb des Satellitenempfangs. In den übrigen Monaten wurde GARS O'Higgins in einen Winterschlaf versetzt. Der Letzte machte das Licht aus, und auf der Peninsula Schmidt wurde es wieder ein Stückchen einsamer.

## Betrieb an 365 Tagen

„Es war aber letztendlich sehr mühsam, die Station im März einzumotten und sie dann ein halbes Jahr später wieder aufzuwecken“, erinnert sich Stationsdirektor Erhard Diedrich, zuständig für das Internationale Bodensegment am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des DLR. Außerdem kamen im Laufe der Jahre auch immer mehr Satelliten hinzu, die ihre Daten an die Antarktisstation sendeten: Nicht nur die Radarsatelliten ERS-1 und ERS-2, sondern auch der deutsche, vom DLR betriebene Radarsatellit TerraSAR-X nutzten die Empfangsantenne. Als am 21. Juni 2010 dann der Satellit TanDEM-X startete, um im Formationsflug mit TerraSAR-X die Erde zu vermessen, ging die Antarktisstation des DLR zum ganzjährigen Betrieb über.

Seitdem ist an jedem Tag im Jahr ein Team in der Antarktis, sorgt für den ungestörten Satellitenempfang, sendet Kommandos der Raumfahrtkontrollzentren an die Satelliten, befreit hin und wieder Container und Antenne von den Schneemassen und hat sich auf die Jahreszeiten im ewigen Eis eingestellt. Wenn einmal Zeit ist, helfen Bücher, Filme, im Sommer auch ein Ausflug mit dem Team der benachbarten chilenischen Station General Bernardo O'Higgins und gemeinsame Mahlzeiten in der kleinen Küche der Station.

„Silvester feiern wir eigentlich zweimal“, erzählt Ruslan Artemenko, der in diesem Jahr mit drei Kollegen die Schicht übers Jahresende absolviert. „Das erste Mal um 20 Uhr im kleinen Kreis.“ In Deutschland knallen dann schon die Raketen und die Sektkgläser werden gefüllt. Vier Stunden später feiert das Antarktis-Team dann



Eine 9-Meter-Antenne und 35 zum Teil in Eis und Tiefschnee verborgene Container – das ist GARS O'Higgins, die Antarktisstation im ewigen Eis

noch einmal: Pünktlich um Mitternacht Ortszeit wird mit dem Team der chilenischen Nachbarstation angestoßen und gegessen. Silvesterböller sind in der Antarktis allerdings verboten – die könnten die Pinguine aufschrecken, die im antarktischen Sommer auf ihren Nestern brüten. Silvestergrüße aus der Antarktis sind aber möglich: „Zum Glück können wir selbst von hier aus gut mit unseren Familien und Freunden zu Hause telefonieren.“

## Arbeitsplatz zwischen Eis und Pinguinen

Der Betrieb rund ums Jahr ist dennoch eine Herausforderung: Steuerung und Kontrolle der Antenne mussten automatisiert werden, damit das kleine Stationsteam die vielfältigen Aufgaben bewältigen kann. Neue Satellitenkommunikationsverbindungen ins heimische Oberpfaffenhofen wurden eingerichtet und die Station auf den Ganzjahresbetrieb umgerüstet. „Und auch die Einsatzbereitschaft des nicht größer gewordenen Teams wurde stark gefordert, was nicht immer ganz einfach für die betroffenen Kollegen und ihre Familien ist“, sagt Stationsmanager Robert Metzger, der selbst bereits oftmals für Monate in der Antarktis arbeitete. Mit dem Wechsel unseres Teams auch während des Winters musste zudem die logistische Kooperation mit unseren chilenischen und brasilianischen Partnern ausgebaut werden. „Der Wechsel zum Ganzjahresbetrieb habe aber gut funktioniert: „Das merken wir daran, dass immer mehr Satellitenmissionen auf die Unterstützung durch unsere Bodenstation in der Antarktis bauen.“

## Tausende Datenpakete

Die deutsche FireBird-Mission mit den Satelliten TET-1 und BIROS funkt ihre Daten zur Empfangsstation auf der Peninsula Schmidt. Und auch die deutsch-amerikanische GRACE-Mission und die kanadischen Missionen Cassiope und NEOSat setzen auf O'Higgins, um ihre Satelliten zu kommandieren und die kostbaren Daten aus dem All zur Erde zu bringen. Für das mittlerweile fertiggestellte globale 3D-Höhenmodell der TanDEM-X-Mission wurde mehr als ein Drittel der Daten in GARS O'Higgins aufgezeichnet. Bis zu 2.700 Mal im Jahr hat das Team der Antarktisstation zum Beispiel Kontakt mit Radarsatellit TerraSAR-X, bis zu 2.600 Mal mit Radarsatellit TanDEM-X.

Die Gesamtbilanz der vergangenen 25 Jahre zeigt: Für die Satelliten im All ist die O'Higgins-Station kein abgeschiedener, weltfremder Ort: Die 9-Meter-Antenne auf Peninsula Schmidt empfing insgesamt schon mehrere zehntausend Mal Datenpakete aus dem Weltraum.

Arbeitsplatz der DLR-Wissenschaftler in einem der 35 miteinander verbundenen Container der Antarktisstation GARS O'Higgins





# DIE ZUKUNFT SOLARTHERMISCHER KRAFTWERKE HAT GERADE ERST BEGONNEN

Fünf Jahre DLR-Institut für Solarforschung – ein Gespräch mit den Institutsdirektoren Robert Pitz-Paal und Bernhard Hoffschmidt

Im Jahr 2011 gründete das DLR ein eigenständiges Institut für die Erforschung von konzentrierenden Solartechnologien zur Erzeugung von Wärme, Strom und Brennstoffen. Die beiden Direktoren Prof. Dr.-Ing. Robert Pitz-Paal und Prof. Dr.-Ing. Bernhard Hoffschmidt leiten das Institut seit der ersten Stunde. Für sie funktioniert Erfolg am besten gemeinsam. Im Gespräch mit Elke Reuschenbach, im Institut unter anderem mit der Öffentlichkeitsarbeit betraut, blicken sie zurück auf die ersten fünf Jahre und nach vorn: in die Zukunft der Solartechnologie.

**In diesem Jahr blickt das DLR auf 40 Jahre Energieforschung zurück, aber auch Sie haben etwas zu feiern: Nachdem die Solarforscher seit 1976 verschiedenen Organisationseinheiten zugeordnet waren, wurden sie 2011 in einem eigenen Institut zusammengeführt. Das ist jetzt fünf Jahre her.**

**Bernhard Hoffschmidt:** Ja, das Institut startete mit 80 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Abteilung Solarforschung des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik, verteilt auf Köln, Stuttgart und Almería in Spanien. Bis heute hat sich unsere Mitarbeiterzahl annähernd verdoppelt.

**Robert Pitz-Paal:** Die Anfänge unseres Instituts waren eine Konsequenz aus der Kommerzialisierung der konzentrierenden Solartechnologien in Spanien und dem damit verbundenen Aufschwung der Branche. Diese positive Entwicklung erhöhte den Bedarf und die Nachfrage nach Forschung und Entwicklung. Mit einem eigenständigen Institut für Solarforschung wollte das DLR seine internationale Position in der Forschung und Entwicklung für solarthermische Kraftwerke weiter ausbauen. Speziell in den Bereichen solare Turmtechnologie, solare Brennstoffherzeugung, Sensortechnik und Speichertechnologien sollten neue Testkapazitäten in Deutschland entstehen.

**Ein 25-köpfiges Team von Solarforschern ist in Spanien tätig, auf der Plataforma Solar de Almería, PSA, Europas größtem Forschungszentrum für konzentrierende Solartechnologien. Aber das Institut betreibt auch Solarforschung in Deutschland, zum Beispiel mit dem solarthermischen Versuchskraftwerk in Jülich, in der Nähe von Köln.**

**Hoffschmidt:** Mit dem Kauf des Solarturms in Jülich im Jahr 2011 erhielt das Institut quasi vor der Haustür eine Großanlage, in der wir neue Komponenten und Verfahren testen können, um die Solarkraftwerke effizienter und kostengünstiger zu machen. Sie ist weltweit das einzige komplette solarthermische Kraftwerk, das für Forschungszwecke zur Verfügung steht. Das gibt dem Institut die Möglichkeit, nicht nur an einzelnen Komponenten zu arbeiten, sondern erlaubt es, Komponenten unter realen Bedingungen zu testen –, wodurch wir ein einzigartiges Systemverständnis erhalten. Darum beneiden uns Forscherkollegen weltweit.

**Und im nächsten Jahr soll eine weitere Großanlage dazukommen. Was soll diese leisten?**

**Hoffschmidt:** Wir sind sehr gespannt auf den Start der neuen Großanlage Synlight® Anfang 2017 in Jülich. Diese „größte künstliche Sonne der Welt“ wurde von Mitarbeitern des Instituts entwickelt und wird zurzeit fertiggestellt. Mit ihr wollen wir Experimente zur Erzeugung von solaren Brennstoffen im 200-Kilowatt-Maßstab durchführen, unabhängig von Wetter und Tageszeit, unter reproduzierbaren Bedingungen.

**Pitz-Paal:** Wir haben uns in den vergangenen Jahren im internationalen Forschungsumfeld eine sehr starke Position auf dem Gebiet der solarthermischen Kraftwerke erarbeitet, die wir natürlich halten und ausbauen wollen. Konzentrierende Solarsysteme kann man aber nicht nur zur Stromerzeugung einsetzen. Die erzeugte Hochtemperaturwärme lässt sich auch in chemische Prozesse einkoppeln, zum Beispiel um – ausgehend von den Grundstoffen Wasser und Kohlendioxid – Brennstoffe für den Verkehr zu erzeugen. Weil wir auf diesem Gebiet unsere Forschung intensivieren möchten, haben wir in neue Versuchsanlagen wie den Hochleistungsstrahler Synlight® investiert.

**Aus zwei anwendungsorientierten Forschungsprojekten des Instituts für Solarforschung sind Ausgründungen hervorgegangen, die CSP Services GmbH und die SOWARLA GmbH. Wie werten Sie das?**

**Pitz-Paal:** Wir sind stolz darauf, dass uns mehrfach der Transfer von Forschungsergebnissen in die industrielle Anwendung gelungen ist. Zwei weitere Unternehmensgründungen sind zurzeit in Vorbereitung: Die Firmen 24/7 Solar für Partikelreceiver-Technik und HELIKON mit Komponenten für die Heliostatfeld-Steuerung. An dieser Stelle möchten wir uns ganz herzlich bei unseren Wissenschaftlern, Technikern und den Mitarbeitern aus der Verwaltung bedanken. Denn sie machen den Erfolg des Instituts ja erst möglich.

Bild: Kraftanlagen München GmbH



Das solarthermische Versuchskraftwerk Jülich bei Köln dient den Wissenschaftlern zum Test neuer Komponenten und Verfahren, die Solarkraftwerke effizienter und kostengünstiger machen

**Sie arbeiten in verschiedenen Projekten Seite an Seite mit der Industrie, kooperieren aber auch mit anderen DLR-Instituten. Was haben Sie als Nächstes vor?**

**Hoffschmidt:** Wir werden unsere Kompetenzen zukünftig thematisch noch breiter einsetzen und in Kooperation mit anderen DLR-Instituten auch weitere Fragestellungen aufgreifen. Ein Beispiel sind Technologien aus der Raumfahrt wie zum Beispiel die Mikrowellenradiometrie zum Vermessen und zum energieoptimierten Sanieren von Gebäuden.

**Stromerzeugung mittels Sonnenenergie hat großes Potenzial für den Klimaschutz. Wie sehen Sie die Zukunftsaussichten von Solartechnologien?**

**Pitz-Paal:** Der Klimawandel ist eine der großen Herausforderungen der Menschheit. Nur mit einer Energieversorgung, die zu einem großen Teil auf den erneuerbaren Ressourcen Sonne und Wind basiert, kann weltweit die notwendige Kohlendioxid-Reduktion erreicht werden. Solarthermische Kraftwerke, kurz CSP für Concentrated Solar Power, zeigen bereits an vielen Standorten, dass sie geeignet sind, die Nachfrage auch in den Zeiten zu decken, in denen die Sonne nicht scheint. In Kombination mit thermischen Energiespeichern, wie Speichertanks mit heißem geschmolzenem Salz können die Anlagen auch bei Wolkendurchgängen oder nach Sonnenuntergang betrieben werden. Diese Systeme sind heutzutage Fotovoltaik-Systemen mit elektrischen Speichersystemen von den Kosten her deutlich überlegen. Wir sind deshalb überzeugt davon, dass die CSP-Technik neben der Fotovoltaik in einem zukünftigen globalen Energiesystem eine bedeutende Rolle spielen wird.

**Herr Professor Pitz-Paal, Herr Professor Hoffschmidt, vielen Dank für das Gespräch!**



**Bernhard Hoffschmidt ...**  
... startete 1992, nach seinem Maschinenbaustudium, beim DLR in Köln, um hier zu promovieren. Nach verschiedenen Stationen in der Energieforschung initiierte er die Entwicklung des Solarturmkraftwerks Jülich. Von 2003 bis 2013 lehrte er Energietechnik an der FH Aachen und übernahm dann die Leitung des Lehrstuhls für Solare Komponenten der RWTH Aachen.



**Robert Pitz-Paal ...**  
... entdeckte seine Begeisterung für die Solarthermie während seines Physikstudiums. An der Ruhr-Universität Bochum promovierte er über konzentrierende Solartechnik. Er startete im Jahr 1993 in der DLR-Energieforschung. Der international anerkannte Experte für CSP-Technologie leitet seit 2003 auch den Lehrstuhl für Solartechnik an der RWTH Aachen.





Am 29. September 2016 hob die HY4 zu ihrem offiziellen Premierflug ab. Erstmals fliegt damit eine viersitzige Passagiermaschine mit einem emissionsfreien Antriebssystem.

# „DAS FÜHLT SICH AN WIE DIE ZUKUNFT DES FLIEGENS“



## Die Geschichte des Erstfluges des viersitzigen Passagierflugzeugs HY4

Von Dorothee Bürkle

Am 29. September 2016 startete vom Flughafen Stuttgart die weltweit erste viersitzige Passagiermaschine mit einem Batterie-Brennstoffzellen-Antrieb zu ihrem offiziellen Jungfernflug. Dafür arbeitete das DLR zusammen mit dem slowenischen Flugzeughersteller Pipistrel, dem Brennstoffzellen-Hersteller Hydrogenics, der DLR-Ausgründung H2Fly und der Universität Ulm. Betankt mit Wasserstoff aus erneuerbaren Energien fliegt die HY4 ohne Emissionen von Kohlendioxid oder anderen Schadstoffen. Hinter dem Team, das die HY4 an diesem Tag in die Luft brachte, liegen 15 arbeitsintensive Monate.

### Juli 2015: Konzeption und erste Labortests

Im Juli 2015 begannen Wissenschaftler am Institut für Technische Thermodynamik gemeinsam mit der Firma H2Fly, einen Hybridantrieb für ein Brennstoffzellen-Flugzeug zu konzipieren. Zurückgreifen konnte das Team dabei auf Testergebnisse, die von den Ingenieuren zuvor mit dem Brennstoffzellen-Flugzeug DLR-H2 bei vielen Testflügen gesammelt worden waren. Die DLR-H2 war 2009 als erstes Flugzeug überhaupt in der Lage, ausschließlich mit dem Antrieb einer Brennstoffzelle zu starten. „Die Erfahrungen mit der DLR-H2 in Flughöhen bis 2.500 Meter haben uns gezeigt, dass Brennstoffzellen auch bei vermindertem Druck in einer Höhe von bis zu 10.000 Metern gut und zuverlässig arbeiten können. Das hat uns das Selbstvertrauen gegeben, ein leistungsstärkeres Antriebssystem zu konzipieren“, beschreibt Prof. Josef Kallo, Leiter des Projekts HY4 am DLR-Institut für Technische Thermodynamik und Professor an der Universität Ulm, die Ausgangslage.

Die Firma Pipistrel stand als Partner sehr schnell fest, der slowenische Flugzeughersteller setzt schon seit Jahren auf innovative umweltfreundliche Antriebe und hat bereits 2011 mit dem elektrisch angetriebenen Modell Taurus G4 die NASA Green Flight Challenge gewonnen. „Seit 25 Jahren bin ich überzeugt davon, dass ein vollkommen emissionsfreier Luftverkehr möglich ist“, sagt Ivo Boscarol, Geschäftsführer von Pipistrel. Er musste von der Idee für ein Brennstoffzellen-Hybrid-Flugzeug nicht lange überzeugt werden. Die Wahl fiel auch in diesem Projekt auf das Technologieerprobungs- und Wettbewerbsflugzeug Pipistrel Taurus G4. Das Flugzeug hat ein ungewöhnliches Design mit zwei Passagiergondeln, die über einen fünf Meter langen Holm verbunden sind. Die aerodynamisch verkleidete Motorgondel befindet sich in der Mitte der Zentral-Tragfläche. Trotz seines geringen Ausgangsgewichts bietet das Flugzeug Platz für vier Passagiere.

Nach den Erfahrungen mit dem Brennstoffzellen-Flugzeug DLR-H2 stand für die Wissenschaftler fest, dass sie weiter auf dieses Antriebskonzept setzen wollten. „Ich bin begeistert von den Möglichkeiten, die uns die Brennstoffzelle bietet. Ein Brennstoffzellenantrieb lässt sich relativ einfach erweitern, indem mehrere Module hintereinander geschaltet werden. Bei unseren Labortests haben wir dieses Baukastenprinzip voll ausgenutzt“, erzählt Kallo. Bei der Konzeption des Brennstoffzellen-Antriebs war für die Wissenschaftler auch die enge Zusammenarbeit mit dem Brennstoffzellenhersteller Hydrogenics wichtig. „Die Firma hat uns einen tiefen Blick in den Aufbau ihrer Brennstoffzelle gewährt und nahm gemeinsam mit uns die notwendigen Anpassungen für die Luftfahrtanwendung vor“, berichtet der DLR-Wissenschaftler. Mit diesem Know-how konnten die Ingenieure den Antrieb der HY4 direkt mit einem Batterieantrieb koppeln. So kann das Flugzeug beim Start oder während der Steigungsphasen Energie von der Batterie abrufen, der Reiseflug ist dann Sache des effizienteren und wesentlich leichteren Brennstoffzellenantriebs. Ein weiterer Vorteil: Das Flugzeug hat damit zwei redundante Antriebssysteme, beim Ausfall eines Systems kann der Pilot mit dem anderen sicher landen.





Die HY4 hat zwei Rümpfe, die über den Flügel fest miteinander verbunden sind. In jedem Rumpf haben zwei Passagiere Platz.



DLR-Testpilot Johannes Anton: „Wenn wir wieder mit einem konventionellen Triebwerk unterwegs sind, wird es uns vorkommen, als ob wir mit einer Dampfmaschine fliegen.“



Der Antrieb: Wasserstoff wird in einer Brennstoffzelle in Strom umgewandelt. Der Elektromotor der HY4 hat eine Leistung von 80 Kilowatt.



Der offizielle Premierenflug des Brennstoffzellen-Batterie-Flugzeugs am Stuttgarter Flughafen fand großes Medieninteresse



Die HY4 ist nicht nur wegen ihres äußerlichen Erscheinungsbildes ein imposantes Fluggerät, die am Projekt Beteiligten sehen in ihr die Zukunft des Fliegens



Freude über den perfekten Premierenflug: Er war erfolgreich, weil sämtliche Partner sich über alle Maßen engagiert haben.

**Februar 2016: Maintenance Manual**

Nach den Labortests ging es für die Forscher erst noch einmal am Schreibtisch weiter: Der Einbau des Antriebs im Flugzeug musste bis ins letzte Detail genau geplant werden: Wo werden die Wasserstofftanks und Spannungswandler eingebaut? Wo werden die Kabel für die Elektronik verlegt? Wie muss das System ausgelegt sein, damit es allen vorgeschriebenen Sicherheitsstandards genügt? In der Luftfahrt muss ein neues System exakt in einem Wartungshandbuch, dem sogenannten Maintenance Manual, dokumentiert werden. „Die Mitarbeiter von H2Fly haben das Maintenance Manual mit Hochdruck ausgearbeitet und damit eine wichtige Hürde für die Zulassung bei der Luftfahrtbehörde genommen“, erinnert sich Kallo.

**April 2016: Der Teufel steckt im Detail**

So vorbereitet, begann ein Team von Technikern ab April 2016 in Ajdovščina, dem Firmensitz von Pipistrel in Slowenien, mit der Integration des Antriebs in den Taurus G4. Damit war die erste Phase der Verwandlung von der G4 zur HY4 eingeläutet. Die Ingenieure stellten fest: Auch bei einem detailliert ausgearbeiteten Maintenance Manual liegen die größten Herausforderungen in vertrackten Details: „Zum Beispiel hat uns ein zu heißer Sensor wirklich Kopfzerbrechen bereitet. Wir mussten entscheiden, ob und wie man ihn kühlen kann und ob wir uns am Ende auf ihn verlassen können“, beschreibt Kallo. Erfreulicherweise gab es aber nicht nur Probleme. So klappte die Logistik erstaunlich reibungslos, unter anderem beim Aufbau der Wasserstofftankanlage, die von der Firma Linde aus Deutschland innerhalb eines halben Tages in Ajdovščina aufgebaut wurde.

**Anfang August 2016: Betriebsferien der Feuerwehr**

Die Arbeiten liefen unter Hochdruck, es waren nur noch wenige Wochen bis zum 29. September, an dem der offizielle Erstflug stattfinden sollte. Doch Anfang August musste das Team eine zweiwöchige Zwangspause einlegen: Die Werksfeuerwehr am zweiten Test-Standort Cerklje hatte Betriebsferien und aus Sicherheitsgründen mussten sämtliche Arbeiten verschoben werden. „Mitten in der Arbeit einen Gang zurückzuschalten, fiel uns zunächst sehr schwer. Im Nachhinein hat uns diese Entschleunigung vielleicht sogar vor einem ‚Lagerkoller‘ bewahrt. Mit etwas Abstand konnten wir tatsächlich einige Probleme besser lösen.“

**Mitte September 2016: Testflüge auf dem Militärflughafen Cerklje**

Nach ersten Betriebstests in Ajdovščina verlegte das Team die HY4 auf den Militärflughafen Cerklje im Süden Sloweniens. Dort absolvierte das Flugzeug nach weiteren Leistungschecks des Antriebssystems die ersten Rolltests. Am 16. September 2016 hob die HY4 zu ihrem ersten technischen Erprobungsflug ab – ohne Probleme. „Normalerweise gibt es bei den ersten Testflügen mit neuen Systemen immer ein paar Ausfälle oder einzelne Komponenten funktionieren nicht so wie geplant“, sagt DLR-Testpilot Johannes Anton, der gemeinsam mit Sašo Knez von Pipistrel alle Testflüge absolvierte. „Bei der HY4 haben sich die vielen Labortests im Vorfeld dann doch bezahlt gemacht.“ Aber noch war das Team nicht am Ziel. Die Zulassung für ein Experimentalflugzeug für einen Start auf einem Passagierflughafen erteilt der slowenische Ableger der European Aviation Safety Agency, kurz EASA, erst, nachdem ein Flugzeug mit einem neuen Antriebssystem

seine Praxistauglichkeit unter Beweis gestellt hat. In diesem Fall waren zehn Flugstunden und über 30 Starts zu absolvieren. Die HY4 schaffte das problemlos. Das war noch einmal eine intensive Testphase für das Team. Am 26. September 2016 konnten die Ingenieure das Flugzeug schließlich auf einen Anhänger laden und mit der Zulassung in der Tasche nach Stuttgart legen.

**29. September 2016: offizieller Erstflug in Stuttgart**

Strahlend blauer Septemberhimmel über dem Flughafen Stuttgart. Unter dem Getöse startender Passagiermaschinen wird das Projekt HY4 vorgestellt. Wenige Minuten später hebt das Flugzeug vor 200 geladenen Gästen und 30 Journalistenteams fast geräuschlos zu einer Platzrunde ab. „Das fühlt sich ein wenig an wie die Zukunft des Fliegens“, beschreibt DLR-Testpilot Johannes Anton seine Erfahrungen mit der HY4. „Wenn wir später wieder mit einem konventionellen Triebwerk unterwegs sind, wird es uns vorkommen, als ob wir mit einer Dampfmaschine fliegen.“

**Die Zukunft: Electric Air Taxis**

Nach dem erfolgreich absolvierten Erstflug geht die Arbeit weiter: Flugzeug und Antriebssystem sollen in den kommenden Monaten gründlich getestet werden. Ziel der Arbeit ist es nun, den neuartigen Flugzeugantrieb besser und vor allem alltagstauglich zu machen. Die Ergebnisse der Tests werden in weitere DLR-Projekte zum Thema „Elektrisches Fliegen“ einfließen, unter anderem in die Konzeption eines Regionalflugzeugs mit bis zu 19 Passagieren. Zudem arbeitet das DLR auch innerhalb einer Helmholtz-Allianz mit 20 Universitäten, der Airbus Group sowie Siemens daran, die Elektromobilität in die Luft zu bringen.

„Große Passagierflugzeuge werden auf absehbare Zeit noch mit konventionellen Antrieben fliegen“, sagt Prof. André Thess, Leiter des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik, vorausschauend. „Es gehört jedoch zu den großen Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte, den Luftverkehr kohlendioxidneutral zu machen.“ Kleine Passagierflugzeuge können, so der Wissenschaftler, sehr bald im Regionalverkehr als Electric Air Taxis eingesetzt werden und kleinere Regionalflughäfen miteinander verbinden. Brennstoffzellen-Flugzeuge wie die HY4 könnten dann eine flexible, umweltfreundliche und schnelle Alternative zu bestehenden Transportmitteln bieten.

**HY4 Technische Daten**

|                                                  |                           |
|--------------------------------------------------|---------------------------|
| Spannweite                                       | 21,36 m                   |
| Länge                                            | 7,4 m                     |
| Leergewicht (exkl. Brennstoffzelle und Batterie) | circa 630 kg              |
| Maximalgewicht                                   | 1.500 kg                  |
| Gewicht des Antriebs mit Treibstoffspeicher      | circa 400 kg              |
| Motorleistung                                    | 80 kW                     |
| Dauerleistung Brennstoffzellen/Batterie          | 45 kW/45kW (90 kW gesamt) |
| Batteriekapazität                                | circa 21 kWh              |
| Höchstgeschwindigkeit                            | circa 200 km/h            |
| Reisefluggeschwindigkeit                         | 165 km/h                  |
| Antriebsleistung im Reiseflug                    | 26 kW                     |
| Reichweite                                       | 750 bis 1.500 km          |





# HIGHTECH-SPÜRHUND MIT LASERNASE



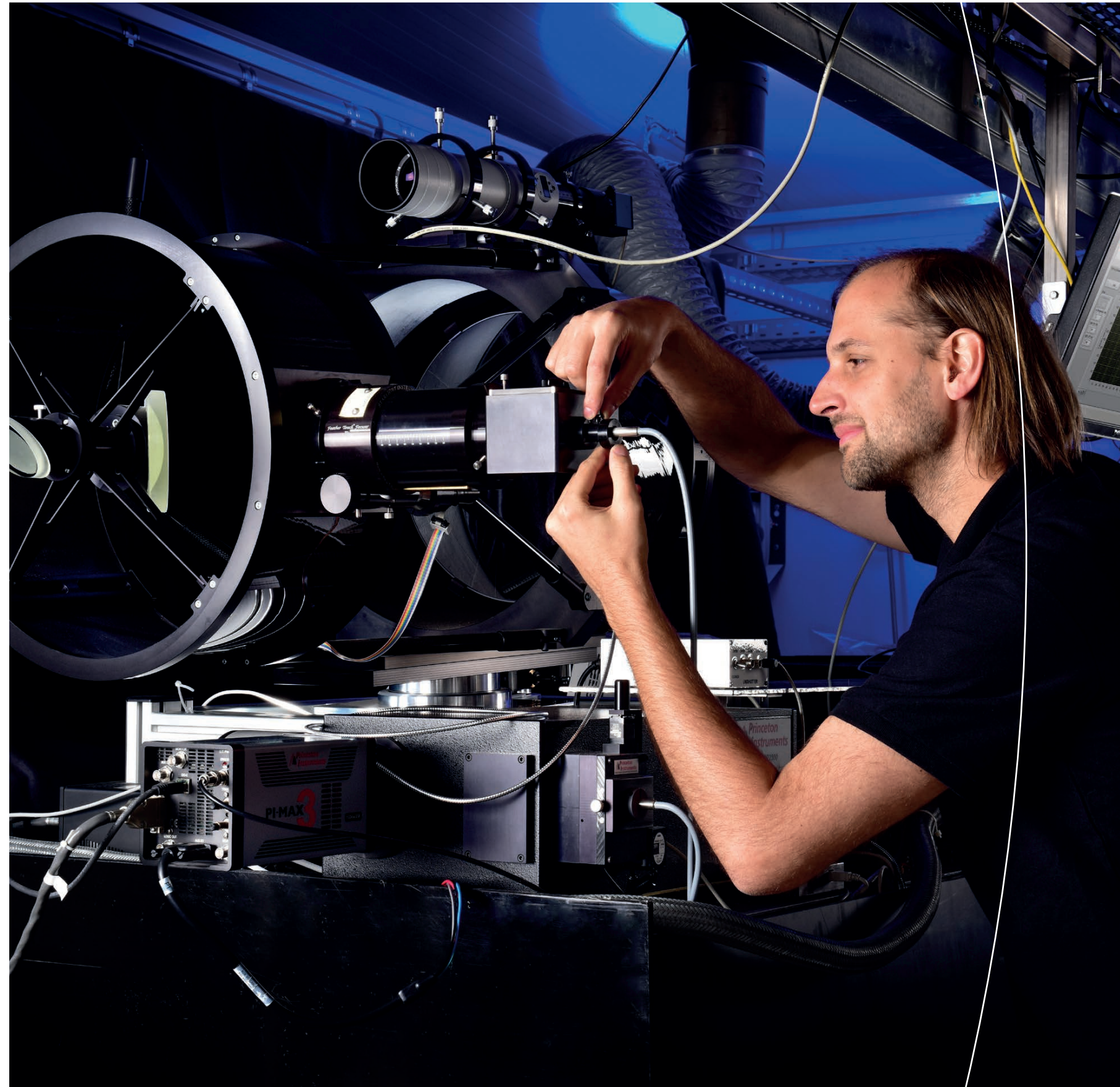
Konzept für den Nachweis von Gefahrstoffen hat seine Praxistauglichkeit bewiesen

Von Denise Nüssle

Ob Industrieunfall, Naturkatastrophe oder Anschlag – chemische, biologische und explosive Stoffe können unbeabsichtigt oder beabsichtigt freigesetzt werden. In beiden Fällen kann die Gefahr für Bevölkerung und Einsatzkräfte schnell sehr groß werden. Sicherheitskräfte und Helfer sind darauf angewiesen, rasch und zuverlässig zu wissen, mit welchen Substanzen sie es zu tun haben. Nur so können sie entsprechend reagieren und geeignete Schutz- und Hilfsmaßnahmen einleiten. Ein Team aus sechs Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des DLR-Instituts für Technische Physik arbeitet deshalb an einem neuen Verfahren, das Gefahrstoffe mit Hilfe von Laserstrahlung aus sicherer Entfernung erkennt. Die interdisziplinär aufgestellte Gruppe aus Laserphysikern, Biologen, Chemikern und Ingenieuren betritt damit Neuland: Ein solches Verfahren existiert noch nicht, wäre aber für Sicherheitskräfte wie Polizei und Militär oder den Katastrophenschutz von großem Nutzen.

Lampoldshausen. Am DLR-Standort im Norden Baden-Württembergs werden auf einem rund 50 Hektar großen Gelände seit mehr als fünfzig Jahren Triebwerke für die europäischen Trägersraketen erprobt und auf Herz und Nieren geprüft. Auch eine Abteilung des Stuttgarter Instituts für Technische Physik hat hier ihr Domizil und nutzt den im Harthäuser Wald zur Verfügung stehenden Platz: Auf einer rund 130 Meter langen sogenannten Freistrahlstrecke testen die Forscher den Einsatz unterschiedlicher Laser über große Entfernungen. Denn wie ein Laserstrahl wirkt und sich ausbreitet, das lässt sich nur unter realen Umweltbedingungen aussagekräftig beantworten. Zum Beispiel können Luftturbulenzen die Strahlqualität verschlechtern. Ähnliches gilt für kleine Partikel in der Luft, wie Pollen, Ruß oder Staub. Diesen Einflüssen geht die Abteilung Atmosphärische Propagation und Wirkung unter der Leitung von Dr. Frank Duschek mit hochsensibler Messtechnik nach.

Seit dem Aufbau der Laserfreistrahlstrecke vor acht Jahren beschäftigt sich die Abteilung auch mit der Möglichkeit, Gefahrstoffe mit Hilfe eines Lasers aus der Ferne nachzuweisen – in Fachkreisen als Stand-off-Detektion bezeichnet. „In der wissenschaftlichen Community ist das Thema zu Beginn der Zweitausenderjahre aufgekommen. Im Hintergrund standen dabei zwei Entwicklungen: Einerseits die geänderte Sicherheitslage nach den Anschlägen vom 11. September 2001, andererseits technologische Entwicklungen im Laserbereich hinsichtlich Leistung und Wellenlängen, die laserbasierte Verfahren zur Ferndetektion möglich machten“, fasst Abteilungsleiter Frank Duschek zusammen.



Letzter Check vor den Messungen: Dr. Florian Gebert justiert das Teleskop des Detektionssystems.



Etwa 60 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Technische Physik im DLR Stuttgart und Lampoldshausen erforschen und entwickeln Lasersysteme für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt sowie für die Bereiche Sicherheit und Verteidigung. Das Institut arbeitet interdisziplinär an den Schwerpunktthemen Detektion und Beseitigung von Weltraumschrott, Laser-Ferndetektion von Schad- und Gefahrstoffen, laserbasierte Sensoren für die Luftfahrt, Laserantriebe für die Satellitennavigation sowie Hochleistungslaser. Als eines der ältesten DLR-Institute ist es bereits seit dem Jahr 1977 in Stuttgart vertreten und begleitet die Entwicklung von Lasern seit den ersten Stunden dieser Technologie.



Platzierung der Proben für die nächste Versuchsreihe, im Hintergrund das Detektionssystem STABIL

## Technologieentwicklung von Grund auf

Um ein mögliches Gefahrenszenario richtig einzuordnen, muss ein Detektionsverfahren folgende Aussagen schnell, zuverlässig und präzise liefern: Ist ein Gefahrstoff vorhanden? Handelt es sich um eine chemische, biologische oder explosive Substanz? (Klassifizierung). Um welche? (Identifizierung). Und: In welcher Menge und Entfernung liegt diese Substanz vor? (Quantifizierung).

Ist der menschliche Organismus chemischen Gefahrstoffen direkt ausgesetzt, können diese sehr schnell schädlich für ihn sein. Sie sind aber nicht infektiös und wirken sich nur auf Personen aus, die ihnen direkt ausgesetzt sind. Erkrankungen, die durch biologische Substanzen verursacht werden, haben dagegen oft eine längere Inkubationszeit, sind infektiös und können sich unkontrolliert verbreiten. Das macht das Krisenmanagement wesentlich schwieriger. Auch der Nachweis von biologischen Substanzen gestaltet sich anspruchsvoller, als das bei chemischen oder explosiven Stoffen der Fall ist: Von Bakterien kann es unzählige Stämme geben. Wichtig sind außerdem das Stadium, sprich das Alter der Zellen, sowie das Medium, in dem sie vorliegen. Insgesamt also eine harte Nuss, welche die DLR-Forscher zu knacken haben.

Erste Schritte machte das Team bei der Ferndetektion von chemischen Gefahrstoffen. „Gerade der Bereich der Explosivstoffe, wie Schwarzpulver oder TNT, also der Sprengstoff Trinitrotoluol, war von großem Interesse“, erinnert sich Frank Duschek, von Haus aus Chemiker.

„Gleichzeitig bot sich für uns der Ansatz an, zunächst mit chemischen Stoffen zu arbeiten, auch unter wissenschaftlichem Aspekt: Wir standen vor der Herausforderung, von Grund auf neue Technologien und Systeme zu entwickeln. Unter dieser Voraussetzung sind chemische Substanzen leichter zu handhaben als biologische Proben, wie beispielsweise komplexe Bakterien, die leben und sich weiterentwickeln und vermehren können.“

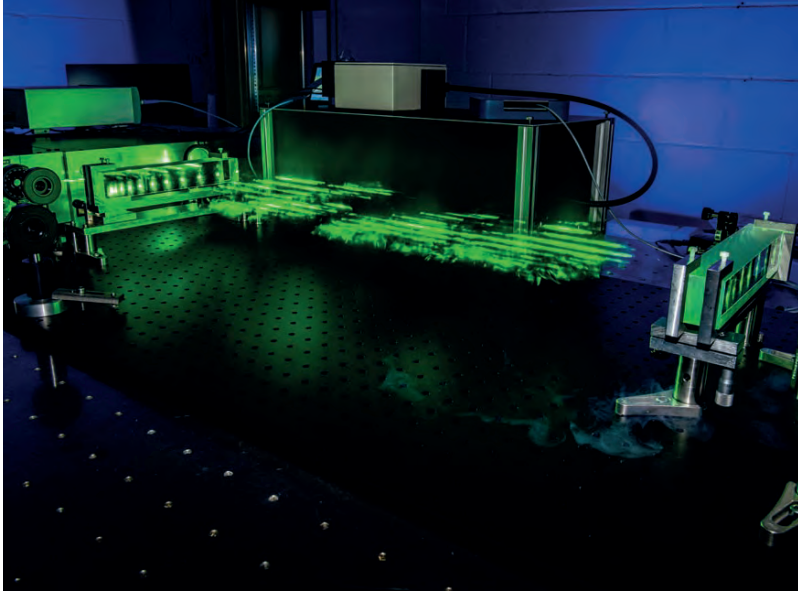
Sehr grob vereinfacht lässt sich das Prinzip hinter dem Detektionsverfahren wie folgt beschreiben: Ein speziell für diese Anwendung entwickeltes Lasersystem sendet einen Laserstrahl über ein Teleskop aus. Physikalisch gesehen kann Laserstrahlung in einem Spektralbereich von Mikrowellen über Infrarot und sichtbares Licht bis hin zu Röntgenstrahlung erzeugt werden. Der Laserstrahl trifft auf das Untersuchungsobjekt und löst dort eine Anregung, also einen physikalischen Effekt aus. Die Probe kann beispielsweise anfangen zu fluoreszieren, sprich das Laserlicht absorbieren und selbst strahlen, oder dieses Licht auf bestimmte Weise streuen. Das Licht wird dann mit Hilfe des Teleskops beobachtet und im angeschlossenen Spektrometer analysiert. So sind Rückschlüsse möglich, um welche Substanz beziehungsweise Substanzklasse es sich handelt und in welcher Menge diese vorliegt. „Für chemische und explosive Stoffe haben wir zunächst mit laser-induzierter Plasmaspektroskopie (laser-induced breakdown spectroscopy, LIBS, d. Red.) gearbeitet, einer Methode, mit deren Hilfe man die chemische Zusammensetzung einer Probe bestimmen kann und die heute relativ weit verbreitet ist“, erklärt DLR-Forscher Duschek. Dazu wird der Laserstahl auf die Probe fokussiert. An der Oberfläche der Probe wird ein sehr kleines Stück verdampft und ein Plasma entsteht. Dieses ionisierte Gas sendet Licht aus, dessen Spektrum charakteristisch für die enthaltenen Elemente ist.

Der Nachteil der Methode ist, dass man relativ hohe Energiedichten am Probenort braucht, also einen gepulsten Laser mit hoher Energie. Dieser ist dann aber nicht mehr augensicher. Für ein flexibles Detektionssystem, das auch Nicht-Wissenschaftler im Ernstfall schnell und sicher anwenden können, ist dieses Verfahren also nicht geeignet. Als alternatives Verfahren für die Detektion von chemischen und explosiven Gefahrstoffen nutzen die DLR-Forscher deshalb die sogenannte Raman-Spektroskopie. Mit dieser Methode, die nach dem indischen Physiker Chandrasekhara Venkata Raman benannt ist und die gleichnamige Streuung auswertet, kommen die Wissenschaftler zu sehr genauen Aussagen.

„Das Entwickeln und Testen unterschiedlicher Spektroskopie-Verfahren ist eine wichtige und gleichzeitig sehr zeitintensive Vorarbeit“, schildert DLR-Forscher Frank Duschek. Im Bereich der biologischen Gefahrstoffe arbeitet sein Team derzeit an der Nutzung der LIF-Technologie, also der laserinduzierten Fluoreszenz. Die Wissenschaftler vergleichen dabei Fluoreszenzspektren und Fluoreszenzdauer unterschiedlicher Substanzen. Für diese Methode benötigt man Laser mit ausreichender Energie und geeigneter Wellenlänge im Ultraviolett-Bereich, die noch nicht allzu lange zur Verfügung stehen, um sie auch auf der für die Ferndetektion benötigten Distanz einsetzen zu können. „Die LIF-Technologie eignet sich besonders gut, weil man den Laserstrahl nicht speziell fokussieren muss, die Probe also relativ großflächig bestrahlen kann. Außerdem fluoreszieren biologische Substanzen im UV-Bereich gut und liefern so ein zuverlässiges Signal“, fasst Duschek die Vorteile der Methode zusammen.

## Demonstrationssystem STABIL

Im Sommer 2016 hat das Team einen wichtigen Meilenstein erreicht: Sie haben ein erstes Detektionssystem namens STABIL (Stand-off Alarm Bio LIF) entwickelt und erfolgreich getestet. Damit ist die Machbarkeit ihres Ansatzes bewiesen. Auf der Freistrahlstrecke haben sie dazu aus einer Entfernung von mehr als zwanzig Metern unterschiedliche bioorganische Stoffe erfolgreich klassifiziert. Dabei handelt es sich um nichtlebende Substanzen, die aber Bausteine lebender Mikroorganismen wie zum Beispiel Bakterien sind, und so einen Rückschluss auf diese ermöglichen. Für das Experiment teilten die DLR-Wissenschaftler insgesamt zweihundert Proben in vier Klassen ein: Bakterien/Pilze, Pflanzen-



Im Labor arbeitet das Team um Frank Duschek bereits am Lasersystem für die nächste Entwicklungsstufe

material, Chemikalien sowie Öle. Eine zufällig ausgewählte Probe wurde vom Detektionssystem per Fernsteuerung untersucht. Innerhalb von weniger als fünf Sekunden lag das Messergebnis vor, also die Aussage, zu welcher der vier Klassen die Probe gehört.

„Mit diesen Versuchen haben wir gezeigt, dass unser Konzept funktioniert –, also den Proof-of-Concept geliefert, wie wir sagen“, bilanziert Frank Duschek. „Der Ansatz eignet sich damit prinzipiell für die Detektion biologischer Gefahrstoffe. Als ‚Frühwarnsystem‘ liefern wir sekundenschnell, zuverlässig und aus sicherer Entfernung erste und im Ernstfall dringend benötigte Informationen. Wir können nun sagen: Da ist definitiv etwas, was da nicht hingehört, und gleichzeitig schon erste Hinweise geben, um welche Substanzklasse es sich höchstwahrscheinlich handelt.“

## Optimale Ergänzung klassischer Nachweisverfahren

Dieses Frühwarnsystem der DLR-Wissenschaftler lässt sich optimal mit traditionellen Detektionsverfahren koppeln und kann das Krisenmanagement in Zukunft wesentlich effizienter machen. Beim Verdacht, dass biologische Gefahrstoffe freigesetzt worden sind, müssen bisher zunächst vor Ort Proben gesammelt werden. „Das Schwierige dabei ist, dass man nicht weiß, womit man es zu tun hat und wo genau die Proben am besten entnommen werden sollen – ob beispielsweise eine Oberfläche oder die Luft kontaminiert ist“, schildert DLR-Biologin Dr. Lea Fellner das Problem. Bisher müssen im Labor mit den gesammelten Proben Kulturen angelegt werden. Dann heißt es, bis zu 36 Stunden warten, bis die Substanz identifiziert werden kann.

Die laserbasierte Ferndetektion ermöglicht eine deutlich schnellere Reaktion: Sie liefert vorab wichtige Informationen, mit deren Hilfe die Schutzausrüstung der Sicherheitskräfte entsprechend angepasst und der Suchradius bei der Probenentnahme eingegrenzt werden kann. Anhand der bereits erfolgten Klassifizierung ist außerdem eine schnellere Analyse des potenziellen Gefahrstoffs möglich.

## Ziel ist ein mobiles Detektionssystem

Duscheks Team will noch in diesem Jahr ein portables System bauen, das auf eine Tischplatte passt. Aktuell ist der Demonstrator noch überdimensioniert, damit man sicher sein kann, ein Maximum an Informationen zu erhalten. Schritt für Schritt werden sich die Forscher weiter vorarbeiten: Es gilt, die Konzentration der Proben zu reduzieren, das System noch sensitiver und schneller zu machen und das Teleskop vollautomatisiert zu steuern, um so systematisch einen breiteren Bereich scannen zu können. Bei der Laserentwicklung steht die Frage im Vordergrund, welche Wellenlängen besonders geeignet sind für die Detektion der unterschiedlichen biologischen Stoffe. Auch die Klassifizierungsmöglichkeiten wollen die Forscher weiter voranbringen und zwischen einzelnen Bakterienstämmen sowie zwi-



DLR-Biologin Dr. Lea Fellner mit einer Probe für die nächsten Versuchsreihen

schen lebendem und inaktivem Material unterscheiden. Für diesen Zweck bauen sie ein Labor der Sicherheitsstufe 2 für biologische Substanzen auf, in dem die Bakterienproben für Tests gezüchtet, vorbereitet und dann abgetötet werden können. „Nach und nach füttern wir unsere Datenbank mit Informationen, um so immer mehr Substanzen besser zu bestimmen“, fasst Dr.-Ing. Karin Grünewald, Wissenschaftlerin am Institut, zusammen.

„Im Idealfall haben unsere Detektionssysteme am Ende die Größe eines kleinen Rollkoffers, was zum Beispiel den mobilen Einsatz oder ein hubschrauberbasiertes System ermöglicht“, sagt Frank Duschek für die Zukunft voraus. Bis die Technologie für solch eine mobile Anwendung zur Verfügung steht, vergehen seiner Meinung nach einige Jahre Forschungsarbeit – natürlich immer abhängig von der Finanzierung und dem Interesse von Unternehmen und Sicherheitsbehörden.

## BIOLOGISCHE RISIKOGRUPPEN

### Risikogruppe 1

Hervorrufen einer Krankheit unwahrscheinlich  
*Biologische Arbeitsstoffe aus Lebensmittelindustrie wie Bakterien zur Joghurtherstellung und weitere Milchsäurebakterien*

### Risikogruppe 2

Krankheit kann hervorgerufen werden, Gefahr besteht, Verbreitung unwahrscheinlich, wirksame Vorbeugung oder Behandlung normalerweise möglich  
*Bakterien wie Staphylokokken, Streptokokken und Salmonellen oder Viren wie Herpes, Masern, Mumps*

### Risikogruppe 3

Schwere Krankheiten treten auf, Verbreitungsgefahr besteht, eine wirksame Vorbeugung oder Behandlung ist möglich  
*Anthrax-, Koli- oder Pestbakterien sowie Dengue-, Gelbfieber-, Hanta- oder Hepatitis-C-Viren*

### Risikogruppe 4

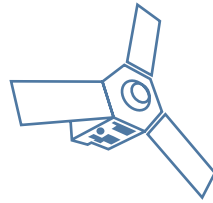
Schwere Krankheiten beim Menschen werden hervorgerufen, Gefahr der Verbreitung groß, wirksame Vorbeugung oder Behandlung nicht möglich  
*Ausschließlich Viren: Erreger von hämorrhagischem Fieber wie Ebola- oder Lassa-Fieber*

(Quelle: Biostoffverordnung für biologische Arbeitsstoffe)

Für ihre Forschungsarbeiten untersuchen die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Technische Physik Vertreter der Risikogruppen 1 und 2 in geeigneten Laboren.



# BERGRIESEN HAUTNAH



## m4 Mountains – Die vierte Dimension

### 13 Charakterberge neu gesehen

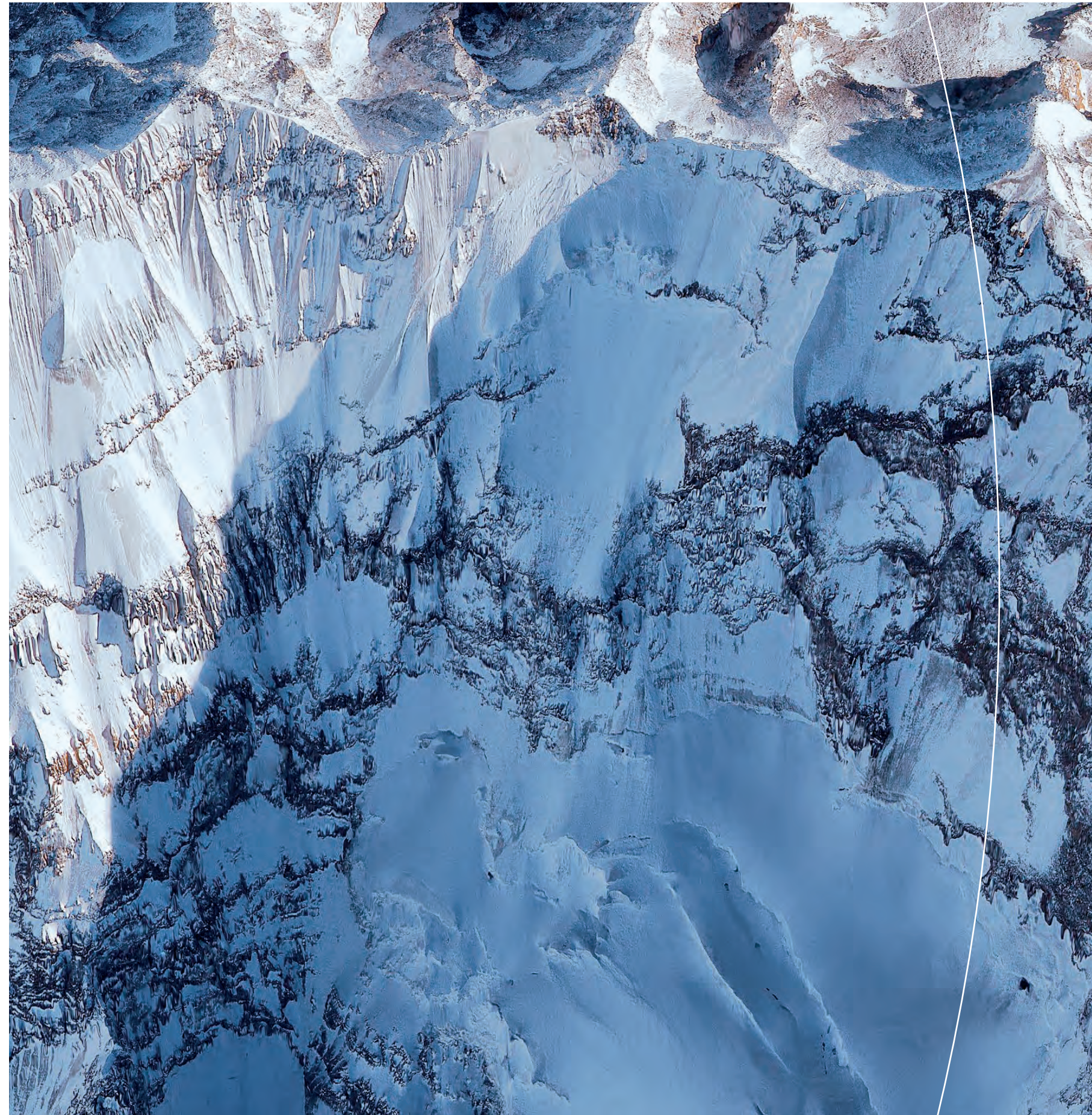
Von Nils Sparwasser

Lautilus gleitet der Satellit durch den Weltraum. Wüsten und Gebirgsketten, ganze Kontinente und Ozeane ziehen in rascher Folge unter ihm hinweg. Soeben noch über dem Eisschild des Nordpols, nähert er sich nur wenige Minuten später dem Karakorum. Als schmales, weißes Band leuchtet das Gebirge mit seinen Bergriesen in der ansonsten ockerfarbenen Landschaft. Am Boden herrschen ideale Wetterbedingungen. Die Wolken der letzten Tage haben sich endlich verzogen.

Der perfekte Tag für den Masherbrum. Er ist der letzte von dreizehn Bergen. Dreizehn Berge, die unter geografischen, morphologischen, geologischen und klimatischen Gründen herausragend sind. Bergriesen, die den Menschen, die hinauf wollen, alles abverlangen. Auch das Earth Observation Center des DLR haben sie auf die Probe gestellt. Über Monate hinweg haben die Pléiades-Satelliten für das DLR Berge auf der ganzen Welt aufgenommen. Das Ziel: hochauflösende Geländemodelle in einer bislang unerreichten Qualität. Die Technik hierfür wurde am DLR entwickelt. Am Computer entstanden aus diesen Daten schließlich fotorealistische Ansichten aus zuvor undenkbaren Perspektiven. Im nun vom DLR herausgegebenen Buch „Mountains – Die vierte Dimension“ sind diese vereint und machen ein hautnahes Erleben der Berge möglich.

Einzig der Masherbrum entzog sich bis zuletzt dem Blick aus dem All. Obwohl die beiden von Airbus entwickelten Satelliten jeden Punkt auf der Erdoberfläche täglich anvisieren können, war ihnen noch keine Aufnahme des Siebentausenders gelungen. Zu speziell waren die Anforderungen des Earth Observation Center des DLR in Oberpfaffenhofen. Die Wissenschaftler benötigten ganz bestimmte Aufnahmewinkel. Nur so können extrem detailreiche Geländemodelle berechnet werden. Doch wann immer die Laufbahn der französischen Satelliten den richtigen Blickwinkel erlaubt hatte, verhüllten Wolken den Gipfel des Masherbrum. Wolken, aber auch überstrahlte Schneeflächen oder tiefschwarze Schatten führen unweigerlich zu Fehlern im späteren Geländemodell. Sie bieten keinerlei Strukturen, anhand derer Passpunkte gewonnen werden könnten. Aus diesem Grund waren im Vorfeld über Wochen hinweg mit Kollegen von der französischen Raumfahrtagentur CNES und Airbus die benötigten Belichtungseinstellungen und Betrachtungswinkel abgestimmt und immer wieder optimiert worden. Anhand dieser Parameter wird der Satellit schließlich auf das Ziel programmiert.

Während am Fuß des Masherbrum die Sonne die Temperaturen in den Tälern langsam steigen lässt, herrschen fast 700 Kilometer höher permanent raue Bedingungen. Vakuum und über 300 Grad Celsius Temperaturdifferenz müssen die Instrumente ertragen können. Kurz bevor der Masherbrum in Reichweite des Teleskops gelangt, geht der Satellit in Aufnahmeposition. Während er über das Massiv hinwegfliegt, behält er immerzu den Gipfel im Blick. Nur wenige Satelliten, wie die französischen Pléiades oder die amerikanischen WorldViews, bieten diese Agilität. Diese Beweglichkeit erlaubt es, die Kamera im Überflug rasch nachzuführen. So nimmt der Satellit den Masherbrum dreimal auf: in Flugrichtung, von oben und gegen die Flugrichtung.



Die Steilwand des Aconcagua, des mit 6.962 Metern höchsten Berges des amerikanischen Doppelkontinents. Die Region unterhalb des Nordgipfels wurde mit einem virtuellen 500-mm-Teleobjektiv aus 21.849 Meter Entfernung aufgenommen. Hierdurch führt die bislang schwerste Aufstiegsroute.





Virtueller Blick entlang der steil abfallenden Westflanke des zweithöchsten indischen Berges, der Nanda Devi, auf die Nordwestseite. Am Fuß der „Göttin der Freude“ verläuft der Rishi Ganga. Der Fluss strömt in überwiegend westlicher Richtung durch das Hochgebirge und bildete früher den einzigen Zugang zur Nanda Devi und deren Nachbargipfeln.



Die Graustufenwerte werden im virtuellen 3D-Raum in Höheninformationen umgesetzt. Ein dreidimensionales Abbild der Landschaft entsteht.

Hier können Lichter gesetzt, Schatten erzeugt sowie Farbe und Textur der Oberflächen gewählt werden.

Für fotorealistische Ansichten wird ein Satellitenbild als Textur genutzt und wie eine Decke über das Geländemodell gespannt. Auch atmosphärische Effekte, wie beispielsweise Nebel oder Dunst, können nachträglich noch im 3D-Raum hinzugefügt werden.





Blick auf die Diamir-Flanke des Nanga Parbat, links der Nordgipfel, in der Mitte der Hauptgipfel

Wenige Tage später am DLR in Oberpfaffenhofen. Hier werden aus den Bildern Höhenmodelle. Ein am DLR entwickelter Algorithmus sollte Robotern die Orientierung im Raum ermöglichen. Heute erkennt er Hindernisse im Fahrweg deutscher Oberklassewagen und wurde am Earth Observation Center weiterentwickelt, um hochauflösende Geländemodelle aus Bild-Triplets zu berechnen. Das Semi-Global-Matching genannte Verfahren sucht für jeden Bildpunkt korrespondierende Punkte in den Begleitaufnahmen. Über die Winkelunterschiede zwischen den Szenen lässt sich dann, ähnlich wie beim menschlichen Stereosehen, der dreidimensionale Raum rekonstruieren. So können erstmals von jedem Ort der Erde detaillierte Höhenmodelle erzeugt werden, die auch feinste Strukturen und Details wiedergeben – bei den hier verwendeten Satellitendaten mit einer Bodenauflösung von circa zwei Metern. Die Messwerte der digitalen Geländeabbildungen werden in Grauwerten kodiert. Es resultieren Schwarz-Weiß-Bilder, in denen sich Hochlagen als helle Flächen von den dunklen Niederungen abheben.

Aus diesen Messdaten werden an den DLR-Rechnern dreidimensionale Darstellungen. Grauwerte werden in Höhenstufen übersetzt und ein räumliches Modell des Originalbergs entsteht. Noch ist dieses unbeleuchtet. Erst durch das Setzen von Lichtquellen modellieren Licht und Schatten das Relief und machen es für den Menschen erkennbar. Die Position der Lichter können von den Wissenschaftlern frei im virtuellen Raum gewählt werden. So lässt sich jede Tages- und Jahreszeit simulieren.

Seinen Fotorealismus erhält der Berg indessen erst durch das Satellitenbild. Wie eine Decke wird dieses punktgenau über das 3D-Modell gezogen. An sehr steilen Wänden werden mitunter räumlich nah beieinander liegende Punkte weit in die Tiefe gestreckt. Oft sind dies die einzigen Stellen, an denen der Betrachter erkennt, dass es sich nicht um ein Foto, sondern um ein – am Computer entstandenes – Abbild der Realität handeln muss. In dieser virtuellen Welt kann der Betrachter – beziehungsweise die virtuelle Kamera – jeden beliebigen Ort einnehmen. Ob aus mehreren hundert Kilometer Höhe oder aus nächster Nähe. Selbst störende Nebengipfel können ausgeblendet werden und ermöglichen zuvor undenkbare Perspektiven. Sogar Wettereffekte lassen sich in dieser Parallelwelt erzeugen.

Doch bei aller Schönheit der Aufnahmen sollte der Fotorealismus nicht darüber hinwegtäuschen, dass es sich bei den zugrunde liegenden Daten um hochgenaue Messwerte handelt. Daten, die aus 700 Kilometer Höhe aufgezeichnet wurden und eine Vorstellung der enormen Leistungsfähigkeit der Erdbeobachtung vermitteln. So kartiert lassen sich dreizehn der weltweit prominentesten Berge erstmals virtuell von allen Seiten erkunden. Der Masherbrum mit seiner noch nie durchstiegenen Nordwand durfte bei dieser exklusiven Runde nicht fehlen. Er ist seinem Ruf gerecht geworden und hat es den DLR-Wissenschaftlern bis zum Schluss besonders schwer gemacht.

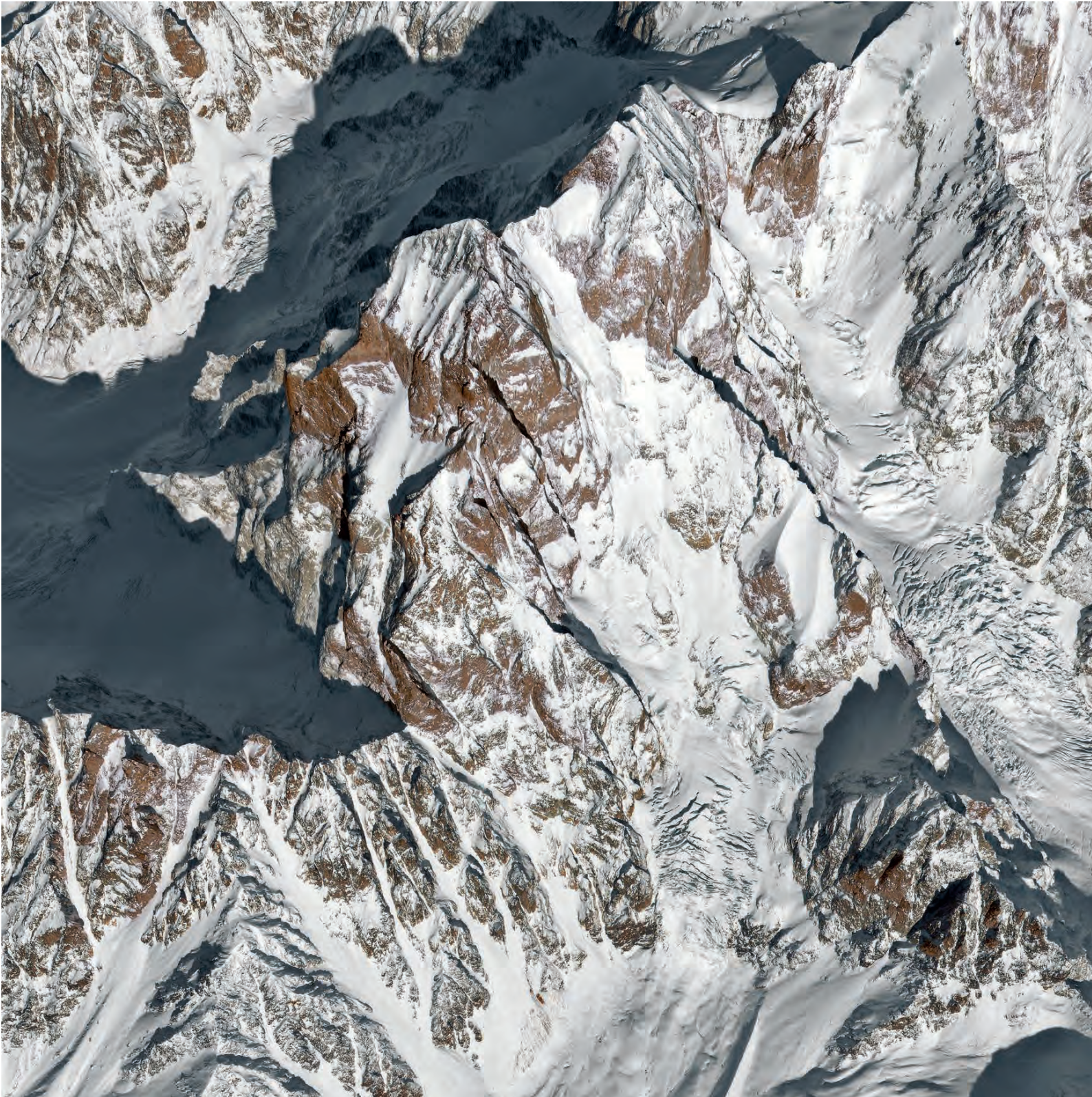
Nach seiner erfolgreichen Vermessung ist der Unnahbare zumindest virtuell greifbarer geworden. Die entstandenen Ansichten zeigen, welchen Fortschritt die Bildgebung des DLR für die Welt des Profialpinismus darstellt. Sie eröffnet völlig neue Möglichkeiten der Routenplanung. Begleitet werden die Bilder in dem unlängst erschienenen Buch von persönlichen Berichten der besten Bergsteiger der Welt. So schildert unter anderem Gerlinde Kaltenbrunner, wie ihr die Daten des DLR halfen, den K2 zu besteigen. Bergsteigerlegende Reinhold Messner erzählt die Geschichten der Erstbesteigungen und Begehungen, ordnet sie ein und gibt den bergsteigerischen Leistungen einen Rahmen. Sein historischer Abriss der Alpingeschichte liefert die zeitliche Komponente, die in der Wissenschaft als weitere Dimension verstanden wird. Zusammen mit der räumlichen Vermessung der Berge zeigt das Buch die Giganten dieser Welt mithin in vier Dimensionen. Es sind vor allem diese erzählerischen Dimensionen, die es besonders machen: Vermessen vom DLR, geordnet von Reinhold Messner, durchlitten von den besten Bergsteigern der Welt und umfänglich steckbrieflich charakterisiert, ist aus einer zufälligen Begegnung von Wissenschaftler und Bergsteiger das eindruckliche Bild von dreizehn der bedeutendsten Charakterberge entstanden.

**Nils Sparwasser** leitet die Abteilung Wissenschaftskommunikation und Visualisierung am EOC des DLR und lehrt als Gastdozent Fernerkundung an der Katholischen Universität Eichstätt. Der Diplom-Geograf ist Mitherausgeber des Buchs m4 und verantwortlich für die Visualisierung der Bilddaten.

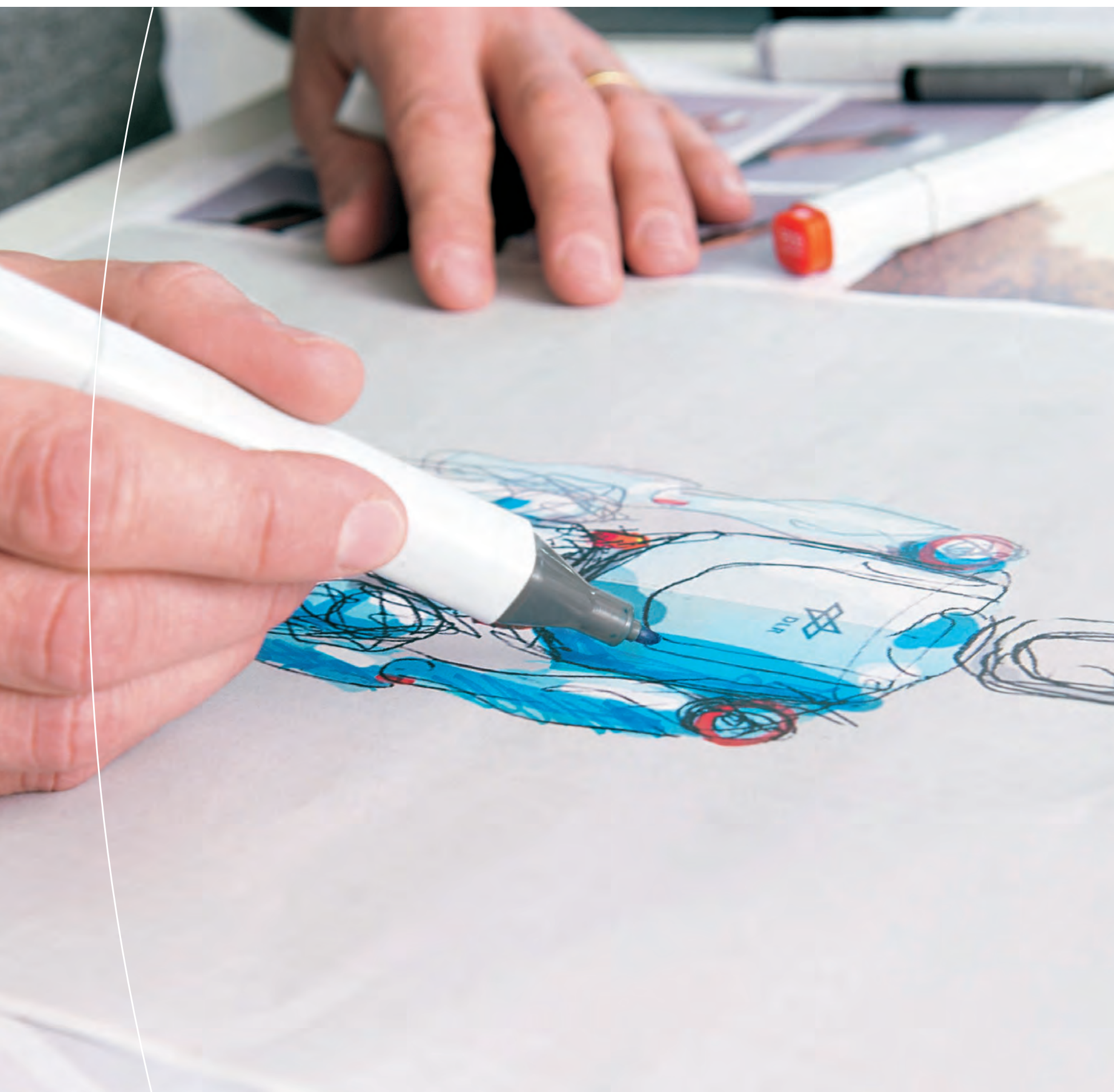
Der vom DLR in Zusammenarbeit mit dem Piper Verlag (Malik) herausgegebene Bildband zeigt satellitenbasierte, fotorealistische Darstellungen von Bergen, die für epochale Besteigungen stehen. Zusammen mit topografischen Karten, Infografiken, Steckbriefen sowie persönlichen Erlebnisberichten und Fotografien der besten Alpinisten der Welt werden die individuellen Charakterzüge jedes Berges greifbar.



Im Vordergrund die Südspitze des im Kaukasus gelegenen Ushba mit der „Roten Wand“. Hinter der Nordspitze am oberen Bildrand der Malaya oder auch Kleine Ushba.

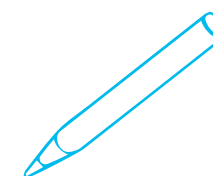






Mal mit Stift und Papier, mal am Computer entstehen die Design-Entwürfe für die Robotik der Zukunft

## WAS NICHT SPRICHT, BRAUCHT KEINEN MUND



Ein Exot unter Ingenieuren: Designer Tilo Wüsthoff hat klare Vorstellungen, wenn es im Institut für Robotik und Mechatronik um das Äußere und die Funktionalität geht

Von Manuela Braun

Zwei dunkle Kameraaugen blicken in die Runde. Das Gesicht von Roboter Justin reflektiert silbern-glatt und emotionslos das Neonlicht im Labor. Irgendwie menschlich – aber ohne Nase und Mund dann auch wieder nicht. „Warum hat der keinen Mund?“ Der Anruf des damaligen Institutsleiters kam abends nach Feierabend auf dem Handy von Tilo Wüsthoff an. Der Designer hatte sich dafür entschieden, in seinem Entwurf dem Roboter keine komplett wesenhaften Züge zu verleihen – und hatte damit für Irritationen gesorgt. „Warum hat Justin keinen Mund? Das geht doch nicht.“ Wenn Tilo Wüsthoff arbeitet, muss er oftmals erklären, was er macht. Und warum. Der 39-Jährige ist als einziger Designer am DLR-Institut für Robotik und Mechatronik ein Exot. Die Sache mit dem fehlenden Mund hat er schnell erklären können: „Justin spricht nicht, er braucht einfach keinen Mund.“ Der Designer zuckt mit den Achseln. Er hat da ganz klare Vorstellungen, denen er folgt. „Design soll zeigen, was eine Sache, ein Projekt, kann. Es soll eine intuitive Bedienung erleichtern. Aber es soll nichts vortäuschen, was nicht vorhanden ist.“ Und weil Justin zwar mit seinen Stereoaugen die Umgebung wahrnimmt, aber mit seinen menschlichen Kollegen nie sprechen wird, ist ein Mund nicht angebracht.

### Forschung mit Wiedererkennungseffekt

Wüsthoff konnte sich mit seinem Entwurf behaupten. Mittlerweile hat er am Institut nicht nur vom Medizinroboter über Justins rollenden Unterkörper bis hin zu einem vierbeinigen Laufroboter ein funktionales und zugleich schönes Äußeres entworfen, sondern im Laufe der Zeit auch eine ganze Reihe von Prinzipien erarbeitet. Im engen Austausch mit den Ingenieuren, denn Forschung und Design sollen Hand in Hand gehen und sich nicht gegenseitig blockieren. Jetzt gibt es ein mehrseitiges Booklet, in dem Wüsthoff die Richtlinien gesammelt hat. Im Idealfall erkennt man nun schon auf den ersten Blick, ob der Roboter oder das Fahrzeug am DLR entwickelt und gebaut wurde – weil alles wie aus einem Guss wirkt.

Zum Beispiel die geschwungene Linie. Wüsthoff nennt sie die „Kraftlinie“, die allem schon vom Äußeren her den Eindruck von Dynamik und Präzision vermitteln soll. Kanten mit einem klaren Hell-Dunkel-Kontrast. Kalte Farben, die für Technik stehen. Leicht gewölbte Flächen, die Spannung verleihen. Umlaufende, in sich geschlossene Linien, die dynamisch wirken. Bei der Wirkung solcher Strukturen und Formen verlässt sich der Designer auf seine Empfindungen. Und auf die der jeweiligen Projektleiter. Denen legt er seine Entwürfe für ihre Entwicklungen fast kommentarlos hin. „Die Reaktion in den ersten Zehntelsekunden – das ist die absolut authentische Rückmeldung. Dann merke ich direkt schon am Gesichtsausdruck und an den ersten Worten, ob das Design ankommt oder noch mal überarbeitet werden muss.“



## Projekt zum Durchbeißen

Angefangen hatte die Zusammenarbeit zwischen Tilo Wüsthoff und dem DLR mit seiner Diplomarbeit. Schon während des Studiengangs „Industrial Design“ in Essen hatte der angehende Designer Projekte mit anderen Forschungseinrichtungen auf die Beine gestellt. „Für mich war das immer schon mein Traum: mit Forschungseinrichtungen zusammenarbeiten, um neue Technologien in den Alltag und ins menschliche Umfeld zu integrieren.“ Für Wüsthoff war das die eigentliche Herausforderung in seiner Branche – mit Gegenständen zu arbeiten, die noch erfunden werden und für die Zukunft gedacht sind. Ein Mitarbeiter des DLR-Technologiemarketings hatte Kontakte zu Wüsthoffs Universität, sein Professor sprach ihn mit dem DLR-Thema für seine Diplomarbeit an. Und dann saß Wüsthoff an einer Aufgabe, die es in sich hatte: Er sollte das Design für einen Laserscanner entwerfen, zu dem das DLR Sensorik und Bilddatenverarbeitung beigesteuert hatte. Ein schweres Gerät, nicht gerade futuristisch und bereits bis zur Marktreife entwickelt. „Das war ein enorm trockenes, technisches Projekt“, erinnert sich der Designer. „Aber genau in diese Richtung wollte ich ja gehen – also hab ich mir gesagt, beiß dich durch.“ Statt kreativen Überflugs standen erst einmal viele ergonomische Untersuchungen an, das Gerät sollte schließlich gut und schnell zu bedienen und die Arbeitsabläufe optimal sein. Die Diplomarbeit war erfolgreich, die Zusammenarbeit mit dem DLR zumindest schon einmal auf die Spur gebracht.

## Nicht nur malen, sondern auch mit anpacken

Schon das zweite Projekt war dann eine ganz andere Hausnummer: Medizinroboter MIRO, der heute von einem amerikanischen Unternehmen in Lizenz für den Einsatz im Operationssaal produziert wird, sollte ein Gehäuse erhalten. Zu 95 Prozent war der Medizinroboter bereits fertiggestellt. Jetzt sollte noch das schöne Äußere dazukommen. „Nur Malen reicht hier nicht, bau gefälligst mit“, war die Ansage des Projektleiters an den Designer. Tilo Wüsthoff kam nicht aus der Robotik. Science-Fiction war nicht sein Fall. Zumindest hatte er mit seinem Wissen und seinem Vokabular in Werkstoffkunde eine Schnittmenge mit den DLR-Ingenieuren. „Ich wollte nie klassisch in einer Designagentur arbeiten, das DLR war für mich die Chance, meinen Traum zu verwirklichen – also bin ich das Risiko eingegangen.“ Für die Projektarbeit mit dem DLR hatte er seine Wohnung im Ruhrgebiet gekündigt und war nach München gezogen. Jetzt kam zu den Entwürfen auf Papier oder am Rechner also auch noch das handwerkliche Arbeiten mit beiden Händen hinzu. „Und nur so konnte ich mitmachen.“ Das Projekt mit Medizinroboter MIRO funktionierte, obwohl vieles darin komplettes Neuland für den Designer war. „MIRO war ein Riesenerfolg, und alle haben gestaunt, dass ich das hinbekommen habe.“ Tilo Wüsthoff macht eine kurze Pause und lacht. „Ja, und ich hab auch gestaunt.“

## Mein Kollege, der Roboter

Die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Design funktionierte also. Das Gehäusedesign des Medizinroboters gewann 2009 den „iF International Forum Design Award“ in der Kategorie „Advanced Studies“. Einen international renommierten Preis, für den Länder aus der ganzen Welt ihre Produkte einreichen. 2013 hatte Medizinroboter MIRO dann sogar einen Auftritt in Hollywood – im Science-Fiction-Film „Ender's Game“. Heute hängen in Wüsthoffs Büro jede Menge Entwürfe und Fotos an der Wand: Ein vierbeiniger Roboter krabbelt durch eine Marslandschaft, ein Poster vereint Roboterhände und -köpfe, Medizinroboter und metallisch glänzende Oberkörper. Gleich daneben hängt ein skizzierter Roboter. Mit wenigen schwarzen Strichen und den typischen Blau-Tönen der DLR-Roboter hat Wüsthoff einen Roboter gezeichnet, der noch keine Füße und keine Hände hat. Menschenähnlich, aber immer noch Roboter.

„Mir liegt es eigentlich nicht, den Robotern ganz und gar menschliche Züge zu verleihen. Ein Roboter ist ein technisches System, er ist ein Assistent, aber kein Mensch.“ Dieser Unterschied muss stets deutlich sichtbar bleiben, findet Wüsthoff. Allerdings kann es für die Bedienung, für die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine, wichtig sein, Roboter zu entwerfen, die humanoid sind. „Mit der Menschenähnlichkeit eines Roboters wird der intuitive Umgang mit ihm besser – der Mensch weiß dann viel schneller, wie sein Roboter funktioniert und bedient werden muss.“ Und auch für den Robotereinsatz bringt es Vorteile, wenn er in den wichtigsten Komponenten menschenähnlich ist: „Je menschlicher der Roboter ist, umso besser kann er in einer für den Menschen geschaffenen Umgebung arbeiten.“

## Von der Vision zur Visualisierung

Womit Tilo Wüsthoff sich für seine Arbeit beschäftigt, liegt vermeintlich fern von den Zielen und Strategien der Ingenieure. Das Institut für Robotik und Mechatronik geht mit dem Designer neue Wege. „Normalerweise kommt das Design erst, wenn das Produkt von einer Firma für den Markt vorbereitet wird.“ Viel zu spät, findet Wüsthoff. Denn Design sei nicht nur Optik, sondern könne schon während der Entwicklung in Forschungseinrichtungen einen wichtigen Beitrag leisten. Beispielsweise schon bei der ersten Idee für ein Projekt. Dann, wenn noch kaum Weichen gestellt sind und die Vorstellung noch vage ist. „Wenn der Ingenieur dann einen ersten Entwurf von mir sieht, klärt sich vielleicht vieles, was vorher noch nicht so konkret als Vorstellung existierte.“ So kann die Visualisierung auch Impulsgeber und Motivation für die Entwickler sein.

Beim Projekt Vibrotac, einem Gerät, das mittels Vibrationen unterschiedlichste Informationen an den Menschen übermitteln kann, kam Wüsthoff beispielsweise schon ins Spiel, als das Gerät in die Testphase überging. Im Labor bestand Vibrotac noch hauptsächlich aus Kabeln, Sensoren und einer Stoffmanschette. Dann sollten Flugzeuglotsen damit testen, ob sie während ihrer Arbeit auch Informationen über Vibrotac erhalten und nutzen können. „Die entwickelte Arbeitsversion hatte für den „Proof of Concept“, für den Beleg der Machbarkeit, gereicht, für die Versuche mit externen Testpersonen wäre das Gerät jedoch unpraktisch und nicht leicht genug zu bedienen gewesen“, erläutert der Designer. Wüsthoff entwarf ein Armband – leicht anzulegen und gut zu bedienen. „Dabei ging es dieses Mal bei dem Design also nicht nur um ein schönes Gehäuse, sondern vor allem um eine bessere Funktionalität.“

## Design mit Umwegen

Für Tilo Wüsthoff bedeutet die Arbeit am Institut für Robotik und Mechatronik auch, dass er schon mal im Laufe der Entwicklung von vorne anfängt mit seinem Design. Wenn sich Projekte weiterentwickeln. Oder eine ganz andere Richtung nehmen, weil sich Strategie oder Ziel verändert haben. Oder schlichtweg, weil die Grundlagenforschung immer Neuland betritt und dabei auch mal einen falschen Weg oder einen Umweg geht. „Nur wenn ich hier vor Ort im Institut die Projekte begleiten kann, kann ich die Forschung verstehen und effiziente Vorschläge liefern. Das Timing ist sehr wichtig, damit das Design jeweils zum richtigen Zeitpunkt unterstützen kann.“

Und auch der Kaffee ist wichtig. Den, den Wüsthoff gemeinsam mit den Ingenieuren trinkt, und dabei von Ideen und Entwicklungen erfährt. Manche Projekte bahnen sich über ein, zwei Jahre an, bis die konkrete Arbeit daran beginnen kann. Nicht jeder Ingenieur hat ein offenes Ohr dafür, dass Design für seine Forschung wichtig sein könnte. „Aber bei mir ist die Begeisterung für die Verbindung von Design und Forschung einfach sehr groß – das gibt mir einen langen Atem, um zu erklären, wie ich nicht nur die Optik, sondern auch die Entwicklung und die Funktionalität unterstützen kann.“

## Unterarme wie Popeye

Eines aber ist er definitiv nicht: „Ich bin kein Zauberkünstler.“ Und genau deshalb hat das Hand Arm System David auch Unterarme wie Popeye. Vollgepackt mit Elektronik, absolut notwendig für die Forscher – und nicht gerade sehr proportioniert. Daran kann auch kein Design etwas ändern, denn letztendlich hat die Entwicklungsarbeit immer Vorrang. Das Robotersystem thront im Labor auf einem Unterstell. Insgesamt groß, eindeutig zu lange Arme und ein leerer Oberkörper. Dabei hat Wüsthoff dem flexiblen und mit zahlreichen Sensoren ausgestatteten Robotersystem eine Athleten-Persönlichkeit zugeteilt. So wurde auch aus dem Hand Arm System HASy der Athlet David. Jetzt hat der Athlet halt Arme wie eine Comicfigur mit großen Kräften. Und einen Kopf, der nur aus Umrissen besteht und deutlich sichtbar kein Innenleben hat. „Ganz einfach: Wo nichts ist, wird auch nichts vorgetäuscht.“ Da bleibt Wüsthoff seinen Prinzipien treu.



Als studierter Industriedesigner bringt Tilo Wüsthoff eine neue Sichtweise in die Robotik-Entwicklung des DLR ein



„Nur Malen reicht hier nicht – bau gefälligst mit!“ – Eine ungewohnte Aufgabe, der sich der Designer gerne stellte.



Bei Roboter David kommt es auf Hände und Arme an, für das Design seines Gesichts reichen deshalb Konturen



Im Austausch mit den Ingenieuren nähert sich Tilo Wüsthoff der finalen Form – von der Optik bis hin zur optimalen Funktionalität der verschiedenen Projekte



# NÜTZLICHER EFFEKT ZWISCHEN HEISS UND KALT

DLR-Nachwuchsgruppe erforscht thermoelektrische Generatoren, die in der Raumfahrt Energie einsparen sollen

Von Frank Seidler

In den Weiten des Weltalls ist es kalt. Sehr kalt. Aber genau dies ist eine Eigenschaft, die man sich zunutze machen möchte, wenn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR darüber diskutieren, wie Raumfahrzeuge treibstoffsparender und energieeffizienter konzipiert werden können. Denn zum einen lassen sie sich während ihres oft jahrelangen Betriebs fern der Erde nicht auftanken oder aufladen. Zum anderen ist die Menge an Treibstoff und an Batterien, die ein Raumfahrzeug mit ins All tragen kann, begrenzt. Sind Tank und Batterien erst einmal leer, werden die Versorgung des Raumfahrzeugs und dessen weiterer Betrieb schwierig. Daher sind die Experten des DLR auf der Suche nach technischen Lösungen, die Energie sparen, wo immer es geht. So kann beispielsweise durch Sekundärenergie-Erzeugung die bisher rein über Batterien betriebene Stromversorgung des Trägersystems unterstützt werden. Die an Bord verbauten Batterien können kleiner dimensioniert und somit leichter werden. Das spart Treibstoff.

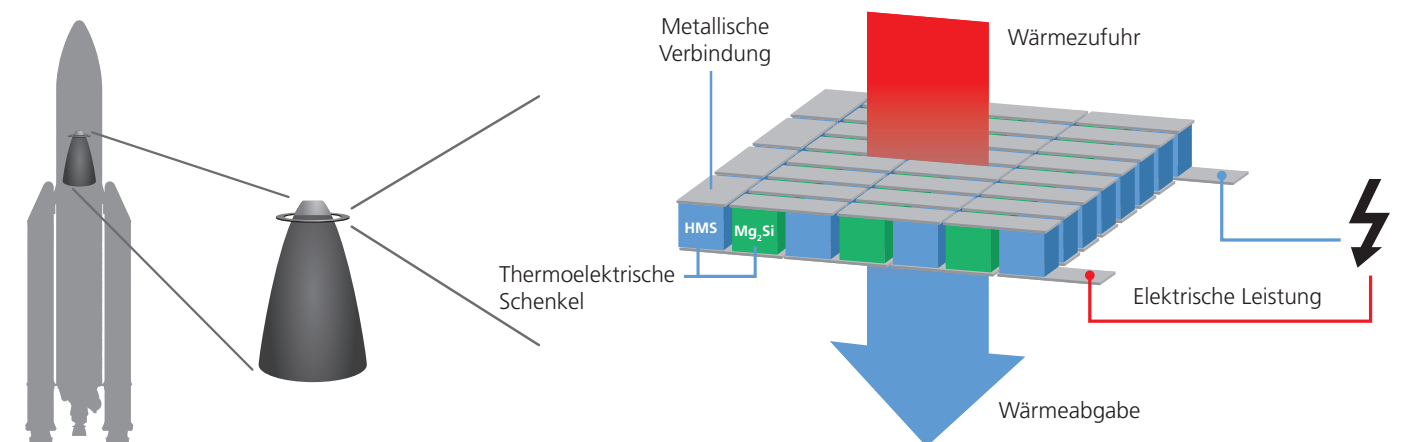
Einer der Experten, die das Thema Sekundärenergie in Raumfahrzeugen umtreibt, ist Dr. Johannes de Boor. Er arbeitet am Institut für Werkstoff-Forschung im DLR Köln. Hier befasst sich der studierte Physiker intensiv mit thermoelektrischen Funktionsmaterialien. Diese können – verbaut in einem thermoelektrischen Generator – aus einem anliegenden Temperaturunterschied elektrischen Strom erzeugen. Seine Faszination für diesen Effekt hat de Boor während seiner Promotion am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik entdeckt. „Mit thermoelektrischen Materialien und Generatoren haben wir eine gute Möglichkeit gefunden, um ungenutzte Abwärme in Strom zu wandeln, die sonst schlicht verloren gehen würde“, so de Boor. Sein Interesse aus dem Studium begleitet ihn bis heute und führte ihn zu Forschungsaufenthalten an die University of Queensland in Australien und an die University of Houston. Dort lernte er das Arbeiten als Gastwissenschaftler in einem internationalen Team schätzen.

Doch zurück zu den Thermogeneratoren. Sie sind in der Raumfahrt bereits seit einigen Jahrzehnten als langlebige und zuverlässige Stromquellen zur Versorgung sonnenferner Raumsonden und planetarer Landemissionen bekannt. Sie über weite Temperaturbereiche hinweg einzusetzen, wie sie die Raumfahrzeuge auf ihrer Reise durch das Weltall erfahren, ist eine interessante Forschungsaufgabe. Je größer die am thermoelektrischen Generator anliegende Temperaturdifferenz ist, desto mehr elektrischer Strom kann erzeugt

werden – die passenden Materialien vorausgesetzt. Ein Einsatzszenario ist das Anbringen des Generators am heißen Raketentriebwerk eines Trägersystems. Dabei kann man die im Weltall herrschenden tiefen Temperaturen für die Kühlung nutzen. Die bisher ungenutzte Abwärme des Raketentriebwerks kann mit Hilfe des Thermogenerators in elektrische Energie gewandelt werden und zur Bordversorgung des Raumfahrzeugs beitragen. Damit dieser Prozess auch über Jahre hinweg ohne Wartung eines Moduls zuverlässig funktioniert und die Generatoren die auf sie einwirkenden mechanischen Kräfte während der immer anspruchsvolleren Raumfahrt-Missionen unbeschädigt überstehen, wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Institut für Werkstoff-Forschung die stromerzeugenden Module verbessern.

Einen thermoelektrischen Generator für eine Raumfahrt-Mission zu bauen, ist nicht einfach. „Das erfordert mehrere Jahre intensiver Forschungsarbeit und ein interdisziplinär arbeitendes Team“, weiß Wissenschaftler de Boor. Um in einem Modul elektrischen Strom zu erzeugen, werden n- und p-dotierte Halbleiter, also Werkstoffe mit freien Elektronen (n) und fehlenden Elektronen (p, „Löcher“), benötigt. „Dafür brauchen wir Experten, die mit den verschiedensten Eigenschaften der Materialien umgehen können.“ So wird zum Beispiel die mikroskopische Struktur der thermoelektrischen Funktionsmaterialien, aus denen die Module aufgebaut werden, durch die Zusammensetzung und die Parameter bei der Pulververarbeitung bestimmt. Die Struktur des Materials nimmt wiederum Einfluss auf den Wirkungsgrad der Thermogeneratoren, aber auch auf die mechanische und thermische Stabilität. Beides sind entscheidende Faktoren für den Einsatzbereich und die Zuverlässigkeit der Stromversorger, gerade für Weltraumanwendungen.

Um zu verstehen, wie sich die Materialeigenschaften und Parameter des Herstellungsprozesses eines thermoelektrischen Moduls gegenseitig beeinflussen, baut Johannes de Boor eine Nachwuchsgruppe auf. Solche Gruppen werden vom DLR eingerichtet, um ein Forschungsthema fokussiert anzugehen und intensiv zu verfolgen. In diesem Fall hat die Gruppe die Aufgabe, den Einsatz von Magnesiumsilizid als n- und p-dotiertes Material für Thermogeneratoren zu erforschen. „Magnesiumsilizid hat gegenüber vergleichbaren Materialien eine Reihe von Vorteilen, zum Beispiel in der Verbindungstechnik. Aufgrund seiner geringen Dichte kann das Gewicht des Generators um bis zu 50 Prozent verringert werden. In der Raumfahrt ein gar nicht hoch genug zu schätzender Vorteil“, erklärt der Physiker. N-dotiertes Material kann seit etwa zehn Jahren mit sehr guten Eigenschaften hergestellt werden, mit dem p-Material ist das deutlich schwieriger. Hier hat das Team



Das Einsatzszenario: Der thermoelektrische Generator wird ringförmig um die Schubdüse angeordnet und erzeugt dort aus Abwärme elektrischen Strom



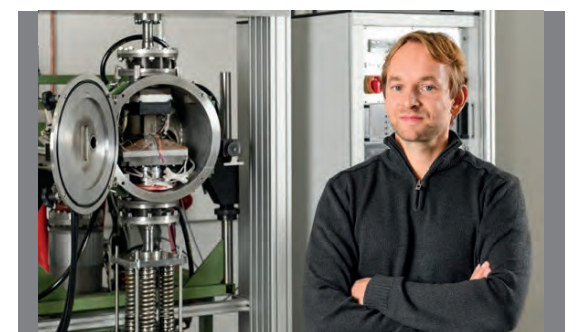
Die DLR-Nachwuchsgruppe und kooperierende Gastwissenschaftler testen und diskutieren die gegenseitige Beeinflussung von Materialeigenschaften und Parametern bei der Herstellung eines thermoelektrischen Moduls

einige vielversprechende Ideen und auch schon erste Ergebnisse, um das Material zu verbessern.

Für die Nachwuchsgruppe hat de Boor weltweit nach jungen Forscherinnen und Forschern gesucht. Nun hat er ein internationales Team von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Deutschland, Indien, Indonesien und Vietnam aufgebaut. Neben der Materialentwicklung sollen in der Nachwuchsgruppe alle Fragen, vom Material über die Verbindungstechnik bis zum getesteten thermoelektrischen Modul, angegangen werden. Dabei ist es wichtig, dass alle Eigenschaften und sämtliche Arbeitsschritte zur Herstellung im Zusammenhang betrachtet werden.

Die Nachwuchsgruppe von Johannes de Boor hat ihre Arbeit gerade erst aufgenommen. Die ersten Kolleginnen und Kollegen haben ihre Forschung im Team begonnen, aber noch ist die Gruppe nicht ganz komplett. Doch de Boor ist sich sicher: „Zusammen mit den Kolleginnen und Kollegen, die jetzt kommen, können wir die thermoelektrischen Materialien für die Raumfahrt voranbringen. In drei Jahren wissen wir mehr. Das wird eine spannende Zeit.“

Frank Seidler ist am Institut für Werkstoff-Forschung unter anderem mit der Öffentlichkeitsarbeit betraut.



Johannes de Boor ist Mitte 30, arbeitet am Institut für Werkstoff-Forschung und geht wissenschaftlichen Fragestellungen gerne auf den Grund. Seit 2011 arbeitet der Physiker in der TEG Line an neuen thermoelektrischen Materialien und treibt nun die Entwicklung eines magnesiumsilizidbasierten Thermogenerators in einer DLR-Nachwuchsgruppe voran.



Das Mekong-Delta in Vietnam, die Mündung des Gelben Flusses in China – Regionen, die exotisch klingen. Mitarbeiter des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums des DLR haben dort von Zeit zu Zeit ihren Arbeitsplatz: Die Wissenschaftler bauen in internationalen Kooperationen vor Ort Umwelt-Informationssysteme auf. Für Behörden, Kommunen und andere Nutzer in diesen Ländern sind die speziell aufbereiteten Daten aus der Erdbeobachtung Entscheidungshilfen für die Entwicklung ihrer Region. Bevölkerungswachstum, steigende Nachfrage nach Ressourcen oder auch die Auswirkungen des Klimawandels erfordern eine Reaktion, damit die Zukunft der Regionen vorausschauend gestaltet und die Natur erhalten werden können. In China übergab das DLR-Team unlängst das Informationssystem „DELIGHT“ an die Nutzer, 2014 war dies bereits für das Projekt „WISDOM“ in Vietnam erfolgt. Vor einer solchen Übergabe steht allerdings jede Menge Arbeit – der Umgang mit Sprachbarrieren, technischen Herausforderungen wie Stromausfällen oder Internetsicherheit, zuweilen aber auch kulturelle Unterschiede in der Arbeitsweise. Projektmitarbeiterin Juliane Huth weiß im Gespräch mit DLR-Raumfahrtredakteurin Manuela Braun davon zu berichten.

## WISSENSTRANSFER MIT ASIATISCHEM FLAIR

DLR-Wissenschaftler bauten Umwelt-Informationssysteme in Vietnam und China auf und lernten mit anderen Gepflogenheiten und technischen Voraussetzungen umzugehen

**Zu Beginn der Projekte treffen zwei unterschiedliche Gruppen aufeinander – die Wissenschaftler des DLR und die Nutzer in Asien. Wie beginnt dieser Kontakt und was muss geklärt werden, damit am Ende ein Umwelt-Informationssystem läuft, mit dem in den Ländern selbstständig gearbeitet werden kann?**

■ Im Delta des Gelben Flusses in China hatten wir die Situation, dass der Kontakt von Anfang an relativ einfach war. Wir hatten Glück: Unsere Forschungspartner in Peking als auch vor Ort kannten sich in der Region schon sehr gut aus und verfügten bereits über jahrelange Kontakte zu den Bedarfsträgern und künftigen Systemnutzern. Man lädt zu den Treffen nämlich nicht nur die wissenschaftlichen Partner ein, sondern auch die Leute, die das System betreiben und damit arbeiten werden. Dabei muss man die kulturellen Hintergründe kennen und beachten: In China steht man als Wissenschaftler Leuten gegenüber, die der Lokalregierung angehören und in der Hierarchie deutlich höher angesiedelt sind. Wir haben den Dialog unter anderem mit Bürgermeistern von Millionenstädten und in Vietnam teils auf Ministerienebene geführt. Also ist das Akezeptieren und Respektieren von Hierarchien der erste Schritt. Man kann sein Gegenüber nicht wie Kollegen behandeln – manchmal geht es schon um so etwas Einfaches wie, wer das erste und letzte Wort haben darf und muss. Selbst auf der Ebene der Wissenschaftler läuft es in diesen Ländern anders. Seniorität wird hier groß geschrieben.

Wir haben aber auch die Partner aus China und Vietnam zu Projekttreffen nach Deutschland eingeladen, damit sie sehen, wie wir arbeiten; dass Meetings beispielsweise nicht so hierarchisch ablaufen. Das gegenseitige Kennenlernen hilft auch, eine Vertrauensbasis zu schaffen.



Im Delta des Gelben Flusses liegt auch ein bedeutendes Ölförder-Gebiet Chinas, das Umweltmonitoring in der Naturschutz-Region ist daher eine besondere Herausforderung





DELIGHT-Kooperationspartner vom Franzius-Institut der Universität Hannover und von der Firma Hydromod bei Messungen auf dem Gelben Fluss. Erfasst werden unter anderem Fließgeschwindigkeit und Sedimentkonzentration sowie Trübung und Salzgehalt.

#### Wie gehen Sie dabei mit den Sprachbarrieren um?

■ Bei offiziellen Treffen sind ausgebildete Übersetzer dabei. Ansonsten ist die Sprachbarriere für uns natürlich einfacher zu handhaben, wenn man Kollegen hat, die die Sprache sprechen. Die Wissenschaftler in anderen Ländern sprechen oft Englisch, aber bei den Anwendern unseres Informationssystems sind es meist nur die Jüngeren. Bei den hierarchisch wichtigen Entscheidungsträgern ändert sich die Situation seit ein paar Jahren langsam.

#### Sie kommen aus dem fernen Europa und – dieser Eindruck könnte ja entstehen – erklären den Einheimischen vor Ort, wie das System zu laufen hat. Wie verhindern Sie, dass sich bei den lokalen Partnern das Gefühl einstellt, belehrt zu werden?

■ Es ist wichtig, dass man sich öfter vor Ort blicken lässt, um zu zeigen, dass es nicht nur um Technik, sondern auch um eine enge und partnerschaftliche Kooperation geht. Eine vertrauensbildende Maßnahme ist wie gesagt auch, dass man mit den Partnern nicht nur in dem jeweiligen Land gemeinsam forscht und entwickelt, sondern auch regelmäßig in Deutschland zusammenarbeitet. So lernen unsere Partner unser Institut kennen. Und sie bekommen von unserer Arbeitsstelle sowie auch von Deutschland als Forschungsstandort ein Bild.

#### Wie gleicht man die Erwartungen ab, damit alle Beteiligten am Ende auch mit dem Resultat zufrieden sind?

■ Das nimmt sehr viel Zeit in Anspruch! Zum einen setzten wir uns mit den vietnamesischen beziehungsweise chinesischen Forschern und Nutzern von Anfang an gleich an einen Tisch. Zum anderen machen wir auch eine Bestandsaufnahme dessen, was vor Ort notwendig ist. Was brauchen die Nutzer? Wie nutzen sie später in ihrem Arbeitsalltag das Umwelt-Informationssystem? In Vietnam beispielsweise wurden bestimmte Geodaten für regelmäßige Reports an ministerielle Behörden benötigt. In China sollte einmal im Jahr die aktualisierte Landnutzungsveränderung oder die Entwicklung der Urbanisierung ausgewiesen werden. Die Nutzer sagen, was sie von uns erwarten, und wir gleichen ab, was von uns geliefert oder geleistet werden kann. Es geht ja nicht nur um Fernerkundungsdaten – wir arbeiten zum Beispiel auch mit Partnern aus dem Bereich Hydrologie oder aus den Sozialwissenschaften zusammen. Auf jeden Fall stellen wir durch eine Bedarfsanalyse zu Beginn des Projekts sicher, dass mit unseren Forschungsergebnissen später etwas zur Verfügung steht, das auch gebraucht wird.

Dann kommen noch andere Aspekte dazu: Welche Funktionalität wünschen sich die Nutzer? Will man Informationen auf einer Karte

darstellen? Will man Karten in einem bestimmten Format ausdrucken können?

#### Wenn wir in den Urlaub fahren, finden wir oft andere Steckdosen im Quartier und müssen beim Kofferpacken an Adapter denken. Sie bauen aber ein komplettes Online-System auf, in dem Informationen zusammengeführt und aufbereitet abgerufen werden können. Auf welche technischen Voraussetzungen muss sich das DLR-Team dabei einstellen?

■ Wir haben viel aus der Zeit in Vietnam gelernt und konnten uns in China dann viel schneller anpassen, weil wir die Knackpunkte schon kannten. In Vietnam waren wir 2007 zum ersten Mal. Damals hatten wir anfangs noch Schwierigkeiten mit der Verfügbarkeit und der Geschwindigkeit des Internets. Wir mussten so programmieren, dass das Umwelt-Informationssystem überhaupt aufrufbar und nutzbar war. Mittlerweile hat sich in Vietnam sehr viel getan – wir sind dort ja immer noch aktiv und merken, dass das Internet jetzt viel schneller ist. Auch die Stromausfälle sind nicht mehr so häufig. Damals mussten wir uns einen Service-Provider suchen, der eine Ausfallsicherheit garantierte. Solche Sachen muss man in Deutschland kaum beachten.

In China gab es noch eine weitere Herausforderung: Wir haben ja in Deutschland eine Art Selbstverständnis, welche Internetbrowser wir verwenden. Wenn man auf der Straße hundert Menschen fragen würde, welchen Browser sie benutzen, käme von den meisten dieselbe Antwort. In China werden aber ganz andere Browser benutzt. Wenn wir also ein webbasiertes Umwelt-Informationssystem anbieten, das eine große Nutzerfreundlichkeit haben soll, müssen wir es natürlich für den in China bevorzugten Browser anpassen. Unseren europäischen Standard müssen wir dazu ein wenig verlassen.

#### Wenn das System einmal steht, übergeben Sie es an die Nutzer vor Ort, die selbstständig damit arbeiten sollen. Wie trainieren Sie die lokale Mannschaft, damit diese das System auch ohne Sie problemlos bedienen kann?

■ Wissensstand und Erfahrung in den verschiedenen Ländern sind unterschiedlich. In Vietnam haben wir die wissenschaftlich und technisch am besten ausgebildeten Partner zu Trainern ausgebildet. Das heißt, die DLR-Informatiker schulten vor Ort Personen, die zum einen lernen, wie das System zu nutzen ist, aber auch, wie man es in Stand hält. Diese Trainer sind dann mit einem unserer Mitarbeiter zu den Nutzern gefahren. Der Vietnameser, der zu hundert Prozent das Vertrauen der Leute vor Ort genießt, hat dann das Training in seiner Sprache durchgeführt. Das wurde in 13 Provinzen durchgeführt – da waren diese einheimischen Trainer wichtig, um vor Ort sowohl die Skepsis

gegenüber den Wissenschaftlern als auch gegenüber den Technikern abzubauen. In China hatten wir eine chinesisch sprechende Kollegin bei uns im Team, die die Schulungen übernahm. Das wissenschaftliche und technische Vorwissen war dort schon größer als in Vietnam. Wir schulten Forscher und Nutzer aus der Lokalbehörde gleichzeitig.

#### Die Menschen vor Ort profitieren also davon, dass sie ihr Wissen erhalten und damit arbeiten. Welchen Nutzen zieht das DLR aus solchen Projekten?

■ Der Nutzen für das DLR ist vielfältig. Natürlich können wir im Rahmen von solchen Projekten, die durch deutsche Ministerien gefördert werden, unsere Techniken und Algorithmen weiterentwickeln. Sei es im Bereich der Auswertung von Erdbeobachtungsdaten oder im Bereich Informationstechnologie. Auch können wir natürlich viele geowissenschaftliche Produkte vor Ort im Rahmen von Kartierungen validieren. Wir werden sowohl durch Publikationen und Konferenzbeiträge als auch durch Schulungsaktivitäten sichtbar. Durch die Partnerländer werden wir oft vor unerwartete technische Herausforderungen gestellt. Und verbessern uns dadurch in der Nutzung von Ressourcen, im Bereich IT-Sicherheit oder in der Projektdokumentation. Wir haben aber auch aus der interkulturellen Zusammenarbeit viel gelernt. Von der Technik her ist es auch für uns eine Herausforderung, dass man Umwelt-Informationssysteme erstellen muss, die nicht zu komplex sind, um sie an Behörden weiterzugeben.

#### Wie ist es denn, wenn man am letzten Arbeitstag das Projekt übergibt und dann erst mal raus ist? Grund zur Freude oder fällt es einem schwer?

■ Wir machen das nicht so, dass wir am letzten Tag einfach verschwinden und das war es dann. Wir übergeben das Umwelt-Informationssystem und achten darauf, dass es auch noch Rückmeldungen gibt. Für DELIGHT ist die technische Übergabe im Frühjahr 2016 erfolgt. Jedoch hat sich auch in Vietnam im Kontext des Projekts WISDOM gezeigt, dass wir noch Jahre nach Projektende mit den Kollegen vor Ort in Kontakt sind. Denn meist implementieren die Partner die Ergebnisse längerfristig im Rahmen nationaler Projekte vor Ort weiter und kommen dabei immer wieder auf unsere Expertise zurück. Man tauscht sich weiterhin aus – lernt voneinander und sieht, wie sich die Projekthalte weiterentwickeln. Deshalb ist es kein wehmütiger Abschied. Wir sind ja auch neugierig und wollen wissen, wie es weitergeht, wie es im Alltag läuft.

#### Was macht diese Arbeit für Sie persönlich spannend? Was motiviert Sie, unter manchmal ungewöhnlichen Bedingungen tätig zu sein?

■ Auf alle Fälle ist es der Kontakt zu einer ganz anderen Kultur. Es ist schön zu sehen, wie viele Gemeinsamkeiten wir doch haben und wie wir zusammenfinden im Verlauf so einer Projektlaufzeit. Motivierend ist auch, dass man mit seinen Forschungsergebnissen eine breite Nutzergruppe erreicht. Man schreibt nicht einfach eine wissenschaftliche Veröffentlichung, sondern schafft ein Umwelt-Informationssystem, das vielen Entscheidungsträgern nutzt. Wir sehen das jetzt gerade in Vietnam – da freue ich mich jedes Mal darüber, wenn wir in unserem Anwender- und Nutzermanagementsystem neue Nutzer registrieren. Das geschieht auch drei Jahre nach dem Ende des WISDOM-Projekts noch. Es freut mich, dass unsere Arbeit über längere Zeit Interesse hervorruft – und das hoffen wir auch für DELIGHT: dass man den Menschen vor Ort planungsrelevante Informationen an die Hand geben konnte, die bei Entscheidungsprozessen vor Ort helfen.

## DIE PROJEKTE DELIGHT UND WISDOM

Das deutsch-chinesische Projekt DELIGHT (Delta Information System for Geoenvironmental and Human Habitat Transition) erforschte von 2013 bis zum Sommer 2016 über Disziplinengrenzen hinweg die urbanen und naturräumlichen Veränderungen im Mündungsgebiet des Gelben Flusses. Das Projekt wurde durch das Deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF, und das chinesische Ministerium für Wissenschaft und Technologie, MOST, gefördert. Das Umwelt-Informationssystem unterstützt lokale Planungsprozesse im Regierungsbezirk Dongying, erleichtert Entscheidungen zur Landnutzungsplanung im Delta und bietet unter anderem Daten zur Küstenerosion und Landgewinnung, zur Ausdehnung von Aquakulturen, zu Veränderungen landwirtschaftlicher Nutzflächen sowie zu Urbanisierungsprozessen als auch Kennzahlen zu Sediment- und Algengehalt des Meerwassers. Vor Ort arbeiten lokale und regionale Entscheidungsträger, zahlreiche chinesische Wissenschaftsinstitutionen sowie kleine und mittlere Unternehmen der Privatwirtschaft mit dem System.

Das Projekt WISDOM (Water related Information System for the Sustainable Development of the Mekong Delta) wurde vom Deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF, und dem vietnamesischen Ministerium für Wissenschaft und Technologie, MOST, gefördert und beschäftigte sich mit der Region des Mekong-Deltas im Süden Vietnams. Das Informationssystem hilft bei der Planung und Entscheidung im nachhaltigen Land- und Wasserressourcenmanagement sowie bei der Anpassung an den Klimawandel. Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum des DLR war in beiden Projekten für die Gesamtkoordination, die Auswertung der Fernerkundungsdaten sowie die Entwicklung und Erstimplementierung des Umwelt-Informationssystems zuständig. Die Umweltinformationssysteme werden in beiden Ländern weiter betrieben.

Weitere Informationen: [www.wisdom.eoc.dlr.de](http://www.wisdom.eoc.dlr.de), [www.delight.eoc.dlr.de](http://www.delight.eoc.dlr.de)



Wissenschaftler aus dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum planen mit einem Partner vor Ort die Route zur Datenaufnahme direkt im Delta des Gelben Flusses



Wissenschaftler der DLR-Projektgruppe „Dynamik der Landoberfläche“ am Gelben Fluss; dritte von links: Gesprächspartnerin Juliane Huth, rechts neben ihr Projektleiterin Dr. Claudia Künzer





## STILLSTAND EINES TRENDS



Interview mit Dr. Tobias Kuhnimhof, Mitautor einer Studie über einen vermeintlichen Mobilitätstrend bei jungen Erwachsenen

### Zur Person

Dr. Tobias Kuhnimhof leitet seit April 2014 die Abteilung Personenverkehr am Institut für Verkehrsforschung. Zuvor (2010–2014) arbeitete der studierte Bauingenieur unter anderem für das Institut für Mobilitätsforschung, eine Forschungseinrichtung der BMW Group. Schwerpunkte seiner Arbeiten sind Mikrosimulation der Verkehrsnachfrage, Panel- und Längsschnittanalysen von Verkehrsverhalten, international vergleichende Studien zur Mobilität und das Verkehrsverhalten junger Menschen.

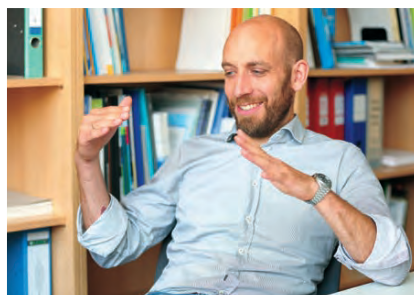
Nach einer Studie des Instituts für Mobilitätsforschung (ifmo) aus dem Jahr 2011 verfügten 1998 noch 80 Prozent aller jungen Haushalte unter 35 Jahren über ein Auto. Bis 2008 ging dieser Anteil um acht Prozent auf 72 Prozent zurück. Während 1998 somit etwa ein Fünftel der jungen Deutschen ohne Auto im Haushalt lebte, war es 2008 schon über ein Viertel. Diese Zahlen wiesen auf einen Trendwechsel im Mobilitätsverhalten in der Altersklasse zwischen 18 und 34 Jahren hin und nährten die Meinung, immer mehr junge Leute verzichten auf den Besitz eines Autos und wollen keinen Führerschein mehr machen. Für das DLR-Magazin fragte Melanie-Konstanze Wiese, im DLR Berlin verantwortlich für die Kommunikation, nach, ob der Trend – weg vom eigenen Auto – auch aktuell noch gilt.

**Ist es wirklich Trend, dass immer mehr junge Erwachsene kein eigenes Auto besitzen beziehungsweise keinen Führerschein erwerben?**

■ Es gab in den Neunzigerjahren und zu Beginn des neuen Jahrtausends tatsächlich einen Trend, der sich aus den Zulassungsstatistiken ableiten ließ. Das haben wir 2011 in der ifmo-Studie untersucht, die wohl die detaillierteste Studie ist, die es zu diesem Thema in Deutschland gibt. Demnach sanken damals die Zulassungszahlen drastisch. Aber nun sind sie seit fast zehn Jahren stabil. Die Führerscheinzahlen allerdings sind nie gesunken. Nur die Zahl der Motorradführerscheine nimmt ab. Seither schaue ich mir regelmäßig aktuelle Zahlen zu Zulassungen und Führerscheinen an. Aber da tut sich nichts mehr. Ich kann demnach keinen generellen Trend erkennen, dass immer weniger junge Leute ein eigenes Auto besitzen. Interessanterweise hat sich mittlerweile dieser Gedanke in den Köpfen festgesetzt, objektiv gibt es aber keinen Grund dafür.

**Wie lässt sich das Absinken der Zulassungszahlen Ende der Neunzigerjahre erklären?**

■ Die Studie hat gezeigt, dass zwei Drittel des Rückgangs auf eine veränderte sozio-ökonomische Situation zurückzuführen sind: Wir haben heute viel mehr Studenten und weniger Erwerbstätige unter den jungen Erwachsenen. Die Zunahme der Studierenden bewirkt, dass der Anteil junger Menschen in den Städten wächst. Hinzu kommen dann andere Faktoren wie mehr Einpersonenhaushalte und geringere Einkommen. Damit einher geht auch, dass Familien später gegründet werden. Und das alles zusammen erklärt ungefähr zwei Drittel des gesamten Rückgangs des Pkw-Besitzes. Darüber hinaus fahren junge Leute öfter Fahrzeuge, die auf Familienangehörige, also andere Altersklassen, zugelassen sind, was sich in der Zulassungsstatistik widerspiegelt.



**Kann man einen Unterschied zwischen Stadt und Land erkennen?**

■ Ja, insgesamt sind der Anteil der Personen mit Führerscheinen, der Anteil der Fahrzeugbesitzer und die Zahl der gefahrenen Kilometer auf dem Land höher als in Ballungsgebieten. Dennoch konnte man den Rückgang der jungen Autobesitzer auch in ländlichen Gebieten beobachten.

**Zwei Drittel des Rückgangs sind auf veränderte Lebenssituationen zurückzuführen. Welche Gründe gibt es für das übrige Drittel?**

■ Die Frage ist sehr interessant und wird bis heute von der Fachwelt diskutiert. Einige gehen davon aus, dass sich bei den jungen Leuten etwas an der Einstellung zum Auto und Autobesitz geändert hat. Allerdings hat man sich an dieser Frage bisher die Zähne ausgebeißt. Als Verkehrsingenieur sehe ich den Grund nicht in erster Linie in einer veränderten Einstellung der jungen Leute zum Pkw, sondern auch im Wandel der Verkehrsangebote. Wir haben heute einen gut ausgebauten öffentlichen Verkehr – der ist in deutschen Ballungsgebieten so gut wie noch nie. Immer mehr Carsharing-Angebote machen den Besitz eines eigenen Autos nicht mehr überall zwingend notwendig. Häufig gibt es auch Semestertickets. Und es wäre ja entsetzlich, wenn solche Maßnahmen gar keine Wirkung hinterlassen hätten.

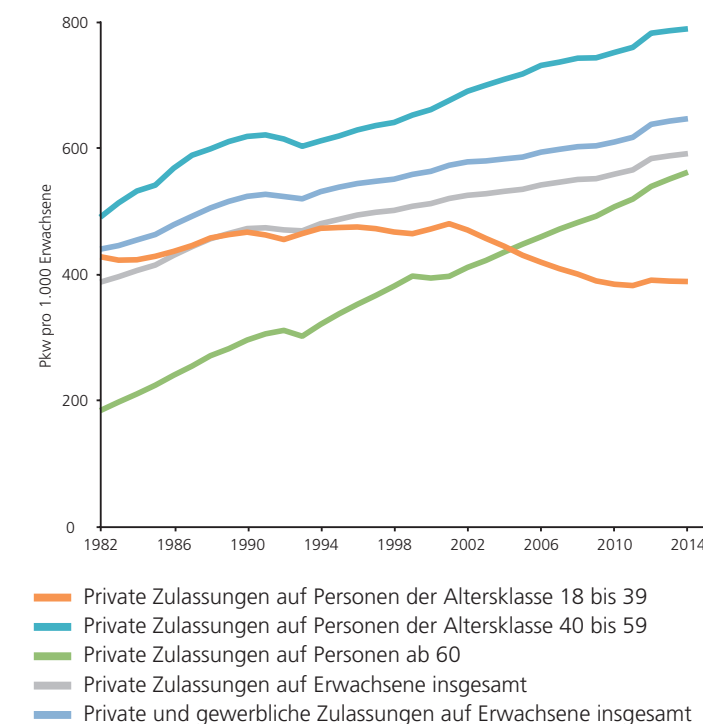
**Eine andere Einstellung junger Leute zum Autobesitz lässt sich also nicht belegen?**

■ Alles, was wir sagen können, ist: Zwei Drittel des zurückgehenden Pkw-Besitzes sind sozio-ökonomisch bedingt. Ein Drittel haben wir nicht erklärt. Bei der Beantwortung dieser Frage dominiert das Thema der neuen Einstellungen den öffentlichen Diskurs. Verkehrsinfrastruktur und Verkehrsangebot fallen hier bedauerlicherweise völlig durch den Rost. Die Frage nach den veränderten Einstellungen lässt sich einfach nicht abschließend beantworten. Das Problem ist, dass wir die Menschen nicht rückwirkend nach ihren Meinungen vor 15 Jahren befragen können. Das hieße, ich müsste retrospektiv diejenigen befragen, die heute etwa 40 Jahre alt sind, was sie in ihrer Jugend für eine Einstellung hatten. Diese Veränderung der Haltung in Verbindung mit deren Wirkung aufs Mobilitätsverhalten im Nachgang als eine Zeitreihe zu entwickeln, ist leider nahezu unmöglich.

Einen bemerkenswerten Punkt beim Mobilitätsverhalten junger Erwachsener gibt es allerdings noch: In vielen Industrieländern ist der Fahrzeugbesitz bei jungen Männern stärker zurückgegangen als bei Frauen. Zuvor hatten junge Männer gegenüber jungen Frauen immer einen gewissen Mobilitätsvorsprung. Durch diesen Rückgang ist der Unterschied bei den Zulassungszahlen zwischen den Geschlechtern zusammengeschnitten. Vielleicht ist das auch ein Hinweis darauf, dass sich doch etwas in den Köpfen getan hat, denn von den sozio-ökonomischen Faktoren und dem verbesserten Verkehrsangebot waren Frauen und Männer ja gleichermaßen betroffen.



Personenkraftwagen pro 1.000 Erwachsene nach der Zulassungsstatistik des Kraftfahrtbundesamtes



### Ifmo-Studie:

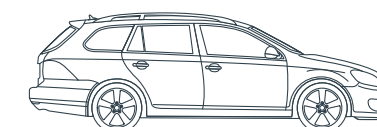
Mobilität junger Menschen im Wandel – multimodaler und weiblicher  
Nachzulesen unter: <http://bit.ly/1yMACg1>





Fahrsimulation im Virtual-Reality-Labor des DLR: Eine 360-Grad-Darstellung der Umgebung vermittelt ein realitätsnahes Fahrgefühl.

# FÜR DAS PERFEKTE FAHRGEFÜHL



Teil 2 der Serie Großgeräte: Das Virtual-Reality-Labor für die Forschung zum automatisierten und vernetzten Fahren

Von Vera Koopmann

**E**in weißer Golf. Der Fahrer betätigt den Blinker, schaut in den Rückspiegel und gibt Gas. Dann eine rote Ampel. Er bremst. Ein kurzer Blick nach rechts auf den Braunschweiger Bahnhof. In 30 Sekunden wird die Ampel auf Grün schalten, sagt ein Hinweis in der Instrumentenanzeige hinter dem Lenkrad. 3, 2, 1 ... die Fahrt kann weitergehen. Neben der Geschwindigkeitsanzeige erscheint ein Hinweis: „Das Fahrzeug kann jetzt automatisiert fahren.“ Der Fahrer drückt einen Knopf am Lenkrad, schaltet die Fahrzeugautomation ein und lehnt sich entspannt zurück. Ein Blick auf das neue Einkaufszentrum vor ihm, dann greift er zu seinem Tablet und liest die aktuellen Nachrichten im Internet.

Kein Zukunftsszenario: Der Fahrer ist ein Proband, er sitzt in einem echten Golf, im Virtual-Reality-Labor (VR-Lab) des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig. Getestet wird eine Funktion, die die Wissenschaftler für das automatisierte Fahren in der Stadt entwickelt haben: Das Fahrzeug kommuniziert mit den Ampeln und passt seine Geschwindigkeit an das vorausfahrende Fahrzeug an. In bestimmten Situationen kann der Fahrer die Verantwortung an das Auto abgeben. „So etwas stellt erhebliche Anforderungen an das Fahrzeug. Um sicherzustellen, dass es alle Situationen beherrscht, sind ausgiebige Testdurchläufe notwendig“, erklärt Dr. Martin Fischer, verantwortlicher Wissenschaftler für das VR-Lab des Instituts. „Die Tests lassen sich am effektivsten in der Simulation ausführen. Hier sparen wir Zeit und Kosten und sind in der Lage, das System so weit abzusichern, dass wir es hinterher ohne großes Risiko auf der Straße testen können. So können Fehlentwicklungen frühzeitig vermieden werden.“

2013 wurde das Labor aufwändig umgebaut. Wo früher nur 180-Grad-Projektionen um einen einzigen Autositz möglich waren, bietet heute eine 360-Grad-Darstellung einer virtuellen Umgebung genügend Platz für ein vollständiges Mittelklassefahrzeug. Das ist die optimale Voraussetzung für möglichst detailgetreue und realitätsnahe Tests von Assistenz- und Automatisierungssystemen. „Wenn wir beispielsweise ein Assistenzsystem für den Stadtverkehr testen wollen, dann muss es auch möglich sein, die komplette Umgebung im Blick zu behalten und beispielsweise den Schulterblick in der Simulation zu berücksichtigen. Eine weiße Wand anstatt eines plötzlich auftauchenden Radfahrers hat sicher nichts mit einer realitätsnahen Simulation zu tun“, erklärt Fischer. Heute haben die Wissenschaftler den Rundumblick und





In einem sogenannten modularen Mock-up testet der Proband ein neues Fahrassistenzsystem und hat dabei vollen Rundumblick



Das DLR-Versuchsfahrzeug FasCar II im Virtual-Reality-Labor

den Probanden fällt es leicht, sich wie im realen Verkehr zu verhalten. Doch das ist nicht das einzige Feature, das dieses Simulationslabor von anderen unterscheidet: Das VR-Lab ist eine Plattform, in die sich mit geringem Zeitaufwand verschiedene Fahrzeugtypen einbauen lassen: Ein echtes Straßenfahrzeug ebenso wie sogenannte Mock-ups, Nachbildungen von Fahrzeugkabinen, mit denen Personenkraftwagen im herkömmlichen Design genauso realisiert werden können wie futuristische Fahrzeugkonzepte. Aber auch Cockpits von Großfahrzeugen wie Lastkraftwagen oder Straßenbahnen lassen sich in das VR-Lab integrieren.

Über ein Netzwerk kann das Virtual-Reality-Labor zudem mit anderen Großanlagen des Instituts, beispielsweise dem MoSAIC-Labor (Modular and Scalable Application Platform for ITS-Components), einem Labor für Multi-Fahrer-Simulation zur Erprobung kooperativer Fahrerassistenz, oder mit dem dynamischen Fahrsimulator gekoppelt werden. So lässt sich das Zusammenspiel mehrerer unterschiedlicher Fahrgeschehen untersuchen. Die Software, die im Hintergrund das realitätsnahe Fahrgefühl möglich macht, wurde so ausgelegt, dass über die standardisierten Schnittstellen ebenfalls Fahrzeug-Mock-ups der Zukunft oder Versuchsträger eingebunden werden können. Damit ist das Labor auch für externe Partner nutzbar, die ihre Innovationen in einer virtuellen Welt mit einem realen Fahrgefühl testen wollen.

„Die virtuellen Landschaften werden je nach Versuchsanforderung entsprechend modifiziert und erstellt“, erklärt Fischer. „Und wir gehen sogar so weit, dass wir exakte dreidimensionale Abbilder von

Städten erschaffen.“ In einem bisher einzigartigen Projekt haben die Wissenschaftler des Instituts die ganze Stadt Braunschweig mit ihrer komplexen Infrastruktur virtuell abgebildet. Sie konzentrierten sich dabei zunächst auf den Braunschweiger Innenstadtring. Dazu haben die Forscher mit einem Messfahrzeug die entsprechenden Straßen hochgenau vermessen lassen und kombinierten die restlichen Straßen samt ihrer Umgebung mit Katasterdaten der Stadt und der Infrastrukturbetreiber sowie mit Luftbildern, Liegenschafts- und Navigationsdaten und Crowd-Sourced-Daten aus OpenStreetMap. Damit all diese Daten letztendlich ein möglichst genaues virtuelles Abbild liefern, entwickelten die Wissenschaftler eine komplett automatisierte Werkzeugkette und einen einheitlichen sogenannten Digitalen Atlas, in dem all die gewonnenen Daten enthalten sind. So müssen beispielsweise zu hoch dargestellte Verkehrsschilder nicht einzeln per Hand an die richtige Stelle gerückt werden – alles wurde automatisiert.

Aus diesem Daten-Atlas heraus können die Forscher jetzt Straßenbeschreibungen und 3D-Modelle exportieren. „Damit sind wir in der Lage, zukünftig jede beliebige Stadt im VR-Lab digital abzubilden, solange Daten in ähnlicher Qualität und Form wie für Braunschweig vorliegen“, so Martin Fischer. Der Braunschweiger Innenstadtring bringt als virtueller Prototyp die besten Voraussetzungen mit: In der Realität ist der gesamte Ring im Rahmen der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) mit Kommunikationstechnik ausgestattet. Eine Forschungskreuzung, Lichtsignalanlagen und Referenzstrecken liefern den Wissenschaftlern bereits eine große Menge an Informationen.

Aber auch psychologische Fragestellungen zur Fahrermodellierung, zur Mensch-Maschine-Interaktion und zum kognitiven Fahrverhalten können im VR-Lab erprobt werden. Die detailgetreue Darstellung der Umwelt ist besonders für die Verkehrspsychologen bei sogenannten Fahrerverhaltensstudien sehr wichtig: Je realitätsnäher die Fahrumgebung für den Probanden wirkt, desto leichter fällt es ihm, sich wie im richtigen Verkehr zu verhalten. „Diese Untersuchungen zum Fahrerverhalten liefern uns wichtige Ansatzpunkte für Fahrerassistenzsysteme, die den Fahrer unterstützen und damit Unfälle vermeiden helfen“, weiß Fischer.

Das Virtual-Reality-Labor des Instituts für Verkehrssystemtechnik ist eine der wichtigsten Großanlagen in der DLR-Forschung zum automatisierten Fahren und für die Entwicklung und Erprobung von Assistenzsystemen.

**Vera Koopmann** ist im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik unter anderem mit Öffentlichkeitsarbeit betraut.

Illustration Pkw auf der Vorseite: ccvision.de

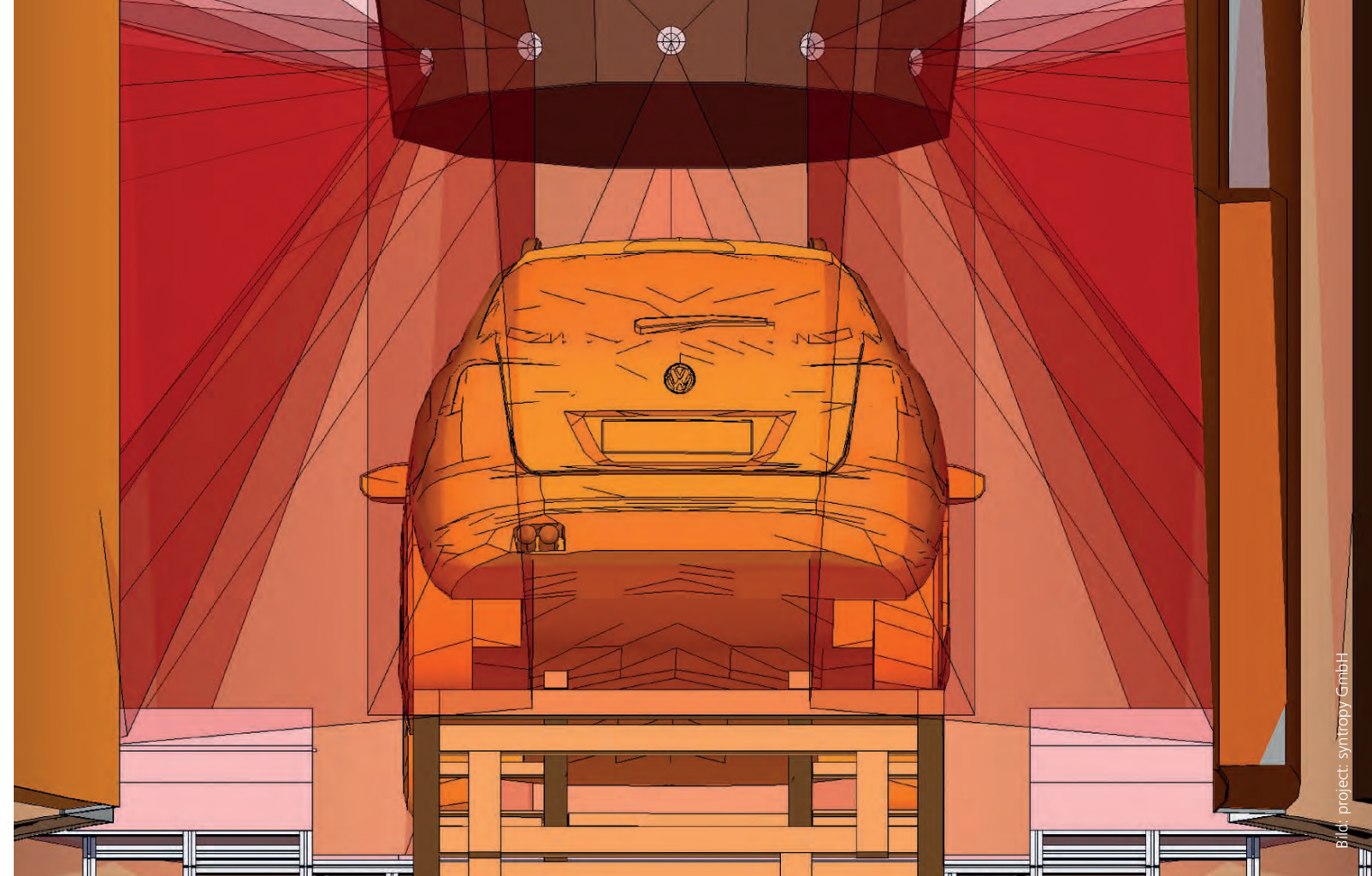


Bild: project: syntropy GmbH

## DAS VIRTUAL-REALITY-LABOR

### Zahlen und Fakten

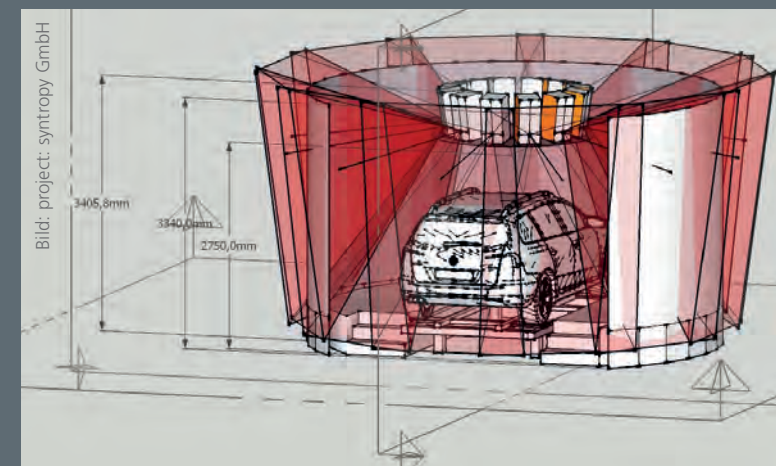
Das Virtual-Reality-Labor (VR-Lab) ist eine hochdynamische und skalierbare Simulationsumgebung. Es verfügt über die Möglichkeit einer 360-Grad-Darstellung der virtuellen Welt. Die flexible Integration von unterschiedlichen Mock-ups und Fahrzeugen gestattet es, Automations- und Assistenzfunktionen durch wiederholbare und reproduzierbare Szenarien zu erproben und zu evaluieren. Durch die Nutzung eines gemeinsamen Software-Frameworks ist die Kopplung mit anderen Simulatoren und Infrastrukturen des Instituts möglich.

### Ausstattung:

- Leitstand mit 6er-Monitormatrix mit zwei Arbeitsplätzen, KVM-Switch für den Zugriff auf jeden Rechner im VR-Lab
- Simulator, 360-Grad-Rundprojektion, 12 Beamer, 16 Rechner für Grafikausgabe (12 für Projektoren, 4 frei verwendbar)
- Software (Dominion und VTD)
- Smart-Board

**Größe:** 60 Quadratmeter

**Anlagenwert:** 875.000 Euro



Skizzen für den Umbau des Virtual-Reality-Labors





Gut bewacht von einem mittelalterlichen Herold: der moderne Glaskubus des Hubschraubermuseums inmitten der Bückeburger Altstadt.

Bild: Hubschraubermuseum

# HIGHTECH IM SCHATTEN DER WESER-RENAISSANCE

## Das Hubschraubermuseum Bückeburg

Von Hans-Leo Richter

Das Gute liegt so nah. Nachdem uns unsere Museumsexkursionen schon nach Dänemark, Polen, England, in die Schweiz und die USA führten, entdecken wir diesmal wieder ein heimisches Kleinod: Teil 26 der Serie führt ins niedersächsische Bückeburg. A2-Fahrer wissen das Städtchen unweit der Porta Westfalica gelegen. Weniger bekannt ist, dass sich dort eines von weltweit nur drei existierenden Hubschraubermuseen befindet. Wir waren für Sie da und entdeckten echte Raritäten aus der Welt der Drehflügler.

### Aus dem Schatten geholt

Meist stehen die Drehflügler in den Luftfahrtmuseen im Schatten der Starrflügler. Nicht so in dem kleinen, aber feinen Museum in Bückeburg. Es ist einzigartig in Deutschland und eine der seltenen musealen Einrichtungen, die sich ausschließlich dem Helikopter, seiner Technologie und Geschichte widmen. Das Hubschraubermuseum ist zentral in der Innenstadt zu finden, gleich gegenüber dem großartigen Bückeburger Schloss, einem markanten Vertreter der prächtigen Weser-Renaissance.

Schräg gegenüber dem Schloss lenkt ein großer Glaskubus die Blicke auf sich, genauer gesagt die darin deutlich sichtbar aufgehängten Hubschrauber – eine originelle Visitenkarte für ein technisches Museum. Das Haus präsentiert circa 50 Hubschrauber und Tragschrauber, zahlreiche Motoren und Einzelkomponenten sowie in einer Vielzahl

von Glasvitrinen eine schier unübersehbare Menge von Hubschraubermodellen aus allen Epochen. All diese Exponate informieren über die weite Welt der Hubschrauber und ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten, denen nicht zuletzt viele Menschen ihre Rettung aus misslichen Situationen verdanken dürften.

Das Museum – in den Sechzigerjahren des 20. Jahrhunderts erbaut – verdankt seine Entstehung der damals neu eingerichteten Heeresfliegerwaffenschule der Bundeswehr, an welcher bis zum heutigen Tag künftige Hubschrauberpiloten ausgebildet werden, und die mittlerweile zu den führenden Hubschrauberschulen Europas zählt. Didaktisch fein durchdacht, sieht man sich beim Betreten des Glaskubus der Historie des Hubschraubers gegenüber: In einer großen Glasvitrine stapeln sich buchstäblich minutiös nachgebildete Modelle, von Beginn der Vierzigerjahre an bis in unsere Zeit. Vor der Vitrine lädt ein Computer den Besucher ein, sich zu den einzelnen nummerierten Modellen auf dem Bildschirm eine detaillierte Info-Seite aufzurufen, die neben einem Foto nahezu sämtliche technische Details enthält – ein Einstieg in die Helikopter-Historie, wie er besser kaum sein könnte.

### Volière mit Konstruktionen, die aus dem Rahmen fallen

Im Obergeschoss des Kubus – sinnigerweise Volière genannt – begegnet man dann den ersten „richtigen“ Hubschraubern, die plakativ an der Decke aufgehängt sind. Hierzu zählen ein scheinbar auf dem Kopf



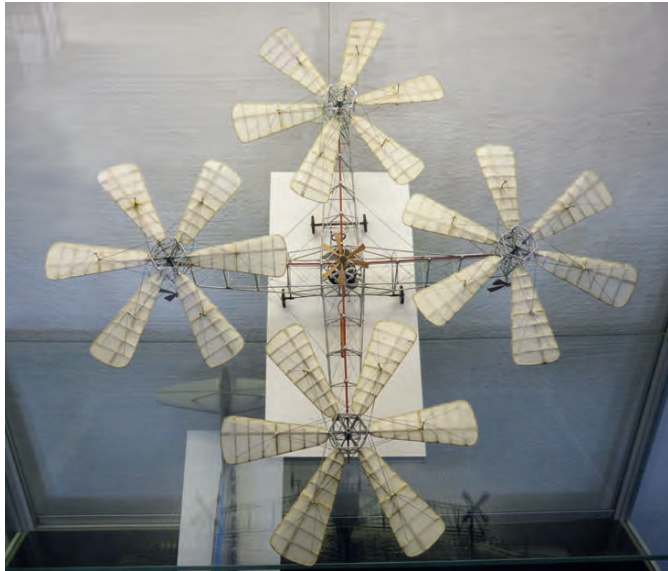
Das „Fliegende Fahrrad“: Modell des weltweit ersten bemannten Hubschraubers, Cornu Nr. II, Erstflug 13. November 1907.



Die große Ausstellungshalle bietet einen repräsentativen Querschnitt der internationalen Helikopter-Historie, im Vordergrund ein russischer Mil Mi 1-Leicht-hubschrauber aus den frühen Sechzigerjahren

Bild: Hubschraubermuseum





In den Zwanzigerjahren entstand in den USA mit dem de Bothezat – Modell1 der größte Drehflügler mit vier Sechsstatt-Rotoren (hier ein Modell). Der Erstflug am 18. Dezember 1922 dauerte allerdings nur 102 Sekunden.



Der Wagner Rotocar von 1960 sollte die Systeme Hubschrauber und Auto miteinander kombinieren. Als Antrieb für die beiden Rotoren diente ein Dreizylinder-Sternumlaufmotor.

fliegender Bölkow Bo 105, ein Sud Aviation Alouette II und dann eine absolute Rarität: der Nachbau einer Konstruktion des Fahrrad-Ingenieurs Paul Cornú. Das Vehikel hatte sich am 13. November 1907 für rund 20 Sekunden etwa 30 Zentimeter über den Erdboden erhoben. Die Bezeichnung „Fliegendes Fahrrad“ war zwar etwas hochgegriffen, die Konstruktion aber doch so etwas wie ein erstes Ingenieurmodell für vertikales Fliegen. Aus dem sozusagen normativen Hubschrauberrahmen fällt auch der Nachbau eines Focke-Wulf Fw 61. Dessen zwei seitlich angeordnete gegenläufig drehende Rotoren waren charakteristisch für die frühen Konstruktionen von Heinrich Focke und Georg Wulf. Immerhin erwiesen sich diese Luftfahrzeuge als die weltweit ersten gebrauchsfähigen Hubschrauber.

Auch im großen Ausstellungssaal des an den Glaskubus angrenzenden Fachwerkgebäudes, des sogenannten Burgmannshofs, wo das Museum seinerzeit zunächst Platz gefunden hatte, wird die vielseitige Historie der Hubschrauber-Entwicklung ausführlich gewürdigt. Bekanntlich reichen erste Überlegungen hierzu bis auf den großen Universal-Gelehrten Leonardo da Vinci zurück. Er hatte bereits Ende des 15. Jahrhunderts erste Skizzen zur Auftriebserzeugung mittels einer archimedischen Schraube, also einer rotierenden Tragfläche, zu Papier gebracht. Das Museum zeigt ein geradezu liebevoll gestaltetes Holzmodell dieses da Vinci-Entwurfs, in dessen zentralem Käfig vier Burschen sich erkennbar bemühen, mittels einer Spindel die Tragflügel-Schraube zum Rotieren zu bringen.

Selbstverständlich sind dann alle großen Namen der Hubschrauberhistorie vertreten. Von Bell gibt es ein Exemplar des kleinen 47 ebenso zu sehen wie den UH-1D, über lange Jahre sozusagen das Rückgrat nicht nur der Bundeswehr-Heeresflieger. Zahlreiche Hubschrauber aus dem Hause Bölkow (später MBB) zeigen den langen Weg vom kleinen zweiseitigen Heli-Trainer Bo 102 bis hin zur Bo 105, dem weltweit ersten Hubschrauber mit einem Rotorkopf ohne Schlag- und Schwenkelenke. Interessant auch das spätere Folgemodell MBB Bo 108, aus dem schließlich der Eurocopter EC 135 entstand, übrigens auch das Basismodell des heutigen DLR-Forschungshubschraubers FHS. Schließlich darf auch der berühmte Name Sikorsky nicht fehlen, für lange Zeit so etwas wie ein Synonym für Hubschrauber. Das Museum zeigt den S 58 (H 34) aus den Fünfzigerjahren, ein seinerzeit universell einsatzfähiges Lasttier mit einem prächtigen Wright-Neunzylinder-Sternmotor.

Der Besucher kann natürlich auch einige bekannte russische Hubschrauber bestaunen, so mehrere Modelle von Mil. Besonderes Interesse weckt hier der leichte Mehrzweckhubschrauber Kamov Ka-26 mit Koaxialrotor. Eine andere, nicht alltägliche Rotorauslegung zeigt der vor allem als Rettungshubschrauber bekannt gewordene amerikanische Kaman HH-43F Huskie mit zwei gegenläufigen und ineinanderkämmdenden Doppelrotoren – nach dem deutschen Flettner-Prinzip aus den Vierzigerjahren. Überhaupt ist die umfangreiche Ausstellung reich an ausgesprochenen Exoten – Entwicklungen, die über das Prototypenstadium nicht hinauskamen. Ins Auge fällt hier vor allem die amerikanische Hiller VZ-1 Pawnee, ein einzigartiges Hubrotor-Fluggerät für militärische Beobachtungszwecke, bei dem der Pilot aufrecht über den beiden ummantelten, gegenläufigen Rotoren stand und die Flugrichtung lediglich durch Körperverlagerung zu steuern vermochte – 1955 flog dieser Apparat erstmals.



Die experimentelle fliegende Plattform „Hiller VZ-1 Pawnee“ aus den USA der Vierzigerjahre: Gesteuert wurde sie lediglich durch die Gewichtsverlagerung des Piloten.



Im Jahr 1970 wurde das Bückeburger Hubschraubermuseum im historischen „Burgmannshof“ von 1483 eingerichtet. Nach mehreren Erweiterungen entstand 2011 der heutige, zweistöckige Glaskubus.

Spannend ist auch das Wagner-„Rotocar“, der Versuch eines deutschen Ingenieurs, einen Hubschrauber mit einem Automobil zu kombinieren. Interessant vor allem der Antrieb des Koaxialrotors: Ein Dreizylinder-Zweitakt-Stern-Umlaufmotor bildet sozusagen den Rotorkopf, an dessen umlaufenden Zylindern die Rotorblätter quasi angeflanscht sind. Der obere Rotor wurde mit Hilfe eines Zahnradsatzes ebenfalls von diesem Motor angetrieben. Für den erdgebundenen Vortrieb schließlich sollte ein zusätzliches 250-Kubikzentimeter-Goggomobil-Motörchen sorgen. Das Projekt, gewiss pfiffig ange-dacht, erwies sich allerdings als genauso kompliziert und letztlich undurchführbar wie der Aufbau seines Antriebssystems. Tatsächlich kam es wohl zu einigen Fahr- und Flugtests, dann allerdings verschwand – hauptsächlich aus Kostengründen – dieser kuriose Entwurf endgültig.



Der Aerospatiale SA 330 Puma ist ein mittelschwerer Transporthubschrauber und ein modernes Beispiel vielseitig verwendbarer Drehflügler

## Einzelkomponenten, Simulator und eine reizvolle Umgebung

Abgerundet wird die umfangreiche Ausstellung durch mehrere Tragschrauber und sogar einige Flugschraubermodelle, wie den VFW H-3E-Sprinter, der gegen Ende der Sechzigerjahre allerdings auch über das Prototypenstadium nicht hinauskam. Wer sich dann noch mit Hubschrauberdetails vertraut machen möchte, findet in zahlreichen Einzelkomponenten wie Rotorkopfsystemen, Motoren und Rotorblättern eine Vielfalt von Beispielen aus der Welt der Hubschraubertechnik. Der Bogen reicht von serienreifen Entwürfen bis zu sogenannten Fingerübungen findiger Ingenieure.

Last but not least bietet das Museum allen Hubschrauberfreaks eine besondere Attraktion: Jedermann kann gegen eine kleine Gebühr in einem durchaus professionellen Hubschraubersimulator – den die Bundeswehr einst im Rahmen ihrer Pilotenausbildung einsetzte – selbst einmal austesten, wie es sich anfühlt, möglichst zeitgleich Stick, Pitch und Pedal für die zyklische beziehungsweise kollektive Blattsteuerung zu bedienen. Ein aus mehreren Monitoren bestehendes Sichtsystem gibt dazu die unverzichtbare optische Unterstützung. Sollte der Besucher in nicht gerade technikaffiner Begleitung sein, so kann auch diese den Aufenthalt genießen: Das gegenüberliegende Schloss, Stammsitz des Hauses Schaumburg-Lippe, sowie erst recht der großartige Schlosspark und nicht zuletzt die pittoreske Altstadt zeigen Bückeburg von einer denkbar prächtigen und harmonischen Seite und sind daher eine lohnenswerte Alternative zum Museumsbesuch – und allein schon einen schönen Tagesausflug wert.

[WWW.HUBSCHRAUBERMUSEUM.DE](http://WWW.HUBSCHRAUBERMUSEUM.DE)

Öffnungszeiten:  
täglich von 10:00 bis 17:00 Uhr  
(nur geschlossen am 24.12./25.12./31.12./01.01.)

Eintritt:  
Erwachsene: 7,50 Euro  
Kinder/Jugendliche von 6 bis 16 Jahren: 4,00 Euro  
Kinder unter 6 Jahren frei





# HUT AB VOR DER GEMEINEN MIESMUSCHEL

Die Gemeine Miesmuschel ist ein Experte. Ein Experte fürs Kleben, der die Ingenieure und Chemiker vor Neid erblassen lässt. Ihren Klebstoff Byssus, mit dem sie sich bombenfest an einer Unterlage befestigen kann, stellt sie dabei auch noch perfektionistisch, exakt an den jeweils notwendigen Wirkungsgrad angepasst her. Ein Weichtier, das im Watt wohnt, lässt den Menschen in Bezug aufs Kleben dumm dastehen. Und gerade deshalb nimmt dieser sich die Miesmuschel als Vorbild, kopiert, so gut es geht, deren Produktionsgeheimnisse – und stellt so Klebstoffe her, mit denen sich Spanplatten und Holzmöbel ohne giftige Substanzen fabrizieren lassen. Auch der Heilige Pillendreher hat etwas, was der Mensch gut gebrauchen kann: Der Erdgräber hat am gesamten Körper eine Art Antihafbeschichtung aus mikroskopisch kleinen Schuppen, an denen Dreckkrümel einfach nur abrutschen. Wenn die Wissenschaftler irgendwann einmal herausfinden, wie das Prinzip funktioniert, könnten Schaufeln, Pflüge, aber auch Kleidung und Schuhe den Dreck einfach nur abschütteln. Autorin Mat Fournier hat für **Bauen wie die Biene, fliegen wie der Vogel. Wenn die Natur die Wissenschaft inspiriert (Haupt Verlag)** fast 70 Kandidaten versammelt, die Ideengeber und Vorbild sind, um technische Probleme des Alltags zu lösen. Die Menschen müssen ihrem Geheimnis nur noch auf die Spur kommen ...

## Arrangement mit Charme

Weil die Natur in vielem einfach gut ist, entwerfen Ingenieure für ihren Roboter Rezeptoren, die vom Seitenlinienorgan eines Süßwasserfisches abgekupfert sind. Materialforscher suchen nach dem Stoff, der so strapazierfähig wie der Seidenfaden einer Spinne ist. Architekten gucken bei der Kieselalge ab, wie sich stabile Kugeln mit möglichst wenig Material produzieren lassen. Auf wunderschön gestalteten Doppelseiten stellt das Buch die Inspirationsquellen aus der Natur mit Texten, Bildern, Zeichnungen und kleinen Infokästen vor. So wurden Exponate aus dem Museum für Naturgeschichte in Toulouse, des Herbariums des Botanischen Instituts der Universität Montpellier-2 und des Écolab der Universität Paul-Sabatier von Toulouse elegant arrangiert fotografiert – gemeinsam mit Illustrationen und Erklärzeichnungen „nach Art der Wissenschaftler“ in aufgeblätterten Notizbüchern und herausgerissenen Zettelchen. Das Ganze hat liebevoll-angestaubten Charme vergangener Zeiten und steht somit scheinbar im Gegensatz zur Hightech-Forschung im Text, für die die Natur leuchtendes Vorbild ist.

## Lernen vom Meister

Auf 160 großformatigen Seiten kann man so genüsslich blättern und lesen, was der Mensch von der Natur lernen kann und will. Dabei begegnet man ungewöhnlichen Tieren wie dem Dornteufel, dem Koffer-Fisch und dem Nebeltrinker-Käfer, aber auch dem Specht, dem Thunfisch, der Hauskatze oder der Libelle. Man liest vom Waldfrosch, der sich im Winter einfrieren lässt –, und dass die Mediziner davon lernen wollen, wie man irgendwann einmal mit dieser Technik Organe konserviert. Die Amazonas-Riesenseerose könnte mit ihrem Sauerstoffkreislauf dafür sorgen, dass stehende Gewässer belüftet werden. Und vom Weißstorch hat Otto Lilienthal schon für seine ersten Flüge gelernt. Mat Fournier wechselt dabei immer wieder geschickt den Fokus: Mal schildert sie die bereits umgesetzten Erfindungen, von denen die Menschen heute profitieren und oftmals nicht wissen, dass sie dies etwas Pelzigem, Schwimmendem oder Fliegendem in der Natur verdanken. Mal erläutert die Autorin, was den Menschen in Zukunft nutzen könnte, wenn sie lernen, wie die Natur schon seit Jahrtausenden mit diesem Problem umgeht. Die Bezüge zwischen Natur und Technik sind oftmals ungewöhnlich und spannend, die Texte gut zu lesen und die Bilder ein Hingucker. Und so muss man letztendlich selbst vor der Gemeinen Miesmuschel vor Bewunderung den Hut ziehen.

Manuela Braun



# KOSMISCHE HERALDIK

Die Suche nach dem originellen Weihnachtsgeschenk treibt uns den Schweiß auf die Stirn. Also rein in den Buchladen. Wer sich nicht mit Massenware zufrieden geben will und ein Faible für Raumfahrt hat, dem sei das Buch **Design for Space (DOM Publisher)** empfohlen. Nur nicht vom Titel in die Irre führen lassen: Es sind nicht die Gebrauchsgegenstände für die Raumfahrt – vom speziellen Trinkbecher über die Trägerrakete bis hin zur Weltraumtoilette –, um die es hier geht. Es sind die sehr speziellen, einzigartigen Missionslogos, die Mission Patches, die in dem Buch von Alexander Glushko die Hauptrolle spielen.

Für die Zeitspanne vom ersten Flug einer Frau in den Weltraum, Valentina Tereshkova, bis zur ISS-Mission Soyuz TMA 16M, präsentiert das 176-Seiten-Buch eine seltene Sammlung: rund 250 Mission Patches, getragen von sowjetischen, russischen und internationalen Kosmonauten und Astronauten seit 1963. Alexander Glushko, einer der führenden Spezialisten für die Geschichte der bemannten Raumfahrt und Raketentechnik in Russland, präsentiert die Embleme mit individuellen Erläuterungen. Die Sammlung umfasst aber nicht nur die Missionslogos, sondern auch Fotos der Besatzungen, ihrer Raumschiffe und Raumstationen. Zusätzliche historische Informationen dokumentieren die Entstehung und Entwicklung der sowjetischen und russischen Symbolik in Bezug auf die Raumfahrt und erwecken die Geschichte der kosmischen Heraldik zum Leben.

Andreas Schütz



# MONDSÜCHTIG MIT APOLLO 1 BIS 17

Was Fans der Mond-Missionen fasziniert, könnte notorischen Leugnern der Mondlandung Wasser auf ihre Mühlen gießen: Die Film- und Fotoaufnahmen der Apollo-Missionen sind auf der DVD **Faszination Weltraum. Moon Shots (New KSM)** teilweise so scharf und so gut ausgeleuchtet wiedergegeben, dass der eine oder andere diese historischen Bilder mal wieder einem Filmstudio der NASA zuschreiben möchte. Zwei DVDs (Blue-ray und 4K Ultra HD) zeigen über 56 Minuten Aufnahmen aller Apollo-Missionen: Crew-Fotos, das legendäre Golfspiel auf dem Mond oder auch die staubige Rover-Fahrt über den Erdtrabanten. „Selten gezeigtes Material“ verspricht das Cover – und sorgt damit bei Raumfahrt-Fans durchaus auch für Enttäuschung. Denn einen großen Teil der Aufnahmen kennt man dann doch. Das schmälert nicht ihre Faszination, nur wird mit dem DVD-Cover eine zu hohe Erwartung geweckt.

Inhaltlich wechselt die mit pathetisch-spielfilmhafter Musik unterlegte Dokumentation in der Qualität. So erscheinen die Informationen manchmal bruchstückhaft; für das Überleiten von einer zur nächsten Mission nahm man sich kaum Zeit. Die ersten Apollo-Missionen kommen äußerst kurz. Deutlich ist zu merken: Hier bestimmen die Bilder, die zur Verfügung standen, den Inhalt – und die Worte des stets fröhlich-optimistischen Sprechers sind nur die daran ausgerichtete Begleitung. Spannend sind aber immer der eingespielte Original-Funkverkehr zwischen Raumkapsel und Kontrollraum und auch die etwas abseitigen Geschichten, wie die Briefmarkenaffäre. Die Apollo-15-Astronauten frankierten auf dem Mond nicht nur genehmigte Briefumschläge, sondern hatten noch eigene mit an Bord gebracht –, um diese später teuer an einen deutschen Sammler zu verkaufen. Das hatte Folgen: Drei aktive Raumfahrtkarrieren endeten deshalb, alle Astronauten wurden für folgende Missionen von der Liste gestrichen ...

Manuela Braun







## BERÜHMTE ERFINDUNGEN UND SOLCHE, DIE ES GERN GEWESEN WÄREN

Man kann mit seinen Einschätzungen so furchtbar falsch liegen – und wahrscheinlich würde sich auch US-Präsident Rutherford B. Hayes wünschen, man hätte sein Urteil nicht für die Nachwelt aufbewahrt: „Eine beeindruckende Erfindung, aber wer sollte so etwas jemals benutzen wollen?“, soll er gesagt haben und meinte damit das Telefon. Nicht allen der **1001 Erfindungen, die unsere Welt veränderten (Edition Olms)** wurde so viel Skepsis entgegengebracht. Der 960-Seiten-Wälzer beschränkt sich in seiner Auswahl ausschließlich auf technische Erfindungen, lässt also Kunst, Literatur oder auch Politik etc. außen vor. Herausgeber Jack Challoner ist sich zudem bewusst, dass manches seiner Auswahl auf etwas kippeligen Füßen steht: Er präsentiert die Erfindungen mit Text und Bild in chronologischer Abfolge, wohlwissend, dass sich der Zeitpunkt nicht immer genau feststellen lässt.

### Von der Narkose bis zum elektrischen Stuhl

So beginnt das Buch mit der Vor- und Frühgeschichte und der Erfindung des Steinwerkzeugs vor 2,6 Millionen Jahren. Was heute selbstverständlich erscheint – Feuerbeherrschung, Behausungen, Kleidung –, musste irgendwann einmal einem Menschen als Idee eingefallen sein und umgesetzt werden. Doch damit kommt das Buch zunächst etwas langsam in Gang. Spannender wird es, wenn unerwartet die WC-Spülung, das Pestizid oder die Narkose ins Spiel kommen, und zwar bereits in der Vor- und Frühgeschichte.

Damit sind wir beim Prinzip des Buchs: Hier muss nichts von vorne bis hinten gelesen werden, sondern Schmökern, Blättern und sich Festlesen nach dem Lustprinzip sind angebracht. Mal sorgt die Erfindung selbst für Interesse, mal das Bild und auch immer wieder die eingestreuten, oftmals nicht ganz ernst gemeinten Zitate, für die sich die Autoren bei Filmen, historischen Persönlichkeiten, literarischen Figuren oder Patentbeschreibungen bedienten. Gewürdigt werden die Parkuhr, das Cellophan, der Synthesizer, der Feuerlöscher ebenso wie das Streichholz. Auch weniger schöne Erfindungen wie der elektrische Stuhl, heute Selbstverständliches wie die E-Mail sowie Banales wie der Einkaufswagen werden unterhaltsam und in angemessen kurzen Texten vorgestellt.

### Auf dem Abstellgleis gelandet

Einen Platz in Challoners Buch hätte sich so mancher Erfinder gewünscht, der bedauerlicherweise in Christian Mährs Buch **Vergessene Erfindungen. Geniale Ideen und was aus ihnen wurde (Dumont)** gelandet ist. Da geht es nicht nur etwas ernster und ausführlicher zu, sondern der Name ist Programm: Wer es in dieses Buch „geschafft“ hat, hätte Besseres verdient – erhielt aber leider nicht die Chance, mit seiner Erfindung die Welt zu verändern. So wie Anton Flettner, der mit dem Flettner-Rotor die Schifffahrt revolutionieren wollte. Oder Moritz Honigmann, der die feuerlose Lok, die Natron-Lok, auf die Spur bringen wollte. Nicht immer kann Mähr erklären, warum die an sich gut funktionierende Erfindung nicht gezündet hatte und sich nicht durchsetzen konnte. Dafür erläutert er ausführlich und mit Anspruch die Erfindungen, die auf dem Abstellgleis der Geschichte landeten – den Semaphor, den hydraulischen Widder, den Holzvergaser oder auch den Absorberkühlschrank und die Kunstsprachen, die niemals zur Weltsprache wurden. Doch manches bekommt irgendwann einmal eine zweite Chance: Das Ionentriebwerk soll bei zukünftigen Missionen ins All vielleicht zum Einsatz kommen.

Manuela Braun

## BESONDERHEITEN DER WISSENSCHAFTLER

Normalerweise vermitteln Bücher über Wissenschaftler wie Marie Curie, Oppenheimer oder Schrödinger, was diese erforscht und entdeckt haben. Ernst Peter Fischer geht mit **Noch wichtiger als das Wissen ist die Phantasie. Die 50 besten Erkenntnisse der Wissenschaft von Galilei bis Einstein (Penguin Verlag)** einen anderen Weg. Und es ist ein Weg, an den man sich gewöhnen muss – oder man legt das Buch schnell wieder weg. Fischer will auf jeweils wenigen Seiten den Wissenschaftler als Persönlichkeit zeigen, manchmal seine Skurrilität, manchmal seine Weisheit.

Das irritiert zunächst, denn dafür wird die eigentliche Entdeckung kaum erklärt. So erfährt man über Alan Turing im selben Satz, wie genial seine Rechenmaschine war und dass er sich mit einem vergifteten Apfel selbst umbrachte, weil seine Homosexualität in der Gesellschaft nicht akzeptiert wurde. Erwin Schrödinger hat laut Ernst Peter Fischer „ein merkwürdiges Leben geführt“. Und Marie Curie reiste zu ihrem zweiten Nobelpreis alleine, weil ihr Mann bei einem Unfall mit einer Pferdekutsche verstorben war und ihre Beziehung zu ihrem Geliebten nicht geschätzt wurde. Für jeden Forscher sucht Fischer einen eigenen, individuellen Zugang. So wird auch jeder der auf jeweils wenigen Seiten vorgestellten Wissenschaftler mit einem oftmals philosophischen Zitat eingeleitet. Das liest sich schön, setzt aber auch sehr viel Vorwissen voraus, damit man die unterhaltsamen Anekdoten unangestrengt genießen und verstehen kann. Hier und da bleibt man mit einem Fragezeichen zurück, da hätten ein paar erklärende Sätze geholfen.



Manuela Braun

## MIT POPKULTUR ZU GALAKTISCHEN ERKENNTNISSEN

Der Vorspann der Kultserie STAR TREK endete stets mit den Worten, dass das Raumschiff Enterprise „in Galaxien vorstößt, die nie ein Mensch zuvor gesehen hat“. Warum eine Reise zu Galaxien außerhalb der Milchstraße allerdings auch mit Warp-Antrieb kaum möglich sein wird, erläutert Physikprofessor und bekennender „Trekkie“ Metin Tolan in seinem Buch **Die Star Trek Physik (Piper Verlag)** naturwissenschaftlich fundiert. Er begründet, warum Quantenfluktuationen auch im 24. Jahrhundert nicht direkt nachgewiesen werden können, und führt aus, was die Merkmale von Klasse-M-Planeten sind oder was Quasare auszeichnet. Und auch zur Wahrscheinlichkeit, im Universum auf intelligentes Leben zu treffen, äußert er sich.

352 Seiten gespickt mit anspruchsvollen physikalischen Phänomenen und Gesetzen – mit Metin Tolan macht Astrophysik Spaß. Zwar gibt es bereits frühere Veröffentlichungen zu den physikalischen Hintergründen von Star Trek. Tolan schafft es aber, mit Humor in die fachliche Materie vorzudringen. Er scheut sich nicht, auf Einsteins Relativitätstheorie einzugehen, und setzt sich mit Formeln auseinander. Aber keine Angst: Jedes Kapitel ist in einen allgemeinverständlichen Teil und die tiefergehenden „Details für Besserwisser“ gegliedert. So überfordert der Autor die fachlichen Laien nicht, unterfordert aber auch nicht wissenschaftlich Erfahrene. Sein Buch ist informativ und unterhaltsam – nicht nur für eingefleischte Fans der Science-Fiction-Saga. Mr. Spock sagt: „Faszinierend!“

Philipp Burtscheidt



### LINKTIPPS

WER IST IM ALL?

<http://bit.ly/118s7rn>

Manchmal gibt es auf Fragen einfache Antworten. Diese Seite sagt, wie viele Astronauten sich gerade im All befinden und wie viele Tage sie schon im Weltraum verweilen. Wer immer up-to-date bleiben möchte, für den gibt es den Service auch als App.

STATISTIK MENSCH

<http://bbc.in/2e1W6p5>

Wie oft haben sich die Zellen meines Körpers schon erneuert? Wie schwer ist mein Gehirn? Und welche Datenmenge ist in meiner DNA gespeichert? – Solche Fragen beantwortet diese interaktive, englischsprachige Webseite von BBC. Nach der Eingabe von Alter, Größe und Gewicht erhält der Nutzer seine persönliche Statistik.

MIT 3,3 MB ZUM MOND

<http://svtsim.com/moonjs/agc.html>

Apollo 11 startete 1969 mit einem geradezu winzigen Steuerungsprogramm. Nur 3,3 Megabyte Code waren nötig, um die Crew erst ins All und dann zum Mond zu bringen. Die englischsprachige Website liefert die Launch-Checkliste und Tipps, um sich am Online-Simulator mal wie Neil Armstrong zu fühlen.

VIRTUELL DIE WELT BEREISEN

<http://geoguessr.com/>

Bolivien oder doch Botswana? In dem kostenlosen Online-Geografie-Spiel reist man per Zufallsgenerator in verschiedene Orte auf der Landkarte des Google-Dienstes Street View – und muss erraten, wo man gerade ist. Je näher man dabei dem wirklichen Ort kommt, desto mehr Punkte gibt es. Aber wenn man nicht gerade Hinweisschilder entdeckt, ist es gar nicht so leicht, zwischen andiner Steppe und afrikanischer Savanne zu unterscheiden.

WOHIN FLIEHEN DIE TIERE?

<http://bit.ly/2feGBt1>

Eine animierte Karte, die von Wissenschaftlern der University of Washington und der Naturschutzorganisation The Nature Conservancy entwickelt wurde, zeigt mögliche Tierströme innerhalb von Amerika. Es sind Migrationsrouten, die die insgesamt 2.954 betrachteten Säugetier-, Vogel- und Amphibienarten nehmen könnten, wenn der Klimawandel ihren Lebensraum bedroht. Ein Problem: Derzeit behindern Straßen, Pipelines oder Zäune ihre Fluchtrouten. (Englisch)

MIT DEN AUGEN EINES PILOTEN

<http://bit.ly/15FQhez>

In seinem Buch „Himmelhoch“, das im Februar 2016 erschien (siehe auch DLR-Magazin 151, Seite 59), erzählt Mark Vanhoenacker von der Faszination des Fliegens. Jetzt hat er für das US-Magazin VOX sechs Dinge aufgelistet, die ihn während seines Jobs immer wieder begeistern. (Englisch)



## 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 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 fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

## Impressum

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

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

Redaktion: Sabine Hoffmann (ViSdP), Cordula Tegen (Redaktionsleitung)

An dieser Ausgabe haben mitgewirkt: Manuela Braun, Dorothee Bürkle, Philipp Burtscheidt, Julia Heil, Fabian Locher, Denise Nüsse, Andreas Schütz und Melanie-Konstanze Wiese

DLR-Kommunikation  
Linder Höhe, 51147 Köln  
Telefon: 02203 601-2116  
Telefax: 02203 601-3249  
E-Mail: kommunikation@dlr.de

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten  
Gestaltung: CD Werbeagentur GmbH, 53842 Troisdorf, [www.cdonline.de](http://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. Hinweis gemäß § 33 Bundesdatenschutzgesetz: Die Anschriften der Postbezieher des DLR-Magazins sind in einer Adressdatei gespeichert, die mit Hilfe der automatischen Datenverarbeitung geführt wird.

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

**ClimatePartner°**  
**klimateutral**  
Druck | ID 53106-1610-1006



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

## Titelbild

David, das Hand Arm System, ist eine der Robotik-Technologien, für die Tilo Wüsthoff das Design schuf.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages