

BEFLÜGELNDE AUSSICHTEN

DIE KABINE DER ZUKUNFT IST SICHER,
HYGIENISCH UND KOMFORTABEL

Weitere Themen:

- ▶ **BIS INS LETZTE DETAIL**
Wie Simulation und Experiment in der Luftfahrt zusammenspielen werden
- ▶ **GRENZGÄNGER**
Stratosphärenflugzeuge vereinen die Vorzüge von Luftfahrt und Raumfahrt
- ▶ **VIRTUELL FEINFÜHLEN**
Ein innovatives Therapie- und Trainingssystem

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Wir betreiben Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projekträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 55 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Unsere 10.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

Impressum

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

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

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

Politikbeziehungen und Kommunikation

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

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten
 Gestaltung: CD Werbeagentur, Burgstraße 17, 53842 Troisdorf, www.cdonline.de
 ISSN 2190-0094

Online lesen:

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

Onlinebestellung:

[DLR.de/magazin-abo](https://www.dlr.de/magazin-abo)

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

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



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

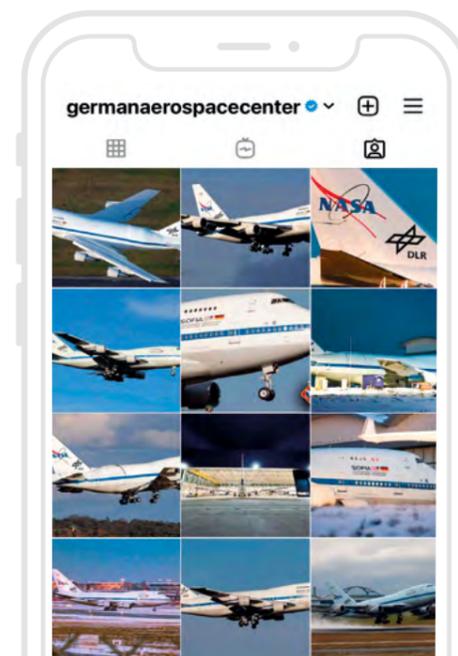


SCHNAPPSCHÜSSE DER DLR-COMMUNITY

Social Media lebt von Interaktion. Entsprechend stehen unsere Redakteurinnen und Redakteure auf den Plattformen Twitter, Instagram, Facebook und Co. im stetigen Dialog mit unserer Community. Ein Thema, das viel Resonanz findet, ist das Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie SOFIA. In den Rumpf dieses außergewöhnlichen Forschungsflugzeugs ist ein 2,7 Meter langes Teleskop integriert, das für astronomische Beobachtungen im Infrarot- und Submillimeter-Wellenlängenbereich eingesetzt wird.

Von Anfang Februar bis Mitte März 2021 war SOFIA am Flughafen Köln Bonn zu Gast. Eine absolute Premiere: Erstmals haben DLR und NASA eine komplette Wissenschaftskampagne von einem deutschen Flughafen aus durchgeführt. Dies begeisterte uns ebenso wie zahlreiche Planespotter, Flugzeugfotografinnen und -fotografen in ganz Deutschland. Sichtbar wurde das unter anderem an vielen Fotos und Videos, in denen das DLR auf den verschiedenen Kanälen verlinkt wurde. Wir teilen die Faszination unserer Userinnen und User und freuen uns über jedes einzelne Foto, das wir geschickt bekommen! So bleibt die Social-Media-Redaktion auch bestens im Bilde, welche Themen auf unseren sozialen Plattformen gefragt sind.

Auf Instagram ist das DLR unter [@germanaerospacecenter](https://www.instagram.com/germanaerospacecenter) zu finden, auf Facebook und Twitter auf [@DLR_de](https://www.facebook.com/DLR_de) beziehungsweise [@DLR_en](https://twitter.com/DLR_en).



Liebe Leserinnen und liebe Leser,

über ein Jahr leben wir nun mit den Einschränkungen der Corona-Pandemie. Schon länger ist klar, dass es sich hierbei nicht um ein einmaliges Ereignis handelt, das es zu überstehen gilt, damit wir danach weitermachen können wie zuvor. Vielmehr werden verschiedenste Probleme wie unter einem Brennglas fokussiert. Anstatt zu lähmen, wirkt Covid-19 aber in manchen Bereichen auch beflügelnd. Ein Beispiel ist die Luftfahrt: Während der Flugbetrieb noch eingeschränkt ist, machen sich DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler Gedanken, wie wir in Zukunft sicher und gleichzeitig komfortabel von A nach B reisen können. Dafür blicken sie über den Tellerrand hinaus und entwerfen ganz neue Konzepte für den Kabinenraum des Flugzeugs. Für die Luftfahrtbranche ist die Krise eine Chance, Paradigmen zu hinterfragen, die in den letzten Jahrzehnten selbstverständlich schienen. Das sind die Worte von Dr. Markus Fischer, dem neuen kommissarischen Bereichsvorstand Luftfahrt des DLR, der in diesem Heft im Kurzinterview darüber spricht, wie die großen Herausforderungen Pandemie und Klimawandel die Luftfahrt verändern.

Ein vielversprechender Kandidat, um solche Prozesse zu beschleunigen, ist die Digitalisierung. Das DLR beschäftigt sich schon viele Jahre mit der Frage, welche Rolle Simulation und Experiment bei der Entwicklung und Bewertung von Flugzeugen und Technologien spielen werden. Im Interview spricht der DLR-Wissenschaftler Prof. Dr. Görtz über die Schwierigkeiten und Potenziale von virtuellen Flugversuchen und inwiefern sie schon an ihre realen Pendanten heranreichen.

Mit der Schnittstelle zwischen Virtualität und Realität beschäftigen sich auch die DLR-Verkehrsforscherinnen und -forscher. Beispielsweise nutzen sie eine Virtual-Reality-Brille, mit der sie die reale Welt um virtuelle Objekte erweitern können. Ihr Ziel ist es, Nutzerinnen und Nutzern eine Vorstellung davon zu geben, wie ein zukünftiges automatisiertes, vernetztes Verkehrssystem aussehen könnte. Darüber spricht auch Magnus Lamp. Er ist der Programmdirektor Verkehr im DLR und würde sich in Zukunft gerne automatisiert von seinem Wohnort am Stadtrand ins Zentrum bringen lassen.

Weitere Themen in diesem Heft sind das 60-jährige Jubiläum des DLR-Standorts Stuttgart, das solarbetriebene Stratosphärenflugzeug, das weit über dem Flugverkehr und dem Wettergeschehen unterwegs ist, sowie das neue Wohnquartier, das gerade in Oldenburg entsteht und bei dem der Energiehandel mit der Nachbarschaft direkt mitgedacht wird.

Viel Vergnügen beim Lesen wünscht Ihnen

Ihre Redaktion

DLRmagazin 167



BEFLÜGELNDE AUSSICHTEN

8



DAS ERBE DES ENTDECKERS

52



ES GEHT UM DIE ZUKUNFT

50



WOHNEN UND HANDELN

30



GRENZGÄNGER

20



VIRTUELL FEINFÜHLEN

48



BIS INS LETZTE DETAIL

14



AUTONOMES FAHREN – QUO VADIS?

34

MELDUNGEN	6
▶ BEFLÜGELNDE AUSSICHTEN	8
Zukünftiges Kabinendesign	
DIE KRISE ALS CHANCE	13
Interview mit dem Bereichsvorstandsmitglied Luftfahrt	
▶ BIS INS LETZTE DETAIL	14
Simulation und Experiment in der Luftfahrt	
PSSSSST	18
Ein neuer Prüfstand für leisere Antriebe	
▶ GRENZGÄNGER	20
Das solarbetriebene Stratosphärenflugzeug HAP alpha	
STRATOSPÄRISCHE ACHTERBAHN	24
Wie wird sich die Ozonschicht entwickeln?	
EIN AUSSERIRDISCHER KRIMI	28
Ende der Mission des DLR-Marsmaulwurfs	
WOHNEN UND HANDELN	30
Ein Quartier mit einem völlig neuen Energiekonzept	
AUTONOMES FAHREN – QUO VADIS?	34
Wo stehen wir und wohin wird die Reise gehen?	
SCHARFGESTELLT	38
Eine Brille visualisiert das digitalisierte Verkehrssystem	
VOLLE(R) ENERGIE	40
60 Jahre DLR-Standort Stuttgart	
MELDUNGEN	44
VOM PIONIER ZUM WEGBEGLEITER	45
Kommentar von Reinhold Ewald	
WENN AUS MINUTEN JAHRE WERDEN	46
Selfie aus dem All	
▶ VIRTUELL FEINFÜHLEN	48
Ein innovatives Therapie- und Trainingssystem	
ES GEHT UM DIE ZUKUNFT	50
Sozial-ökologische Forschung beim DLR Projektträger	
DAS ERBE DES ENTDECKERS	52
Der 200. Geburtstag von Hermann von Helmholtz	
GEDÄCHTNIS DER RAUMFAHRT	54
Das Hermann-Oberth-Raumfahrt-Museum in Feucht	
FEUILLETON	56

QUANTENCOMPUTER SIMULIERT BATTERIEN

Mit einem Quantencomputer erforscht das DLR elektrochemische Vorgänge in Batterien und Brennstoffzellen. Damit sollen Leistung und Energiedichte deutlich gesteigert werden. In Simulationen vergleichen die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler das quantenchemische Zusammenspiel für verschiedene neuartige Materialien und Elektrodenstrukturen. Die leistungsfähigeren Energieträger können im Bereich Elektromobilität eine wichtige Rolle spielen, denn dort werden vor allem kleine und leichte Energiespeicher mit hoher Kapazität und Leistung benötigt. Zudem lassen sich Zersetzungsprozesse verhindern, sodass sich die Lebensdauer von Akkus und Brennstoffzellen erhöht. An dem Projekt QuEst (Quantencomputer Materialdesign für elektrochemische Energiespeicher und -wandler mit innovativen Simulationstechniken) sind die DLR-Institute für Technische Thermodynamik, für Quantentechnologie, für Softwaretechnologie sowie das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik beteiligt.



Bild: IBM

Dieser Quantencomputer soll elektrochemische Vorgänge für leistungsfähige Batterien und Brennstoffzellen simulieren.

NASA-ROVER PERSEVERANCE ERFORSCHT DEN MARS

Der Mars-Rover Perseverance hat seine Arbeit aufgenommen, nachdem er am 18. Februar 2021 erfolgreich im Krater Jezero gelandet ist. Es war die präziseste Landung auf dem Mars, die es je gegeben hat. Das DLR ist im Wissenschaftsteam der Mission Mars 2020 vertreten und an der Auswertung der Daten und Bilder beteiligt. Perseverance wird nach Anzeichen von früherem Leben suchen und Gesteinsproben sammeln, die schließlich mit Folgemissionen zur Erde zurückgebracht werden sollen. Der bisher komplexeste Rover der NASA trägt mehr Kameras als jede andere interplanetare Mission der Raumfahrtgeschichte. 19 Aufnahmesysteme befinden sich auf dem Rover, vier Kameras auf anderen Teilen des Raumfahrzeugs. Sie zeichnen Eintritt, Abstieg und Landung auf. Zum Einsammeln von Proben trägt Perseverance zudem 38 Behälter, die mit Bohrkernen aus bis zu 20 Zentimeter Tiefe gefüllt und zunächst an geeigneten Stellen auf dem Mars für einen späteren Transport abgelegt werden. Zwei zukünftige gemeinsam von NASA und ESA geplante Missionen sollen die etwa bleistiftgroßen Proben in den frühen 2030er Jahren zur Erde bringen.

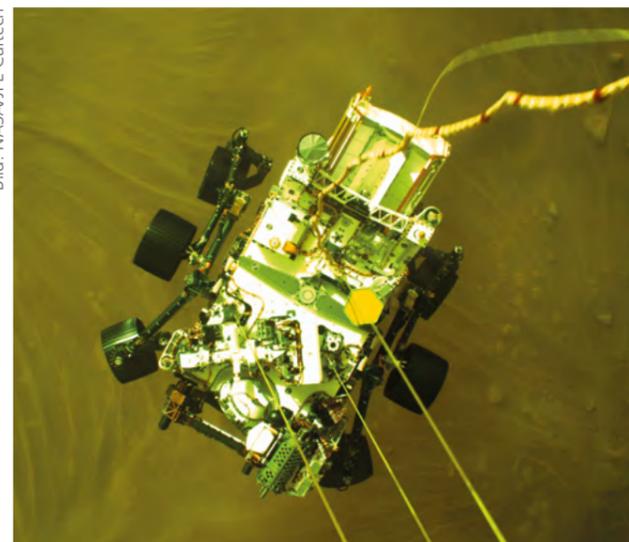


Bild: NASA/JPL-Caltech

Der NASA-Rover Perseverance kurz vor dem Aufsetzen auf dem Marsboden

INTELLIGENTE HILFE IM KATASTROPHENFALL

Einsatzkräfte von humanitären Hilfsorganisationen müssen im Katastrophenfall möglichst rasch – am besten in Echtzeit – wissen, wie groß die Schäden an Gebäudestrukturen in der betroffenen Region sind und wo Verkehrswege zum Einsatzort genutzt werden können. Außerdem müssen Hilfsgüter schnell und effektiv in unzugängliche Regionen gelangen. Für diese Anforderungen entwickeln und erproben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR im Projekt Drones4Good neuartige Technologien auf Basis künstlicher Intelligenz in Kombination mit dem Einsatz von Drohnen. Das Team wird einerseits Bilddaten aufnehmen, die in Echtzeit und noch an Bord der Drohne verarbeitet werden, andererseits wird es den sicheren Abwurf von Hilfsgütern erproben. Bei Drones4Good arbeitet das DLR zusammen mit dem World Food Programme (WFP) der Vereinten Nationen, dem Technischen Hilfswerk THW, der Hilfsorganisation I.S.A.R. Germany und der internationalen Vereinigung Wings For Aid.



Die Drohne mit integriertem Luftbildkamerasystem MACS (Modular Aerial Camera System) dient zur optischen Aufklärung von Großschadenslagen.

SICHER UND GUT GESCHÜTZT

Künstliche Intelligenz (KI) ist eine der Schlüsseltechnologien für die Zukunft. Das neue DLR-Institut für KI-Sicherheit entwickelt Methoden und Algorithmen für den sicheren und zuverlässigen Einsatz in der Luftfahrt, Raumfahrt sowie den Gebieten Energie und Verkehr. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler forschen an robusten KI-basierten Lösungen, welche die hohen Anforderungen sicherheitskritischer Anwendungsbereiche erfüllen (Safety) und dabei optimal vor Angriffen geschützt sind (Security). Ein wichtiges Ziel sind KI-Systeme, die vorhersehbar, korrekt und nachvollziehbar agieren. In ihrer Arbeit greifen die Forscherinnen und Forscher unter anderem auf die Daten von Großforschungsanlagen des DLR zurück. Auch Fragen zu Ethik, Recht oder die Akzeptanz in der Gesellschaft werden adressiert. Dazu bauen die Fachleute ein wissenschaftliches Netzwerk auf, das die Kompetenzen unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen und Stakeholder zusammenbringt. Das Institut hat einen grundlagenorientierten Fokus und liefert auch anderen DLR-Instituten und -Einrichtungen spezifische Ergebnisse und Einsichten, um sichere KI-Anwendungen aufzusetzen.



Bild: DLR/tampatra – stock.adobe.com

Institut für KI-Sicherheit St. Augustin und Ulm

Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Frank Köster

Geplantes Personal:
ca. 120

Website:
DLR.de/KI



REGIONALMELDUNGEN

JENA: In dem Projekt „Undercover Eisagenten“ erforschen Schulklassen in Deutschland und Kanada gemeinsam das Tauen des arktischen Permafrostes anhand von Drohnen- und Satellitenbildern. Dazu verwenden die Teilnehmenden eine App: ungewöhnliche Strukturen und Veränderungen der Landoberfläche werden in den Aufnahmen kartiert. Undercover Eisagenten wird vom DLR-Institut für Datenwissenschaften koordiniert. Interessierte Schulen können sich noch bis Ende des Jahres bei christian.thiel@dlr.de melden.

KÖLN: Im Rahmen des Programms „Artist Meets Archive“ begab sich der spanische Künstler Joan Fontcuberta auf Materialrecherche in das Zentrale Archiv des DLR in Göttingen. Die Ergebnisse von Fontcubertas Arbeit mit dem Titel „Gossan: Mars-Mission“ werden im Mai 2021 als Teil des Kölner Fotografie-Festivals Photoszene United gezeigt.

STUTT GART: Das DLR entwickelt den weltweit ersten Brennstoffzellen-Antriebsstrang für Flugzeuge – mit einer Leistung im Megawattbereich. Dieser könnte ein Regionalflugzeug mit 40 bis 60 Sitzen und einer Reichweite von 1.000 Kilometern antreiben. Das DLR-Institut für Technische Thermodynamik baut für das Projekt BALIS einen einzigartigen Teststand auf, der sowohl die komplette Hardware als auch die notwendige Infrastruktur abbildet.

BRAUNSCHWEIG: Schiffsdecklandungen auf hoher See unter schlechten Sichtbedingungen sind auch für erfahrene Hubschrauberpilotinnen und -piloten eine große Herausforderung. Im Projekt HEDELA (Helicopter Deck Landing Assistance) erforscht das DLR – gemeinsam mit dem Flugdienst der Bundespolizei – Assistenzsysteme, die dabei unterstützen. Eine Augmented-Reality-Brille entlastet bei schwierigen Sichtbedingungen und blendet optische Orientierungspunkte sowie wichtige Informationen direkt ins Sichtfeld ein.

LAMPOLDSHAUSEN: Auf dem diesjährigen Wasserstofftag am 22. Juli tauschen sich Fachleute aus den Branchen Automotive, Energiewirtschaft, Wasserstoffwirtschaft und Projektentwicklung über aktuelle Entwicklungen und Trends zum Thema Wasserstoff aus. Interessierte Vertreterinnen und Vertreter aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft können sich unter s.DLR.de/WXEGb anmelden.

BERLIN: Im Helmholtz Innovation Lab OPTSAL (kurz für: Optical Technologies for Situational Awareness Lab) am DLR-Institut für Optische Sensorsysteme arbeiten Forscherinnen und Forscher gemeinsam mit Nutzern und Industriepartnern an neuen optischen Technologien und Methoden für Lagebilder – beispielsweise zur Unterstützung von Rettungskräften. Mit der Quantum-Systems GmbH etwa wird das DLR zukünftig neue optische Instrumente für unbemannte Systeme entwickeln.

DLR.DE: MELDUNGEN AUF UNSERER WEBSITE

Alle Meldungen können in voller Länge und mit Bildern oder auch Videos online im News-Archiv eingesehen werden.

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

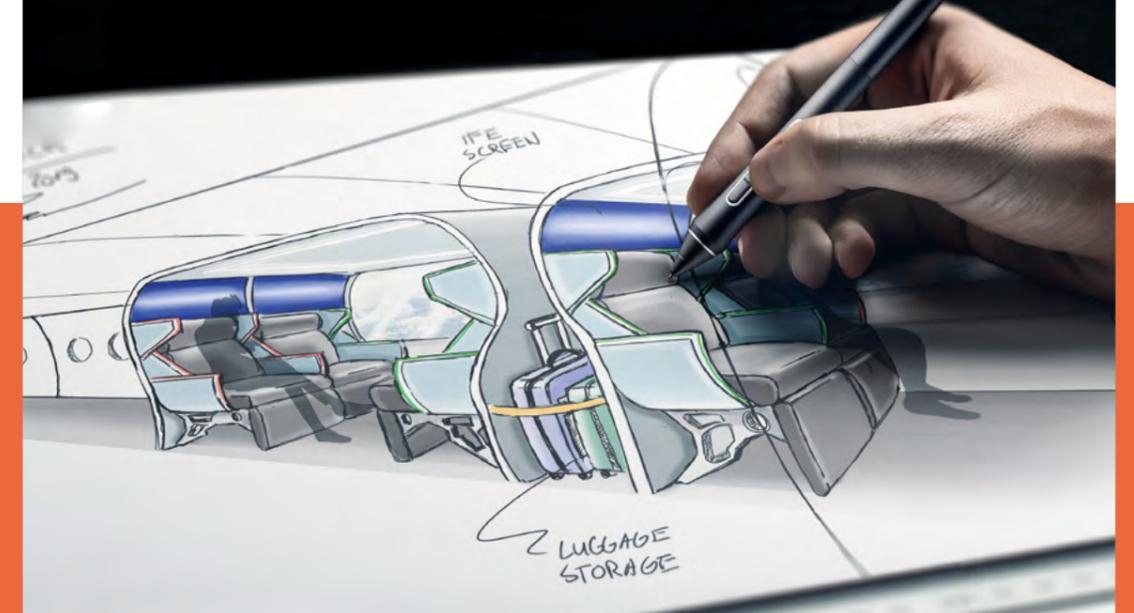
BEFLÜGELNDE AUSSICHTEN

Wie Passagiere die hygienische, komfortable und sichere Kabine der Zukunft schon jetzt mitgestalten

von Jana Hoidis



Zukünftige Luftfahrzeuge müssen möglichst klimafreundlich und leise sein – trotzdem sollte der Komfort während der Reise nicht auf der Strecke bleiben. Neue Kabinenkonzepte könnten diese Anforderungen erfüllen. Am DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt in Hamburg-Finkenwerder untersucht ein Team von Industriedesignerinnen und -designern, wie Menschen in Zukunft unterwegs sein möchten, wie sich ihr Reiseverhalten aufgrund der Pandemie ändern könnte und welche Auswirkungen dies auf die Gestaltung von Flugzeugen hat. Das Team erarbeitet neue Konzepte für eine modulare Flugzeugkabine, die an die Bedürfnisse der Menschen angepasst ist, und bezieht dafür auch die Passagiere in den Designprozess mit ein.



Digitale Handskizzen stellen den Ideenprozess grafisch dar und lassen sich unkompliziert elektronisch weitergeben. In diesem Entwurf sorgen Trennwände zwischen den Sitzen für mehr Privatsphäre. Die neue Art Gepäck zu verstauen könnte den Boardingprozess beschleunigen und so Warteschlangen verkürzen.

Flugzeuge müssen hohen Sicherheitsanforderungen gerecht werden, damit sie in der Luft und am Boden zuverlässig funktionieren. Das steht außer Frage und ist auch heutzutage das wichtigste Kriterium. Bei der Gestaltung der Flugzeugkabine gingen Industriedesignerinnen und -designer bisher vom gesamten Flugzeug als Basis aus. Das Projekt InDiCaD (Innovative Digital Cabin Design) schafft technische Grundlagen, um Design und Auslegung von Kabinenkonzepten digital direkt zu verknüpfen. „Zukunft denken!“, lautet das Credo von Fabian Reimer, Ivana Moerland-Masic und Thomas-Matthias Bock vom DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt in Hamburg-Finkenwerder. „Wir stellen den Menschen in unserem Projekt in den Mittelpunkt und überlegen, wie sich sein Reiseverhalten und seine Bedürfnisse durch aktuelle Trends verändern“, erklärt Ingenieur und Kabinendesigner Fabian Reimer. Beim Team entstehen erst Konzepte und Entwürfe für den Passagierbereich. Diese werden dann an neue Flugzeuge und daraufhin an ein digitales Flugzeug-Gesamtkonzept angepasst. Technische Komponenten wie Klimatisierung und Belüftung der Kabine können direkt im Entstehungsprozess mitgeplant werden.

„Wir haben im Projekt die seltene Freiheit, die Kabine um den Menschen zu planen. Hierzu denken wir uns zunächst in Nutzerinnen und Nutzer hinein, um ihre Bedürfnisse und Wünsche zu erkennen“, erklärt Industriedesignerin Ivana Moerland-Masic. „Bei einer Kaffeemaschine oder einem Designerstuhl ist es einfach, den Nutzerkreis zu erkennen, aber bei einem Flugzeug gibt es weitaus mehr Interessengruppen.“ Zunächst sind es Passagiere, Piloten, Flugbegleiter; aber auch Airlines, Zulassungsbehörden, Zulieferer, Wartungs- und Serviceanbieter gehören dazu. Und alle sollen mit dem Endprodukt Flugzeugkabine zufrieden sein. Keine leichte Aufgabe. „Unser Ziel im Projekt InDiCaD sind komplett virtuelle Entwürfe der Kabinengestaltung. Nutzer- und Zielgruppen bewerten erste Ansätze. Im Anschluss werden diese dann angepasst. Der Produkttest ist also im Vergleich zum herkömmlichen Ansatz stark optimiert“, beschreibt Moerland-Masic die Vorteile ihrer Arbeit.

Reisetrends der Zukunft

Die Reisebranche war bis zum Ausbruch der Corona-Pandemie ein lukratives Geschäft. Es wird davon ausgegangen, dass der Luftverkehr bis zum Jahr 2023 auf dem Vorkrisenniveau sein wird. Bereits vor der Pandemie beschäftigten sich Meinungsforschungsinstitute, Reiseanbieter sowie

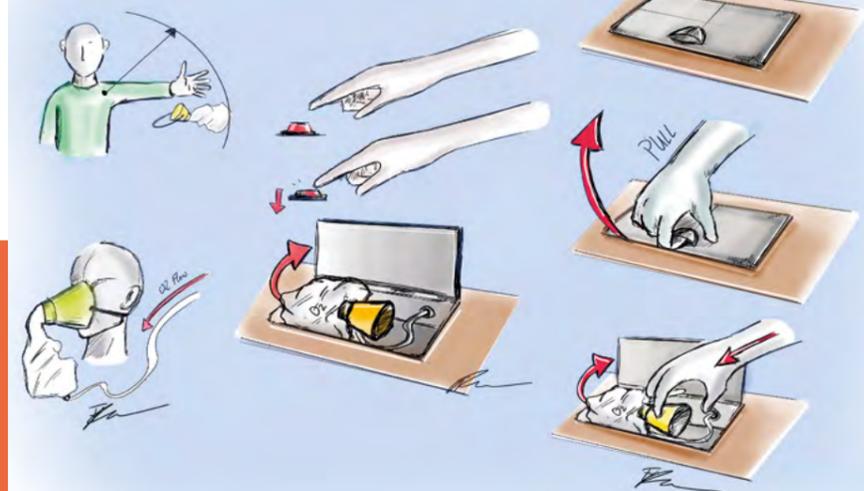
Designagenturen wie Seymourpowell damit, wie sich die Menschen zukünftig während ihres Urlaubs oder auf Dienstreisen fortbewegen möchten. „Wir haben uns unterschiedliche Reisetrends angeschaut und mögliche Auswirkungen der aktuellen Pandemiesituation auf die Luftfahrt der Zukunft mit-einbezogen“, beschreibt Fabian Reimer das Vorgehen. „Trends sind allerdings immer ein wenig ein Blick in die Kristallkugel und können sich jederzeit kurzfristig durch äußere Ereignisse ändern.“

Mit steigendem globalem Wohlstand nimmt die Reiseaktivität auf der ganzen Welt zu. Es ist zu erwarten, dass Reisende das individuelle Erlebnis fernab vom Massentourismus suchen: Es zählt das Reisen gegen den Trend („Touristen sind immer die anderen“) wie auch das Entdecken unbekannter, neuer Orte. Abhängig von der Generation werden auch eigene Überzeugungen sowie gesellschaftliche Veränderungen eine stärkere Rolle spielen. Nachhaltiges und bewusstes Reisen rücken in den Fokus. Häufig dauern diese Reisen länger, um mehr über das Land und die Menschen zu erfahren.



Regelmäßige Kommunikation, Brainstormings und Workshops fördern die kreative Ideenfindung im Team. Im späteren Prozess werden auch potenzielle Nutzergruppen befragt, um deren Bedürfnisse zu erkunden.

Auf Grundlage der digitalen Skizze entsteht das 3D-Modell. Sitzabstände und Proportionen in der Kabine lassen sich so veranschaulichen. Es dient als Grundlage für die Erprobung in der virtuellen Realität, in der das Konzept für die Zielgruppen greifbar und erlebbar wird.



Ergonomische Designstudien sind wesentlich für die Entwicklung von Ideen und zum Verständnis wichtiger Funktionen. Konzeptdetails wie Reichweiten oder Aktivierungsmöglichkeiten werden bereits früh und in Form von Skizzen visualisiert.

Vom Best Ager bis zum Millennial

Neben allgemeineren Trends betrachtet das Designteam noch feiner nuancierte, generationsabhängige Vorlieben. Die Gruppe der Best Ager umfasst Menschen ab 65 Jahren. Best Ager zählen zu den Megatrends und bilden einen wesentlichen Einflussfaktor für zukünftiges Flugzeugkabinendesign. Verglichen mit den heutigen Seniorinnen und Senioren sind im Jahr 2030 oder 2050 wesentliche Unterschiede im Verhalten und bei Bedürfnissen zu erwarten. Das bewusste Nutzen der neu gewonnenen Zeit steht im Vordergrund. Menschen dieser Altersklasse werden fitter und mobiler sein und häufiger das Flugzeug als Fortbewegungsmittel wählen.

Dem gegenüber steht die sogenannte Generation „Y“, auch Millennials genannt (Geburtsjahre frühe 1980er bis späte 1990er). Diese Generation wird als künftig wichtigste Gruppe für Businessreisen gesehen. Das Designteam geht von einem starken Anstieg weiblicher Businessreisender, der sogenannten Nomadic Business Women, aus. Speziell in Business-Bereichen sollen die Bedürfnisse weiblicher Reisender zukünftig eine größere Rolle spielen. Neutrale Form- und Farbgebung, mehr Privatsphäre, mehr Platz im Toilettenbereich sind einige Beispiele, die in den Fokus rücken.

In Zeiten der Covid-19-Pandemie verändert sich der Reisesektor. Der Trend des Post-Pandemic-Travellers wurde vom DLR definiert und dient als geschätzter Richtwert für Passagiere mit veränderten Bedürfnissen infolge der Pandemie: Mit der hohen Ansteckungsgefahr gingen die Integration von Desinfektion wie auch Atemschutzmasken sowie ein erhöhtes Hygieneverständnis und Abstandsregelungen einher. Die pandemiebedingten Entwicklungen und die aktuelle Situation führen die Designer zu der Annahme, dass diese Themen auch den Reisesektor nachhaltig beeinflussen werden.

Hineinversetzen in die Passagiere

Auf Basis dieser und weiterer Trends sowie Interviews mit verschiedenen Nutzergruppen hat das Team sogenannte Personas definiert. Dies sind Menschentypen, die stellvertretend für eine Gruppe stehen. „Eine Flugbegleiterin gab uns detaillierte Einblicke in den Alltag des Kabinenpersonals. Sie erzählte, welche Herausforderungen es mit sich bringt, wenn Menschen unterschiedlicher Kulturen mit dem gleichen Flugzeug fliegen“, berichtet Ingenieur und Designer Reimer. Für Menschen mit Behinderung ist es noch immer schwierig, sich im Flugzeug zu bewegen. „Ein Rollstuhlfahrer erzählte, dass es für ihn nahezu unmöglich ist, die Waschräume zu nutzen.“

„Wir stellen den Menschen in unserem Projekt in den Mittelpunkt und überlegen, wie sich sein Reiseverhalten und seine Bedürfnisse durch aktuelle Trends verändern.“

Fabian Reimer

Modulare Kabinenkonzepte, orientiert am Menschen

Allen Personas gemein ist, dass sie sich ein komfortableres, sicheres Reisen wünschen. Bereits der Weg zum Zielort soll sicher und angenehm sein. Wichtige Anforderungen sind mehr Platz im Sitz- und Gangbereich sowie in den Waschräumen. Anhand dessen skizzierte das Designteam eine Vielzahl von Ideen.

Einer ihrer Entwürfe ist der Suspended Compartment Seat. Seine feste, deckenhohe Schale sorgt für mehr Privatsphäre im Flugzeug. Die Passagiere können sich, ähnlich wie im Zug, gegenüber sitzen und sich so näher sein, wenn sie zusammen reisen. Integrierte Trennwände erhöhen zudem den Infektionsschutz, was das Sicherheitsgefühl verstärkt. Die Passagiere können sich sogar Schlafflächen schaffen, indem sie die Sitze umklappen. Das ist aktuell nur in Business-, First- oder Premiumklassen möglich. Zudem schafft ein Gepäckfach unter dem Sitz mehr Platz im Kopfbereich und ermöglicht ein schnelleres Boarding. Schlangen im Gang werden vermieden, weil Passagiere nicht erst mühsam ihr Gepäck verstauen müssen.

ZUKÜNFTIGE NUTZERGRUPPEN IM REISESEKTOR (PERSONAS)

Best Ager

Malte Jensen, Alter 75

Nutzt auf Inlandsreisen das Flugzeug, um seine Kinder in weit entfernten Städten zu besuchen; schätzt, dass weite Strecken mit dem Flugzeug in kurzer Zeit bewältigt werden können; längere Flugreisen dürfen gern luxuriöser sein; anstrengend sind häufige Wartesituationen, Sitzplatzsuche in der Kabine sowie zunehmende körperliche Beschwerden.

Nomadic Business Woman

Alexandra Zimmer, Alter 31

Ist reisebegeistert, sportlich, spontan und flexibel; hat viel Stress im Job, Work-Life-Balance ist ihr dennoch wichtig; schätzt im Flugzeug Businessbereiche, Filme, Essen und gute Getränke; Schlafen im Flugzeug fällt ihr schwer; stressig sind Anschlussflüge und wenig Platz für den Laptop in der Kabine; es fühlt sich für sie unhygienisch an, viele Dinge in der Kabine anfassen zu müssen.

Person With Reduced Mobility

Tim Neumann, Alter 43

Neugierig, weltoffen und eher optimistisch; mag an Flugreisen die kurze Reisedauer im Vergleich zur Bahn; Nachteile sind hohe Zeitverluste beim Boarding, geringe Barrierefreiheit, die Tatsache, dass ein eigener Rollstuhl an Bord nicht möglich ist und die Nutzung der Toilette mit Einschränkungen und Hindernissen verbunden ist.

Post Pandemic Traveller

Tina Schröder, Alter 58

Eher traditionell eingestellt; Sicherheit, Glück und Gesundheit sind sehr wichtig; hat klare Bedürfnisse und Ziele auf Reisen; sehr wichtig ist die Planung der Reise; mag an der Fortbewegung mit dem Flugzeug, für wenig Geld weit reisen zu können; mag keine großen Menschenmassen in engen Bereichen, lange Wartezeiten, schlechte Luft oder gestresste Mitreisende; wünscht sich mehr Platz auf dem Sitz und der Toilette; fürchtet sich vor Ansteckung bei Krankheitsausbrüchen im Flugzeug.



Undertourist

Linus Müller, Alter 19

Reiseform und Ziele müssen mit seinem Gewissen vereinbar sein; hat klare Werte, mag klimafreundliches Reisen; das Fliegen macht für ihn Länder und Städte auf der ganzen Welt erreichbar; an Flugzeugen kann er neben hohen Schadstoffemissionen und engen Kabinen das Gefühl nicht leiden, dass seine Bedürfnisse und die der anderen Menschen zu kurz kommen; möchte Billigairlines auf keinen Fall unterstützen.

Luxploring Family

Karin & Jonas Weber, Alter 37 und 39, und Kinder

Intellektuell, offen, weltorientiert und an einem achtsamen Leben interessiert; möchten Karriere und Familie vereinen und ein intensives Leben führen; mögen am Fliegen die Vorfreude auf den Urlaub, die kurze Reisedauer und das Erlebnis für die Kinder; allerdings sind Sitzbereiche häufig nicht für Kinder ausgelegt und die Bedienung des Entertainmentsystems ist oft veraltet.





Raum für medizinische Notfälle und zur Behandlung erkrankter Passagiere – die Liege kann aber auch zur Entspannung genutzt werden.



Im Rahmen der pandemischen Ausbrüche entwarf das Team sogar ein Konzept für einen Medizinraum zur Versorgung von erkrankten Passagieren. Er kann außerdem flexibel angepasst und als Entspannungsbereich mit Entertainment genutzt werden. Die Bedienelemente sind so konzipiert, dass sie ergonomischen Anforderungen bestmöglich entsprechen. „Wir haben die medizinischen Geräte an der Erste-Hilfe-Liege so designt, dass die Bedienelemente im Notfall alle schnell und einfach erreichbar sind“, führt Reimer aus.

Aus den Entwürfen generiert das Team ein 3D-Modell. Dieses wird über eine Virtual-Reality-Brille (VR) erfahrbar. In der Vergangenheit wurden bei der Kabinenentwicklung Skizzen, 3D-Grafiken oder aufwändige Prototypen genutzt, um die Ideen zu diskutieren. „Wir haben die Erfahrung gemacht, dass wir unsere Entwürfe den Nutzerinnen und Nutzern so am besten präsentieren können. Sie sind in der Lage, sich in der ganzen Kabine zu bewegen und vollständig in die neue Umgebung einzutauchen“, erläutert Ivana Moerland-Masic. Dieses Vorgehen ist schneller und kostengünstiger als der Bau großer, teurer Prototypen. Für das Jahr 2022 ist im DLR-Projekt InDiCaD eine Versuchskampagne geplant, in der stellvertretend aus jeder Persona-Gruppe mehrere Probanden die neuen Entwürfe erfahren und bewerten sollen. Da VR-Brillen auch zu Hause genutzt werden können, ist es gut möglich, sich kontaktlos aus dem Homeoffice auszutauschen. Das Team hat die Freiheit, losgelöst von finanziellen Vorgaben kreative Ideen zu entwickeln. Das Fliegen soll trotz allem aber noch bezahlbar bleiben. Wie die Konzeptentwürfe in die Praxis umgesetzt werden können, soll in Folgeprojekten mit externen Partnern wie Airlines geprüft werden. Moerland-Masic sieht die Covid-19-Pandemie als Chance, unser Leben nachhaltig zu verändern: „Es ist schwierig, bereits heute abzusehen, wohin die Reise geht. Aber eines ist sicher: Wir befinden uns an einer Kreuzung und können einen neuen Weg einschlagen hin zu mehr Innovation, Umweltschutz und der Möglichkeit, Reisenden ein besseres Erlebnis zu bieten.“

Jana Hoidis ist für die Kommunikation am Standort Hamburg verantwortlich und freut sich, hoffentlich bald dem Trend des Post-Pandemic-Travellers zu folgen.

DAS TEAM AUS DEM DLR-INSTITUT FÜR SYSTEMARCHITECTUREN IN DER LUFTFAHRT



Fabian Reimer arbeitet seit 2019 beim DLR. Er studierte Flugzeugbau mit dem Schwerpunkt Kabine und Kabinensysteme an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Hamburg. Während seines Studiums war er bereits bei Airbus im Bereich Cabin and Cargo of the Future tätig. Flugzeuge gehören für ihn zu den spannendsten und komplexesten Produkten überhaupt. Er reist gerne als Individualtourist, mag die Bewegungsfreiheit in der Bahn und freut sich, zukünftige Flugzeuge mitgestalten zu können. Auch privat interessiert er sich für Design und Kunst. In seiner Freizeit malt er Bilder mit Acryl auf Leinwand.



Ivana Moerland-Masic ist mit Star Trek groß geworden und träumte schon als Jugendliche davon, Technik nach menschlichen Bedürfnissen zu gestalten. Nach ihrem Studium des Industrial Designs an der Technischen Universität Delft kam sie 2016 zum DLR in Hamburg. Sie möchte das Reisen mit dem Flugzeug ästhetischer und angenehmer gestalten. Mit ihrer Familie macht sie gerne individuelle Reisen, bei denen sie sich Zeit nimmt, fremde Länder intensiv kennenzulernen. Dienstlich schätzt sie Reisen mit dem Flugzeug, da sie so schneller wieder zu Hause bei ihrer Familie ist.



Thomas-Matthias Bock ist studierter Industriedesigner und war 35 Jahre bei Airbus in Toulouse im Kabinendesign kreativ. Er hat an der Gestaltung nahezu eines jeden Flugzeugmodells der letzten Jahrzehnte mitgewirkt. Im Rahmen seiner Tätigkeit reiste er rund um den Globus: Von Economy- bis First-Class – er hat sie alle erfahren. Auch hat er Design-Konzepte für mehr als 50 Airlines erstellt. Die fremdländische Farb- und Textildesign sowie das Flair in den Fliegern anderer Kulturen stimmten ihn immer schon in der Luft auf sein Reiseziel ein. Seit 2019 bringt er seine langjährige Erfahrung im DLR in Hamburg ein.

DIE KRISE ALS CHANCE

Interview mit Dr. Markus Fischer, Bereichsvorstandsmitglied Luftfahrt des DLR



Klimawandel, Pandemie, Lärmemissionen – wie verändern diese großen Herausforderungen die Luftfahrt von heute?

Die übergeordneten Ziele für die Luftfahrt in Deutschland und Europa, also der Aufbau eines klimaneutralen und auf höchsten Sicherheitsstandards beruhenden Lufttransportsystems sowie der Ausbau der Hochtechnologiefähigkeit, haben sich auch durch die Covid-19-Krise nicht geändert. Was uns aber sowohl die Krise als auch die immer deutlicher sichtbaren Anzeichen des Klimawandels lehren, ist, dass wir erheblich schneller handeln müssen als bisher. Unsere Partner und wir sehen die Krise als Chance, Entwurfsparadigmen und Forschungsthemen zu hinterfragen, die für uns in den letzten Jahrzehnten des stetigen Luftverkehrswachstums wegweisend und erfolgreich waren. Neue Themenfelder wie die zunehmende Elektrifizierung und Digitalisierung der Luftfahrt, simulationsbasierte Auslegungsprozesse, neue Energieträger, neue Materialien und Leichtbauprinzipien spielen dabei eine wichtige Rolle. Durch sie verändern sich merklich der Entwurfsraum und wichtige Entwurfskriterien für ein zukünftiges Lufttransportsystem. Dies gilt es, intensiv zu erforschen. Dabei werden sich alle Beteiligten in der Luftfahrt fragen müssen, ob das Fliegen in der Zukunft anders aussehen kann als heute, ausgedrückt beispielsweise in der Größe der Flugzeuge, der Mission, der Reisegeschwindigkeit und -flughöhe oder auch des Flugweges.

Welche Maßnahmen versprechen schnellen Erfolg auf dem langen Weg zum klimaneutralen Fliegen – nachhaltige Treibstoffe, Wasserstoff, Batterien, Brennstoffzellen ...?

Der Luftverkehr trägt in besonderer Weise zur Klimaänderung bei, da seine Emissionen meist in Höhen erfolgen, in denen sie besonders klimawirksam sind. Dies ist der typische Betriebsbereich großer ziviler Passagierflugzeuge auf der Kurz- bis Langstrecke. Neue Fluggasturbinenkonzepte und thermodynamische Kreisprozesse, die Weiterentwicklung bewährter Triebwerkskonzepte in Verbindung mit dem Einsatz von nachhaltigen Kraftstoffen als Ersatz für fossiles Kerosin oder die direkte Verbrennung von Wasserstoff versprechen schnelle Erfolge für einen klimafreundlicheren Luftverkehr. Ebenso ist auch die klimaoptimierte Flugführung ein schnell verfügbares und aussichtsreiches Instrument, zumindest angewendet auf einen Teil der fliegenden Flotte und in bestimmten Lufträumen. Gleichzeitig müssen hybrid-elektrische Antriebe intensiver erforscht werden, die entweder turbo-elektrisch oder auf Basis von Energiespeichern wie Batterien oder Brennstoffzellen betrieben werden. Die Energie- und Leistungsdichte dieser Technologien macht

sie in diesem Jahrzehnt interessant für Flugzeug- und Betriebskonzepte im Bereich der Zubringer- und Regionalflugzeuge für Reisen innerhalb von Ballungsgebieten oder zum nächstgrößeren Flughafen.

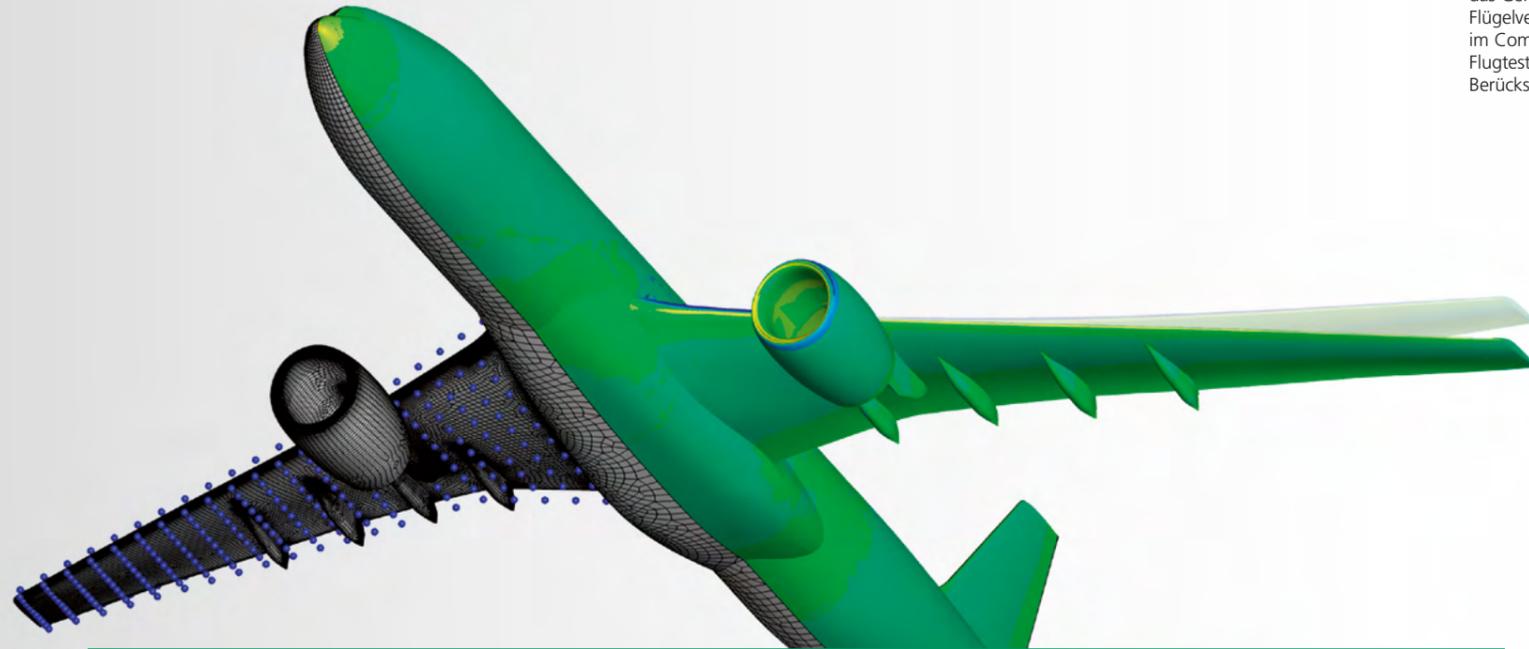
Welchen Beitrag leistet das DLR für eine grünere Luftfahrt?

Die Luftfahrtforschung des DLR orientiert sich am European Green Deal. Unser Ziel ist es, anwendungsnahe Lösungen für eine emissionsfreie Luftfahrt ab dem Jahr 2050 bereitzustellen. Wir betrachten dabei aber nicht nur die chemischen, sondern auch die physikalischen Emissionen: beispielsweise die weitere Reduktion des Fluglärms durch lärmarme Flugzeugentwürfe und Flugbewegungen. Darüber hinaus beraten wir Flughäfen und Politik, wie sie Fluglärm reduzieren können. Dank der Kompetenzen von über 25 DLR-Instituten und -Einrichtungen, die im Bereich Luftfahrt forschen, sowie einer einzigartigen Forschungsinfrastruktur kann das DLR das gesamte Lufttransportsystem betrachten und verstehen. Diese Fähigkeit wollen wir noch stärker als bisher im Luftfahrtnetzwerk aus Wissenschaft, Industrie, Wirtschaft und Politik vertreten. Unser Ziel ist es, Handlungs- und Entscheidungsgrundlagen anzubieten, um den künftigen Luftverkehr gemeinsam ökoeffizient gestalten zu können.

Die Fragen stellte **Julia Heil**, Redakteurin im Bereich Kommunikation des DLR.



Dr. Markus Fischer ist seit diesem Jahr Bereichsvorstandsmitglied (kommissarisch) Luftfahrt des DLR. Er wurde 1994 an der Leibniz-Universität Hannover im Bereich Maschinenbau promoviert und war von 1991 bis 1996 als Wissenschaftler im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik tätig. Danach arbeitete er in verschiedenen Firmen der Luftfahrtindustrie, unter anderem bei Airbus und bei Rheinmetall Defence. 2017 kehrte er zurück ins DLR und wurde zum Programmleiter Luftfahrt ernannt.



BIS INS LETZTE DETAIL

Die Luftfahrt wird zunehmend digitaler. Wie werden Simulation und Experiment in Zukunft zusammenspielen?

von Yvonne Buchwald

Die Luftfahrt verändert sich. Die Corona-Pandemie könnte diesen Prozess noch beschleunigen. Dabei spielen nicht nur alternative Antriebe eine Rolle und die Frage, wie künftige Flugzeuge aussehen, sondern auch der Weg dorthin: Wie werden neue Flugzeuge und Technologien entwickelt und bewertet? Was werden wir schneller und wirtschaftlicher am Computer machen? Wo brauchen wir noch das Experiment? Wird die Luftfahrtforschung tatsächlich bald vollständig digitalisiert? Und – haben wir das nicht schon einmal gedacht? Prof. Dr. Stefan Görtz leitete das DLR-Projekt VicToria (Virtual Aircraft Technology Integration Platform) – das größte seiner Art im Bereich Digitalisierung in der europäischen Luftfahrtforschung. Es wurde Ende 2020 abgeschlossen. 160 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 13 DLR-Instituten und -Einrichtungen haben Methoden entwickelt, um neue Technologien für wirtschaftlicheres und umweltfreundlicheres Fliegen in Zukunft schneller bewerten und neue Fluggeräte (fast) ausschließlich am Rechner entwerfen zu können.

Herr Görtz, erste wichtige Schritte in Richtung virtuelle Flugzeugentwicklung und Flugerprobung auf Grundlage hochgenauer Simulationsmethoden wurden bereits in früheren Projekten gemacht. Geben Sie uns ein Update: Wo genau stehen wir jetzt?

Wir schreiten konsequent und zielstrebig voran in Richtung Digitalisierung der Luftfahrt – auch wenn es gelegentlich unterschiedliche Erwartungen, Rückschläge, sich verändernde Randbedingungen und Visionen gab und gibt. Schritt für Schritt nähern wir uns der Idee des virtuellen Produkts. Dies ist eine hochgenaue mathematisch-numerische Darstellung des Fluggeräts mit all seinen Eigenschaften. Wir können heute Flugzeug-Geometrien viel detailreicher abbilden.

Im Projekt VicToria simulierten die Forscherinnen und Forscher das Geräusch des Hochauftriebssystems, die Flugdynamik und die Flügelverformung des DLR-Forschungsflugzeugs A320 ATRA im Computer. Dann verglichen sie die Simulation mit realen Flugtestdaten und entwarfen ein Langstreckenflugzeug unter Berücksichtigung aller relevanten Disziplinen.

Vor allem aber betrachten wir Technologien und Disziplinen nicht mehr einzeln und losgelöst voneinander, sondern gekoppelt. Wir konnten schon vor 30 Jahren ganze Flugzeuge berechnen und haben viele aerodynamische Simulationen gemacht. Aber das allein reicht natürlich nicht. So ein Flugzeug ist ja auch elastisch. Die Flügel biegen sich, der Tankinhalt schwappert bei Manövern hin und her, es gibt so vieles, das berücksichtigt werden muss, und genau darauf kommt es an. Indem wir unsere neuen, hochwertigen Simulationsverfahren miteinander koppeln, schaffen wir eine interdisziplinäre Simulations- und Entwurfsumgebung, mit der wir die physikalischen Eigenschaften eines Flugzeugs und die Interaktion der Disziplinen genauer simulieren können als je zuvor.

2013 sagten Sie: „Erst wenn sich ein Flugzeug im Rechner verhält wie in Wirklichkeit, kann das digitale Flugzeug das Versuchsflugzeug ebenbürtig ergänzen.“ Wie nah sind wir bereits an dieses Ziel herangekommen?

Vor fünf bis zehn Jahren war man noch nicht so weit zu sagen, dass Simulationen an echte Flugversuche herankommen und dass ein digitales Flugzeug ein echtes ersetzen kann. Im Projekt VicToria haben wir beispielsweise virtuelle mit realen, hochinstrumentierten Flug- und Windkanalversuchen abgeglichen – übrigens in dieser Detailtreue eine weltweit einzigartige Fähigkeit. Im Frühjahr und Herbst 2019 haben wir Flugversuche mit dem DLR-Forschungsflugzeug A320 ATRA real in der Luft und am Computer durchgeführt. Dabei haben wir festgestellt, dass wir mit unseren heutigen hochgenauen Methoden die Flugeigenschaften sehr genau simulieren und mithilfe von gezielten virtuellen Flugversuchen ein Modell des ATRA im Computer aufbauen können.

„Wir betrachten Technologien und Disziplinen nicht mehr einzeln und losgelöst voneinander, sondern gekoppelt.“

Das ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zum digitalen Entwurf und zur simulationsbasierten Zulassung. Aber wir müssen noch genauer werden und noch mehr Details in unsere Berechnungen aufnehmen, um zu einer hundertprozentigen Übereinstimmung von virtuellen und realen Flugversuchen zu kommen.

Vermeintliche Kleinigkeiten, etwa wie die Massenverteilung im Flugzeug genau ausfällt, spielen eine wichtige Rolle. Plakativ gesprochen: Ob der Pilot oder die Pilotin auf dem gemessenen Flug ein Portemonnaie dabei hatte, ist am Ende eine Information, die ebenfalls ins „Gewicht“ fällt. Die Frage wird sein: Wann sind wir nahe genug an der Realität?

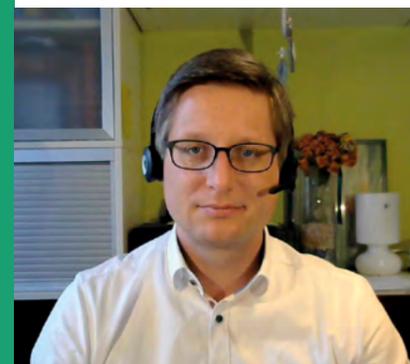


Bild: Privat

Prof. Dr. Stefan Görtz leitet die Abteilung C²A²S²E (Center for Computer Applications in AeroSpace Science and Engineering) im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik. Seit Dezember 2019 ist der 46-jährige Luft- und Raumfahrt-Ingenieur Professor für Multidisziplinäre Optimierung an der Technischen Universität Braunschweig. Er leitete von 2016 bis 2020 das interdisziplinäre DLR-Projekt VicToria, war bereits am Vorgängerprojekt Digital-X maßgeblich beteiligt und ist mit seinem Team weiterhin in das Querschnittsprojekt Simulation Based Certification (SimBaCon) involviert.



Mit einem in der Flugzeugkabine installierten Stereokamerasystem wurde die Deformation der Tragfläche während verschiedener Flugmanöver vermessen.



Bild: Wilbri GmbH

Die Flügel des A320 ATRA wurden mit einer speziellen Folie beklebt, um deren Verformung während des Fluges optisch zu vermessen.

erkunden und den Entwurf in die richtige Richtung zu lenken. Es wird künftig weniger darum gehen, den Windkanal oder Flugversuch zu nutzen, um ein ganzes Flugzeug zu entwerfen. Stattdessen wird man umgekehrt vorgehen: Erst kommt die Simulation, der numerische Entwurf, dann das Experiment zur Überprüfung und Bestätigung. Und indem wir nicht nur leistungsstärkere Computer, sondern auch bessere Messtechnik nutzen, können wir mit dedizierten Experimenten unsere Computermodelle weiter optimieren. Damit verfolgen wir konsequent den Weg vom digitalen Entwurf zur virtuellen Zertifizierung.

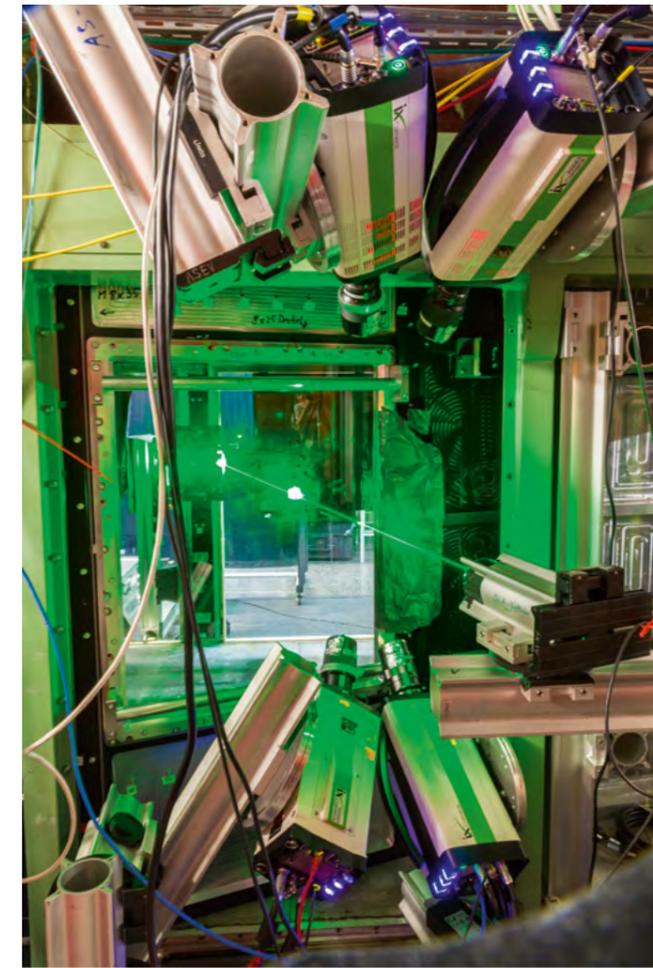
Gerade wenn es um den virtuellen Erstflug geht – also die Zulassung eines Flugzeugs –, wird Computerdaten nach wie vor deutlich mehr misstraut als realen Tests. Wie stehen Sie dazu?

■ Wir haben im Projekt VicToria die Grundlagen für eine digitale Entwicklung und Beschreibung von Flugzeugen und Hubschraubern geschaffen. Das Projekt ist einmalig, da hier alle relevanten Disziplinen, wie Aerodynamik, Aeroelastik, Lastanalyse, Flugdynamik und Struktur, eingebunden und zusammengeführt wurden – für virtuelle Flugversuche und den multidisziplinären Entwurf. So etwas kann nur das DLR, keine Uni und in dieser Konsequenz bisher auch kein Industrieunternehmen. Wir haben erstmals Experimente zur reinen Überprüfung unserer Modelle und Simulationen durchgeführt: mehrere Windkanaltests und zwei Flugversuchskampagnen mit dem ATRA. Die ausgewerteten Messdaten wurden wiederum genutzt, um die numerischen Verfahren zu verbessern und bezüglich ihrer Vorhersagegenauigkeit zu überprüfen.

„Es wird weiterhin Experimente geben, zwar weniger, dafür aber gezieltere und hochwertigere.“

Wir sind jetzt in der Lage, virtuelle Flugversuche durchzuführen, die sich im Detail mit echten Flugversuchen abgleichen lassen. Das bedeutet, wir können ein virtuelles Modell eines Flugzeugs oder Hubschraubers mit all seinen Eigenschaften aufbauen. Das könnte zum Beispiel für die Auslegung eines Systems genutzt werden, das die Last bei Böen oder während Manövern abmindert und so den Passagierkomfort steigert. Und nicht nur das: Wir können jetzt auch Methoden für neue Flugzeuge wie den iSTAR (Artikel im DLRmagazin 164) liefern oder sogar Flugzeuge, die es noch gar nicht gibt, virtuell entwerfen, testen und fliegen. Zukünftig wird es möglich sein, den „digitalen Zwilling“ eines Flugzeugs oder Hubschraubers bereitzustellen, der dazu genutzt wird, das Potenzial neuer Technologien in einer virtuellen Entwurfsumgebung zu bewerten und Folgen, wie den Einfluss der neuen Technologien auf die Umwelt, abzuschätzen.

Das Gespräch führte **Yvonne Buchwald**, Institutskommunikatorin im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Braunschweig.



Mit einem neuen hochauflösenden Messverfahren haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Eiffel-Windkanal der Universität der Bundeswehr in München (AWM) Strömungen im Detail untersucht, wie sie bei der Umströmung von Flugzeugkomponenten vorkommen. Mit den Daten konnten sie ihre Modelle verbessern und die Güte ihrer Simulationsmethoden überprüfen.

SIMULATIONSBASIERTE ZERTIFIZIERUNG

Bis neue Technologien oder Fahrzeuge eine Zulassung erhalten, können mehrere Jahre vergehen – inklusive aufwändiger Testfahrten oder Flugversuche. Bei der simulationsbasierten Zertifizierung geht es darum, dass ein Großteil der Nachweise, die für den Zulassungsprozess nötig sind, am Computer erbracht werden. Im DLR-Querschnittsprojekt Simulation Based Certification (Artikel im DLRmagazin 161) arbeiten mehrere DLR-Institute und -Einrichtungen an einem Werkzeug für die digitalisierte Zertifizierung. Ihr Ziel ist es, Simulationsverfahren so weiterzuentwickeln, dass die Behörden diese als zulässige Verfahren zur Nachweisprüfung akzeptieren.

DAS DLR-PROJEKT VicToria KURZGEFASST

VicToria ist ein Vorzeigeprojekt, weil ...

„wir im DLR die einzigartige Möglichkeit hatten, in diesem Projekt alle relevanten Disziplinen der Luftfahrtforschung einzubinden und zusammenzuführen.“

Das Thema ist sehr aktuell, denn ...

„die Entwicklung, Erprobung und Fertigung neuer Fluggeräte sind mit hohen zeitlichen und finanziellen Risiken verbunden. Durch die Corona-Pandemie wird es umso wichtiger, die Einführung innovativer Technologien für wirtschaftlicheres und umweltfreundlicheres Fliegen zu beschleunigen und technologische Unwägbarkeiten besser zu beherrschen.“

Völlig neuartig war ...

„im Vergleich zu den Vorläuferprojekten von VicToria die Kombination von Windkanalexperimenten und realen wie auch virtuellen Flugversuchen auf Basis validierter und weiterentwickelter Simulationsmethoden. Außerdem haben wir alle flugphysikalischen Disziplinen berücksichtigt.“

Ein paar Zahlen zum Projekt wären ...

„knapp 4 Jahre Laufzeit (2016–2020), 36 Millionen Euro Projektvolumen, 13 DLR-Institute und -Einrichtungen waren beteiligt, 160 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben mitgewirkt.“

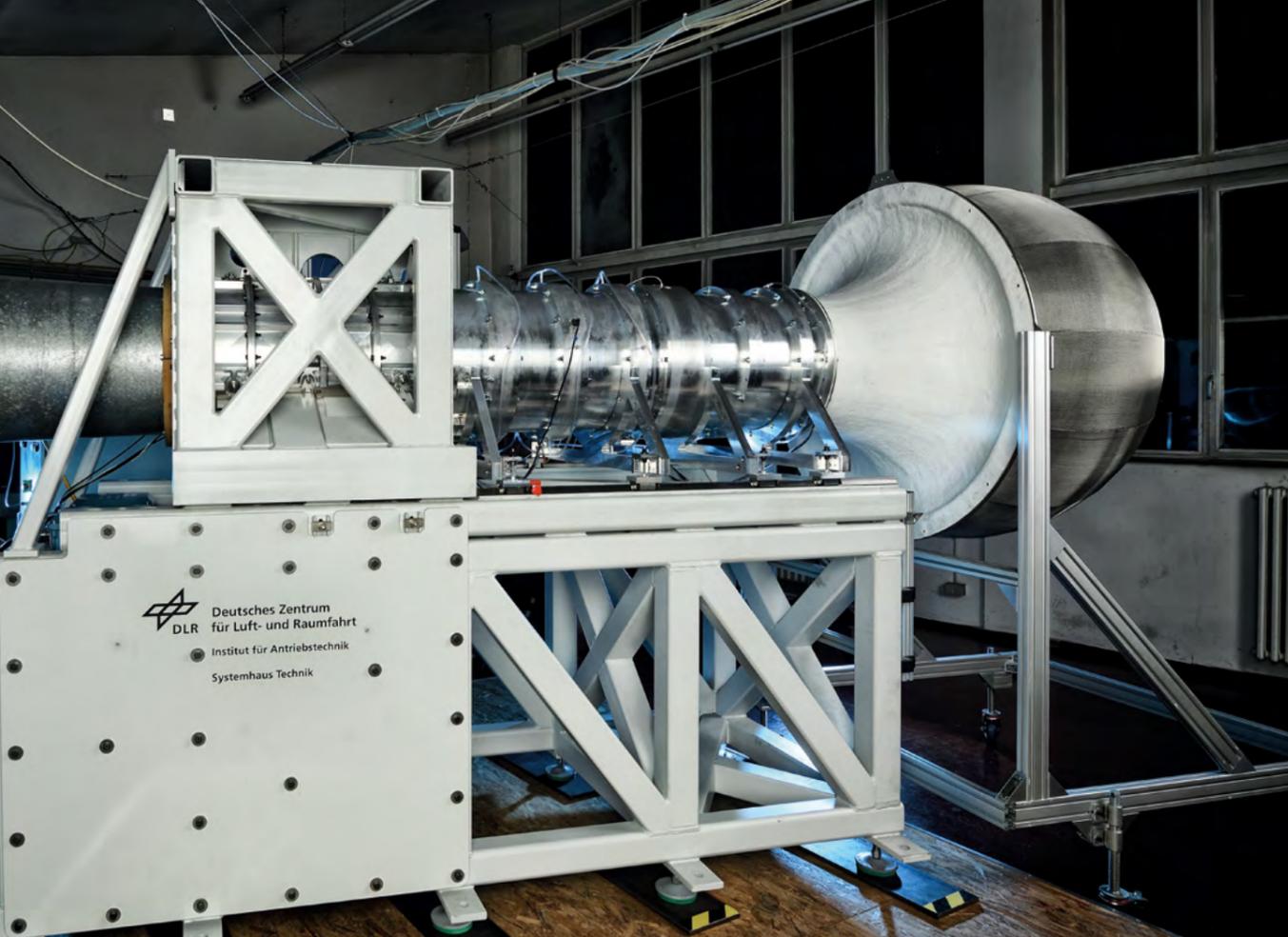
Wann sind unsere Simulationen gut genug, um vollständig auf sie vertrauen zu können? Hier ist zum einen der Dialog mit den Zulassungsbehörden wichtig, zum anderen können zukünftig Testpilotinnen und -piloten das virtuelle Modell des Flugzeugs oder Hubschraubers im Flugsimulator mit den Flugeigenschaften des realen Fluggeräts vergleichen und bewerten.

Eine erste Digitalisierungseuphorie ging bereits in den 1970er Jahren durch die Forschungslandschaft – die herkömmlichen Experimente, so schien es, waren aus der Mode gekommen. Man prognostizierte, dass computergestützte Simulationsverfahren die Windkanal- und Flugversuche ablösen werden.

■ Das war tatsächlich so. Als Verfahren für die numerische Strömungssimulation erstmals entwickelt und für heute eher rudimentär erscheinende Probleme angewendet wurden, war man überzeugt, man könne das Experiment schon bald ersetzen. Das war aber viel zu optimistisch. Die Forscherinnen und Forscher erkannten schnell, dass es vor allem in der Modellierungstiefe und bei der Zusammenführung der beteiligten Disziplinen Defizite gab. Auch waren die Rechenkapazitäten begrenzt – die Supercomputer der Firma Cray hatten in den 1980er Jahren gerade mal die Leistung eines iPhone 4. Während man damals Modelle für den vergleichsweise einfachen Reiseflug erstellte, können wir heute komplexe Strömungsphänomene modellieren und dynamische Flugmanöver simulieren. Damals wurden Windkanal- beziehungsweise Flugversuche sehr schnell wieder als unverzichtbar aufgewertet, was uns heute zugutekommt, insbesondere um unsere Simulationsmethoden zu verbessern.

Nach der Umkehr und Rückbesinnung auf die experimentelle Forschung spielten numerische Simulation, Windkanal- und Flugversuche – gleichberechtigt – ineinander. Aktuell scheint der Fokus doch wieder auf der Digitalisierung zu liegen. Haben wir es mit einem Forschungsdreigestirn zu tun oder gibt es doch einen Siegeszug der numerischen Simulation?

■ Es gab Zeiten, in denen dachte man, die Simulation könne alle herkömmlichen Methoden sehr schnell ersetzen. Und es gab Zeiten, in denen dachte man, der Windkanal sei die absolute Wahrheit. Natürlich sind alle Methoden nur Annäherungen an die Realität. Aber ja, es gibt eine Verlagerung. Heute sind wir überzeugt: Es wird weiterhin Experimente geben, zwar weniger, dafür aber gezieltere und hochwertigere. Und zu einem anderen Zeitpunkt. Die Simulation ist nämlich im frühen Entwurfsstadium wichtiger geworden, um ausreichend breite Parameterräume schnell zu



PSSSSST

Im neuen Fanprüfstand des DLR in Berlin werden leisere Antriebe getestet

von Melanie-Konstanze Wiese

Die gesellschaftliche Akzeptanz von Luftfahrzeugen wird in Zukunft entscheidend von ihrer Umweltverträglichkeit abhängen. Das betrifft nicht nur ihre Klimawirkung, sondern auch den Lärm, den sie verursachen. Die Antriebskonzepte der modernen zivilen Luftfahrt reichen von Airtaxis bis hin zu großen Verkehrsflugzeugen. Eine Vielzahl künftiger Luftfahrzeuge wird mit Fans ausgestattet sein, die man an den von außen sichtbaren, großen ummantelten Rotoren erkennt. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Antriebstechnik arbeiten daran, dass diese Fans deutlich leiser werden, als sie es heute sind, dabei aber genauso effizient bleiben. Dafür müssen sie erst die Ursachen für den Lärm sehr genau lokalisieren, um sie dann beheben zu können. Die DLR-Forscherinnen und -Forscher entwickelten einen Prüfstand, mit dem solche Antriebskonzepte schon im Prototypenstadium getestet werden können.

CRAFT – das englische Wort für Kunsthandwerk – ist der Name dieser neuen, einzigartigen Versuchsumgebung und bedeutet ausgeschrieben Co/Contra-Rotating Acoustic Fan Test Rig. Nach drei Jahren Entwicklungszeit steht die Anlage nun im Labor des DLR-Instituts für Antriebstechnik in Berlin-Charlottenburg. „Mit den Messdaten unseres neuen Prüfstands können wir unsere Modellierungsverfahren überprüfen, mit denen wir lärmarme Fans designen“, sagt Prof. Lars Enghardt, Leiter der Abteilung Triebwerksakustik und ergänzt: „Mit den Versuchen am CRAFT können wir Rückschlüsse ziehen, wie wir neue Antriebe optimal in zukünftige Fluggeräte integrieren – sei es bei großen Verkehrsflugzeugen der nächsten Generation, in denen die Triebwerks-gondeln sehr kurz ausgeführt oder sogar in die Flugzeugstruktur eingebettet sind, oder bei urbanen Airtaxi-Konzepten, bei denen elektrisch angetriebene Fans eng am Rumpf oder Tragflügel installiert sind.“ So will sich das Team rund um Enghardt Schritt für Schritt einer nachhaltigeren Luftfahrt nähern – mit Antrieben, die sowohl leiser als auch effizienter sind als herkömmliche Flugzeugtriebwerke.

Modular, flexibel, einzigartig

Das Besondere an dem neuen Prüfstand ist sein modularer Aufbau. In der einmaligen Versuchsumgebung des CRAFT kann die Fan-Schallanregung detailliert untersucht werden. Ein Doppelwellensystem ermöglicht Untersuchungen sowohl der weitverbreiteten Rotor-Stator-Konfigurationen als auch von aerodynamisch effizienten Rotor-Rotor-Konfigurationen sowie zweistufigen Verdichtern. Dank einer langen freitragenden Nabe können die Berliner Akustikerinnen und Akustiker die Abstände zwischen Rotor und Stator beziehungsweise Rotor und Rotor flexibel variieren. Zudem können sie Rotoren auch isoliert untersuchen. Dabei lassen sich die Statorschaufeln einfach austauschen, ohne dass aufwändig umgebaut werden muss.

Ein weiteres Merkmal des CRAFT ist der an der Eintrittsdüse installierte Strömungskontrollschirm (Inflow Control Device). Er gewährleistet eine wesentlich gleichmäßigere Strömung im Einlauf. Damit können die Instrumente die aerodynamischen Schallquellen ungestörter und länger ausmessen. Die großzügigen Bauräume im Ein- und Auslauf bieten viel Platz für die notwendige Messtechnik und Aktuatorik wie sekundäre Schallerzeuger. Aerodynamische Sonden vermessen die stationären und turbulenten Strömungskomponenten in der Zuströmung zwischen Rotor und Stator und stromab des Fans. Insgesamt 200 Mikrofone erfassen zeitgleich die am Fan erzeugten Schallquellen und das in den Einlauf und Austritt abgestrahlte Schallfeld. Die Ergebnisse werden mithilfe modernster Analyseverfahren interpretiert.



Einblick in den Einlauf der CRAFT-Versuchsstrecke

Neu, innovativ, leise

Die gewonnenen Erkenntnisse bilden für Enghardt und sein Team die Grundlage, um neue innovative Verfahren zur Fanlärmminderung zu entwickeln, beispielsweise indem sie das Design von Stator und Rotor optimieren. Diese wird das Team dann wiederum an der CRAFT-Versuchsanlage erproben. Zudem verfolgen die Forscherinnen und Forscher einen Ansatz, bei dem die Strömung am Ort der Schallquellen gezielt so beeinflusst wird, dass der gesamte Antrieb leiser wird.

Darüber hinaus arbeiten sie an Methoden, wie die Turbo-Komponenten des Triebwerks flexibler gewartet werden könnten. Lärm, der durch Schaufelabnutzung oder Defekte entsteht, soll vorab prognostiziert und die entsprechenden Teile ausgetauscht werden, bevor der Schaden tatsächlich eintritt. „Weil der CRAFT so viele Versuchsvariationen bietet und dabei kostengünstig zu betreiben ist, können wir mit dem Prüfstand die physikalischen Mechanismen der Schallentstehung in einem Umfang analysieren und charakterisieren, der bisher nicht möglich war“, freut sich Lars Enghardt auf die Zukunft.

VON DER KONZEPTION ZUR FERTIGSTELLUNG

Entwickelt wurde der CRAFT vom DLR-Institut für Antriebstechnik mit Unterstützung des Systemhauses Technik des DLR. Die Konzeption und der Bau der Versuchsanlage dauerten drei Jahre und kosteten etwa 1,6 Millionen Euro. Der Prüfstand befindet sich beim DLR in Berlin-Charlottenburg, dem Sitz der Abteilung Triebwerksakustik des Instituts für Antriebstechnik. Perspektivisch soll der CRAFT mit der Abteilung in Berlin-Adlershof einen Neubau beziehen.

Melanie-Konstanze Wiese ist für die Kommunikation an den Standorten Berlin, Cottbus, Dresden, Jena, Neustrelitz und Zittau verantwortlich.

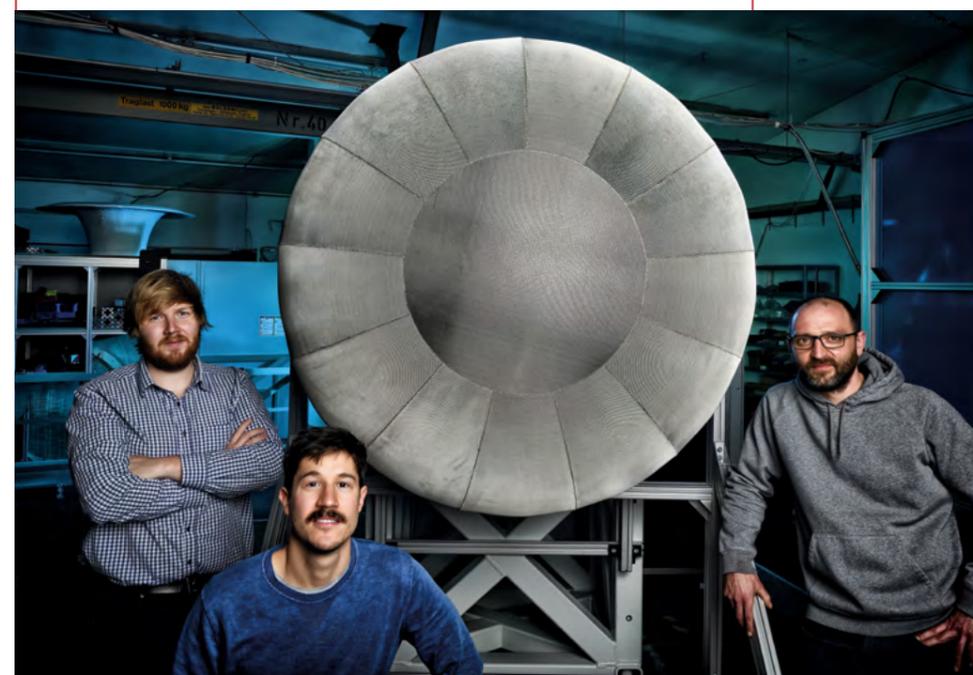


Bild: DLR

Von links: Angelo Rudolphi, Luciano Caldas und Sebastian Kruck aus der Abteilung Triebwerksakustik

GRENZGÄNGER

Ein solarbetriebenes Stratosphärenflugzeug vereint die Vorzüge von Raumfahrt und Luftfahrt

von Florian Nikodem



Aus der Erdbeobachtung und der globalen Kommunikation sind Satelliten nicht mehr wegzudenken. Allerdings ist ihr Einsatz nicht ohne Nachteile: Neben den hohen Kosten für ihren Bau und ihre Positionierung im Orbit bleiben ihre Reste mitunter als Weltraumschrott im All zurück. 2020 musste die Internationale Raumstation ISS drei Manöver fliegen, um Schrottoobjekten auszuweichen. Flugzeuge oder Hubschrauber sind zwar wesentlich flexibler und günstiger – sie können für Erdbeobachtungsaufgaben eingesetzt werden, bei denen die Anwendung eines Satelliten unverhältnismäßig oder schlicht nicht möglich wäre –, ihr Einsatzradius ist allerdings begrenzt und ihr Erfolg hängt häufig vom Wetter ab. Ganz nebenbei brauchen auch die besten Pilotinnen und Piloten irgendwann eine Pause. Eine Lösung können sogenannte High Altitude Platforms, kurz HAPs, sein: üblicherweise solarbetriebene Plattformen, die dauerhaft in der unteren Stratosphäre auf etwa 20 Kilometer Höhe stationiert werden.

Ein ganzheitlicher Ansatz

HAPs können, ausreichend Sonne vorausgesetzt, an beliebigen Orten der Erde positioniert und bei verschiedensten Missionen eingesetzt werden. Sie fliegen weit oberhalb des zivilen Luftverkehrs und sogar über dem Wettergeschehen. Grundlage für die Idee waren die rasanten Entwicklungen von Solar- und Batterietechnik der letzten Jahrzehnte, die den Weg für dieses Bindeglied zwischen Flugzeug und Satellit ebneten. HAPs sind einerseits flexibel, was Stationierung und Ausrüstung angeht, und andererseits unabhängig vom Wetter oder von Einsatzzeiten. Im Querschnittsprojekt HAP forscht das DLR an Technologien und Anwendungen für eine hochfliegende, dauerhaft stationierbare Plattform und entwickelt ein Forschungsflugzeug für zukünftige wissenschaftliche Experimente. Dabei entsteht nicht nur der solarbetriebene, unbemannte Demonstrator, sondern auch eine Bodenstation. Weiterhin entwickelt das DLR-Team die operationellen Prozeduren sowie drei Nutzlasten, die von der Plattform getragen werden und eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten bieten. Insgesamt 17 DLR-Institute aus den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt und Sicherheit arbeiten unter der Führung des Braunschweiger Instituts für Flugsystemtechnik im Projekt zusammen.

Von Gletscherbeobachtung bis Waldbranddetektion

Die Bandbreite möglicher Einsatzszenarien einer HAP sind groß: Sie reichen von der ununterbrochenen Beobachtung von Gletschern und Schneeflächen der Polregionen über maritime Überwachung, beispielsweise des Mittelmeers, bis hin zur Erfassung von Tierherden in Namibia. Dazu entwickelt das Institut für Optische Sensorsysteme eine spezielle Version des Kamerasystems MACS (Modular Aerial Camera System). Sie hat eine sehr hohe Auflösung und kann Zielobjekte selbstständig erkennen. Das Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme baut das Radar HAPSAR (High Altitude Platform Synthetic Aperture Radar), das unabhängig vom Wetter Beobachtungen durchführen kann. Eine mit diesem System ausgestattete HAP kann die Eisdicke der Nordost-Passage messen, aber auch Karten im Krisenfall erstellen, beispielsweise bei Waldbränden oder Hochwasser. Auch Aufklärungseinsätze für Friedensmissionen sind denkbar. Hochfliegende Plattformen eignen sich außerdem zur Schadstoffmessung über frequentierten Schifffahrtswegen oder Städten. Hierzu entwickelt das Institut für Methodik der Fernerkundung ein besonderes Spektroskop, kurz DOAS (Differenzielles Optisches Absorptions-Spektroskop) genannt, das die Konzentration von Stickstoffdioxid in der Luft misst.

Leicht, robust, präzise, beständig

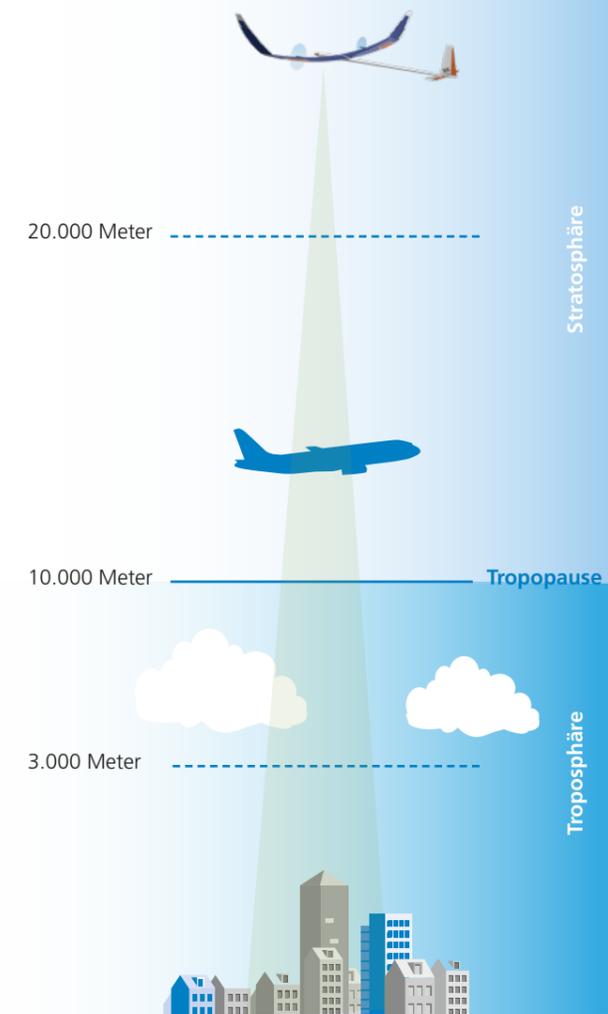
Ein Luftfahrzeug in der unteren Stratosphäre zu stationieren, ist keine leichte Aufgabe. In 20 Kilometer Höhe ist nachts mit Temperaturen von minus 60 Grad Celsius bis unter minus 80 Grad Celsius zu rechnen. Hoch über den Wolken ist die Plattform tagsüber vollständig der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, sodass sie sich lokal auf bis zu 40 Grad Celsius aufheizen kann. Solche großen Temperaturschwankungen machen es unmöglich, hier lediglich auf eine Isolation der Geräte zu setzen. Der sprichwörtliche Wintermantel ist nicht für die intensive Sonnenstrahlung geeignet, während er nachts unverzichtbar zu sein scheint. Die geringe Luftdichte in solchen Höhen macht Konvektionskühlung, also die Kühlung der eingebauten Systeme durch Umströmung mit Luft, nahezu wirkungslos. Ein geeignetes Thermalmanagement ist also eine der zentralen Herausforderungen einer HAP, da unterschiedliche Bereiche des Flugzeugs verschiedene Maßnahmen zur Kühlung beziehungsweise Isolation benötigen.

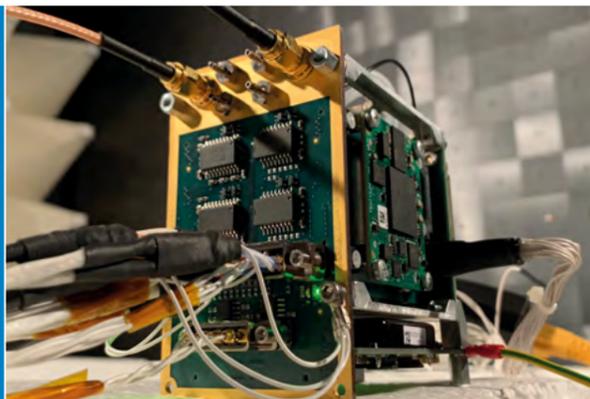
Die geringe Luftdichte birgt aber noch eine weitere Schwierigkeit: Das Flugzeug muss entweder sehr leicht sein oder eine hohe Geschwindigkeit halten, um ausreichend Auftrieb zu erzeugen und dauerhaft fliegen zu können. Mit der Fluggeschwindigkeit steigt aber auch der Energieverbrauch. Tagsüber wird die Sonnenenergie mittels Solarzellen in elektrische Energie umgewandelt und der Überschuss für die Nacht in Batterien gespeichert. HAPs, die dauerhaft in der unteren Stratosphäre fliegen, sollten ein Flächengewicht von vier Kilogramm pro Quadratmeter nicht überschreiten, um selbst genügend Auftrieb generieren zu können. Zum Vergleich: Die Eta des Herstellers Eta-Aircraft, eines der leistungsfähigsten serienmäßigen Segelflugzeuge der Welt, hat ein Flächengewicht von rund 45 Kilogramm pro Quadratmeter, das des Eurofighters beträgt 310 Kilogramm pro Quadratmeter.

DIE HOCHFLIEGENDE PLATTFORM HAP alpha

- **Spannweite:** 27 Meter
- **Startgewicht:** 138 Kilogramm
- **Einsatzhöhe:** über 22 Kilometer
- **Nutzlastkapazität:** 5 Kilogramm
- **Plattformbudget:** 13 Millionen Euro
- **Energiegewinnung:** Triple-Junction-Zellen auf Gallium-Arsenid-Basis (hauchdünne dreischichtige Solarzellen mit hohem Wirkungsgrad von 32 Prozent und einer Leistungsdichte von 1,40 Wattpeak/Gramm)
- **Speicher:** wiederaufladbare Lithium-Ionen-Batterien mit Silizium-Anode (Energiedichte pro Zelle: 350 Wattstunden/Kilogramm)

Stratosphärenflugzeuge sind auf einer Höhe von 20 Kilometern oberhalb des zivilen Luftverkehrs und des Wettergeschehens unterwegs.





Das Gehirn der hochfliegenden Plattform: Die zentrale Recheneinheit, der Flight Control Computer, wurde am DLR-Institut für Flugsystemtechnik entwickelt und gebaut.



Die Flügel der Plattform bestehen aus einer Sandwichrippenstruktur aus kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Ein CFK-Rundrohr bildet die Basis. Das macht den Flügel leicht und stabil. Insgesamt wiegt die Struktur der HAP alpha 36 Kilogramm, 75 Prozent davon der Hauptflügel.



Anders als bemannte Flugzeuge werden HAPs von der Bodenstation aus gesteuert. Sogenannte Remote Pilots müssen sich dabei auf unterschiedliche Informationen verlassen: etwa die über Status und Kurs des Flugzeugs wie auch jene zu den überflogenen zivilen Lufträumen.

BETEILIGTE DLR-INSTITUTE UND -EINRICHTUNGEN

- Institut für Flugsystemtechnik
- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Aeroelastik
- Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie (nur 2018)
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
- Institut für Flugführung
- Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
- Institut für Kommunikation und Navigation
- Institut für Methodik der Fernerkundung
- Institut für Optische Sensorsysteme
- Institut für Physik der Atmosphäre
- Institut für Robotik und Mechatronik
- Institut für Softwaretechnologie
- Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
- Institut für Technische Thermodynamik (nur 2018)
- Institut für Vernetzte Energiesysteme
- Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
- Raumflugbetrieb und Astronautentraining
- Systemhaus Technik

Hinzu kommen operationelle Prozeduren sowie die Luftverkehrskontrolle für den autonomen langfristigen Betrieb und den Durchflug des kontrollierten Luftraums bis in circa 20 Kilometer Höhe. Langfristige Erdbeobachtungsmissionen erfordern Einsatzzeiten von mehreren Wochen bis hin zu Monaten. Diese muss die Plattform ohne regelmäßige Wartung, wie sie in der klassischen Luftfahrt üblich ist, durchführen können.

Viele Firmen haben sich mit der Entwicklung solcher hochfliegender Plattformen beschäftigt, darunter Facebook, Aurora Flight Sciences, Prismatic oder Ordnance Survey. Als bisher einziges Unternehmen hat Airbus mit dem Zephyr die Funktion einer solchen Plattform in mehreren Testkampagnen und einem 26-tägigen Dauerflug im Jahr 2018 unter Beweis gestellt. Aber auch der Zephyr ist noch lange nicht bereit für den kommerziell-operativen Einsatz und seine zwei Abstürze über Australien im Jahr 2019 zeigen, dass die HAP-Technologie noch nahezu in den Kinderschuhen steckt.

Ein einzigartiges Fluggerät

Der Technologieträger, den die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler im Querschnittsprojekt entwickeln, nennt sich HAP alpha. Er soll mit 5 Kilogramm Nutzlast auf 20 Kilometer Flughöhe aufsteigen können. Gleichzeitig ist sein robustes, modulares Design einfach zu modifizieren. Seine Spannweite von 27 Metern entspricht der eines dauerflugfähigen Flugzeugs, das Gewicht der Struktur beträgt lediglich 36 Kilogramm, das gesamte Fluggerät wiegt 138 Kilogramm. Dieses geringe Gewicht erreichen die Forscherinnen und Forscher durch extremen Leichtbau mit kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Hauptholm, Rumpf und Leitwerksholme der Struktur bestehen aus gewickelten CFK-Rundrohren. Diese sind sehr leicht, dabei aber trotzdem stabil. HAP alpha verfügt noch nicht über eine Solar- und Batterietechnologie für Übernachtfüge, ist allerdings so aufgebaut, dass diese nachgerüstet werden kann. Für die Koordination der Missionen und den Datenempfang entwickelt das Projektteam eine mobile Bodenstation, die in transportablen Containern angelegt ist. Sie soll auf mehr als 100 Kilometer Entfernung Daten mit der HAP austauschen können.

Im Projekt vereint das Forschungsteam traditionelle Vorgehensweisen mit neuen Ansätzen der Systemtechnik. Am Ende jeder Projektphase führt das HAP-Team eine umfangreiche Überprüfung unter Beteiligung externer Expertinnen und Experten durch. Dieses Vorgehen folgt dem klassischen globalen Ansatz in der Systementwicklung: Technische Aspekte werden im Projektlebenszyklus dargestellt und die Entwicklung ist in leicht handhabbare Abschnitte unterteilt. Darüber hinaus verfolgen die Forschenden auch neuere Methoden der Systementwicklung wie

das modellbasierte Systems Engineering: Alle wesentlichen Informationen der HAP, wie Anforderungen, physikalische Architektur oder Massendaten, sind an zentraler Stelle gespeichert und damit in sich konsistent.

Im April 2019 hat das Team ein Review mit externen Fachleuten durchgeführt. Es hat gezeigt, dass die aufgestellten Systemanforderungen und die erarbeitete Form des Flugzeugs sich eignen, um die Projektziele zu erreichen, und dass die Risiken für zukünftige Änderungen gering sind. Aktuell bereitet es das sogenannte Critical Design Review für 2021 vor. Darin wird geprüft, ob das detaillierte Design den Projektzielen entspricht. Danach beginnen Produktion und Zusammenbau der Einzelkomponenten. Im Anschluss warten umfangreiche Tests auf die Komponenten, bevor diese dann in das Gesamtsystem integriert werden.

Stück für Stück ganz hoch hinaus

Ende 2022 soll HAP alpha zum ersten Test abheben dürfen. Dabei sind zunächst Flüge in niedriger Höhe über dem Gelände des Nationalen Erprobungszentrums für unbemannte Luftfahrzeuge in Cochstedt geplant. Nach und nach wird die Flughöhe dann bis auf 20 Kilometer gesteigert. Dazu steht das Team in Kontakt mit Testeinrichtungen auf der ganzen Welt, die über ein ausreichend großes Bodensperrgebiet sowie ein Luftsperrgebiet bis in große Höhen verfügen. Einer der vielversprechendsten Kandidaten ist die European Space and Sounding Rocket Range, Esrange, bei Kiruna in Schweden. Anders als bei den ersten Erprobungsflügen in Cochstedt, bei denen die eigentliche Versuchsdauer nur wenige Stunden betragen wird, kann ein Höhenflug aufgrund der langsamen Fluggeschwindigkeit der HAP bis zu 24 Stunden dauern, auch wenn sich die Plattform nur etwa zwei Stunden auf 20 Kilometer Höhe aufhält. Das Team muss also nicht nur den eigentlichen Flugversuch koordinieren, sondern auch mehrere Crews vorhalten und deren Wechsel im Schichtbetrieb trainieren.

Bei zukünftigen Höhenflügen werden dann auch die Nutzlasten zum Einsatz kommen. Mit jedem Test sammelt das Team Erfahrungen und kann die HAP so modifizieren, dass auch Dauerflüge möglich werden könnten. Ab dann ließe sich das Stratosphärenflugzeug als Versuchsträger sowohl für Nutzlasten als auch für neue plattformsspezifische Technologien einsetzen. Ein Beispiel ist der Einsatz der HAP als Knotenpunkt für die digitale Kommunikation, indem sie bei der Bereitstellung eines 5G-Netztes unterstützt.

Florian Nikodem arbeitet als Systemingenieur im DLR-Institut für Flugsystemtechnik in Braunschweig und leitet das DLR-Querschnittsprojekt HAP.

DIE NUTZLASTEN:

Im Querschnittsprojekt HAP entwickeln die DLR-Forscherinnen und -Forscher drei Nutzlasten, die von der hochfliegenden Plattform getragen werden können. Für den Austausch von Nutzlastdaten wird ein unidirektionaler Link im X-Band bereitgestellt.

Die Luftbildkamera MACS-HAP:

- Selbstausrichtendes Kamerasystem mit Mosaicking- und Pointing-Möglichkeiten
- 150 Megapixel-Sensor, Bodenaufklärung 15 Zentimeter, Scan-Bereich 400 Quadratkilometer
- Onboard-Bildanalyse zur schnellen Erkennung von Zielobjekten
- 5 Kilogramm Masse

Das High Altitude Platform Synthetic Aperture Radar (HAPSAR):

- Radarsystem mit synthetischer Apertur (SAR)
- Stripmap-SAR, Circular-SAR bis hin zu 3D-SAR und Erfassung von sich bewegenden Zielen wie Schiffen
- Einsatzfähig Tag und Nacht und unter allen Witterungsbedingungen
- Bodenaufklärung bis zu 60 Zentimeter
- 5 Kilogramm Masse

Das Differenzielle Optische Absorptionsspektroskop (DOAS):

- Optisches Luft-Analyse-System mit Mosaicking- und Pointing-Möglichkeiten
- Echtzeiterfassung des Stickstoffdioxidgehalts in der Luft über dem Zielgebiet
- 4 Kilogramm Masse



Von der mobilen Bodenstation aus werden die Missionen des Stratosphärenflugzeugs HAP alpha koordiniert.

STRATOSPHERISCHE ACHTERBAHN



In den letzten Jahren kam es zu außergewöhnlichen Schwankungen der Ozonschicht. Was hat das zu bedeuten?

von Bernadette Jung

Die gute Nachricht: Die Ozonschicht wird sich voraussichtlich bis Mitte dieses Jahrhunderts wieder vollständig erholen und das Ozonloch über der Antarktis wird sich schließen. Ein Trend in diese Richtung ist bereits seit einigen Jahren sichtbar. Die Reglementierung der FCKWs (Fluorchlorkohlenwasserstoffe) zeigt Wirkung. Gleichzeitig macht das Auftreten von riesigen Ozonlöchern immer wieder Schlagzeilen, wie zuletzt im Dezember 2020. Wie sich die Ozonschicht künftig entwickeln wird und welche Rolle der Klimawandel dabei spielt, gehört zu den Forschungsschwerpunkten von Prof. Dr. Martin Dameris vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre. Im Interview erzählt der Wissenschaftler, was in der Ozonschicht passiert und warum ihn die aktuellen Entwicklungen nachdenklich machen.

Prof. Dr. Martin Dameris

arbeitet als Seniorwissenschaftler am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre, in der Abteilung Erdsystem-Modellierung. Am Meteorologischen Institut der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) in München ist er außerdem als Professor tätig. Seine wissenschaftlichen Arbeiten konzentrieren sich auf die Untersuchung von Klima-Chemie-Wechselwirkungen mittels eines numerischen Modellsystems der Troposphäre und der Stratosphäre. Dameris ist Autor und Co-Autor von mehr als 100 begutachteten wissenschaftlichen Arbeiten und hat an einer Reihe internationaler Berichte zum Zustand der stratosphärischen Ozonschicht und des Klimas mitgewirkt.



Prof. Dr. Martin Dameris (vorn) zusammen mit seinem Kollegen Dr. Diego Loyola im Kontrollraum des Earth Observation Center des DLR.

In puncto Ozon jagte zuletzt eine Extremsituation die andere – hat Sie das überrascht?

■ Absolut. Die Beobachtungen in den beiden Polarregionen in den Jahren 2019 und 2020 waren wirklich außergewöhnlich. Vor genau einem Jahr, im Frühjahr 2020, hatten wir über der Arktis zum ersten Mal über einen längeren Zeitraum eine ozonlochähnliche Struktur. Der kritische Ozonwert von 220 Dobson-Einheiten wurde unterschritten – mehr als einen Monat lang und über einem knapp eine Million Quadratkilometer großen Gebiet. Normalerweise kommt das nur in der Antarktis vor. Die Situation im Vorjahr das Gegenteil – im März 2019 gab es überhaupt keinen sichtbaren Ozonabbau in der arktischen Stratosphäre. Die Temperaturen waren dort so hoch, dass sich keine polaren Stratosphärenwolken gebildet haben. Diese sogenannten Perlmutterwolken sind für den Ozonabbau-Prozess sehr wichtig. Entsprechend war die Ozonschicht nicht durch chemische Vorgänge gestört. Dieselbe verblüffende Entwicklung zeigte sich auch über der Antarktis: Im Oktober 2019 war das Ozonloch so klein wie noch nie seit seiner Entdeckung. Grund war wieder eine deutliche Erwärmung der Stratosphäre. Im Gegensatz dazu registrierten wir im Oktober 2020 eines der größten Ozonlöcher seit Beginn unserer Aufzeichnungen vor 41 Jahren. Die Kolleginnen und Kollegen vom Earth Observation Center des DLR (EOC) beobachteten, dass das Ozonloch nicht nur die Gesamtfläche der Antarktis überragte, sondern auch besonders anhaltend und noch bis in den Dezember hinein sichtbar war. In diesem Januar erwärmte sich die Stratosphäre in der Arktis wieder ähnlich stark wie 2019. Der Ozonabbau wird in diesem Frühjahr also wahrscheinlich eher gering ausfallen und die Situation aus dem Vorjahr erneut umkehren.

Woher kommen diese Schwankungen?

■ Das hat etwas mit der Dynamik, dem „Wettergeschehen“, in der Stratosphäre zu tun – hohe Temperaturen, niedrige Temperaturen, schwache Winde, starke Winde. Die meisten denken bei der Ozonschicht gleich an FCKW. Das ist richtig und deren ozonzerstörende Wirkung ist ein wichtiger Faktor. Der Ozonabbau ist aber ein komplexer Prozess, in dem verschiedene chemische und dynamische Vorgänge zusammenwirken. Die chemischen Reaktionen, in die auch die FCKWs involviert sind, funktionieren immer gleich. Ob oder wie stark diese dann ablaufen, ist abhängig von den dynamischen Bedingungen. Aufgrund natürlicher Schwankungen variieren die Temperaturen von Jahr zu Jahr und in wärmeren Jahren wird in der polaren Stratosphäre deutlich weniger Ozon abgebaut. Der starke Ozonabbau über der Antarktis Ende letzten Jahres wurde durch außergewöhnlich lang anhaltende und starke Polarwinde verbunden mit niedrigen Temperaturen begünstigt. In gleicher Weise wurde der

Ozonabbau über der Arktis im Frühjahr 2020 gesteuert. Der Aspekt Dynamik wird bereits in den Ozon-Assessments, den internationalen Berichten der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) zum Zustand der Ozonschicht, seit vielen Jahren thematisiert. Ein Auf und Ab der Ozonsituation ist also zunächst ganz normal.

Und wie ordnen Sie dann die jüngsten Extremereignisse ein?

■ Das ist das Eigenartige. Wie gesagt ist die Ozonschicht im Verlauf von Jahren und Jahrzehnten mal ein bisschen dünner und mal ein bisschen dicker, aber alles in einem gewissen Rahmen. Dem entgegen stehen die Beobachtungen von diesen vier aktuellen Situationen in den Jahren 2019 und 2020, zwei im Norden, zwei im Süden. Das sind jeweils für sich schon außergewöhnliche Vorkommnisse. Dass die Extreme dann in zwei Jahren direkt hintereinander aufgetreten sind, ist bisher beispiellos. Diese Häufung ist für mich nicht erklärbar, jedenfalls nicht zu diesem Zeitpunkt. Vergleichbare Entwicklungen kennen wir sonst nur beim Wettergeschehen in der Troposphäre –

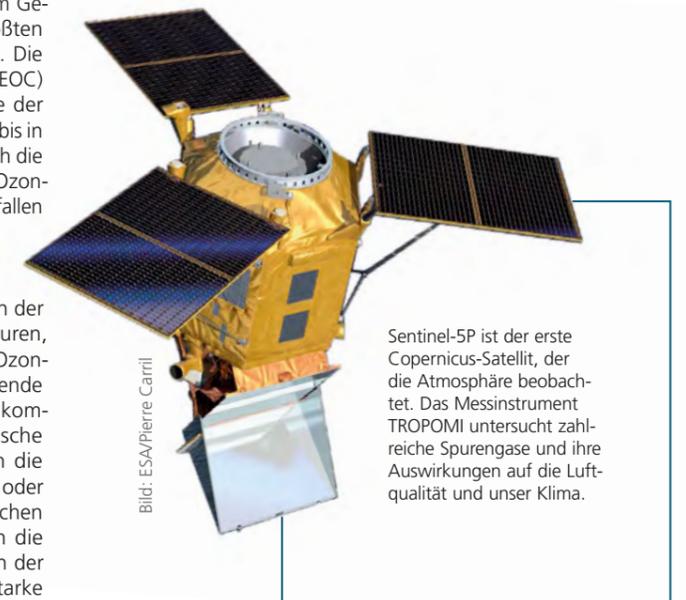


Bild: ESA/Pierre Carril

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

bedingt durch den Klimawandel. Das führt etwa zu häufigeren Extremereignissen, beispielsweise regionale Starkniederschläge oder lang andauernde Dürreperioden. So konnten wir zu Beginn dieses Jahres außergewöhnlich niedrige Temperaturen und starke Schneefälle in Spanien bei gleichzeitig sehr hohen Temperaturen in Griechenland sehen. Hierzulande sind die Winter in den letzten Jahren unstet und viel zu mild. Insgesamt macht mich das schon etwas stutzig. Möglicherweise beeinflusst der Klimawandel auch die Vorgänge in der Ozonschicht ein Stockwerk höher. Im Erdsystem ist letztlich alles miteinander verbunden. Wir forschen derzeit daran, wie sich die Klimaänderungen auf die Ozonschicht auswirken. Wir verstehen bereits sehr viel, aber an einigen Punkten fängt man eben an zu spekulieren. Um das zu klären, benötigen wir weiterhin räumlich und zeitlich hochaufgelöste Daten und Langzeit-Messreihen. Am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre betreiben wir außerdem das Klima-Chemie-Modell EMAC und erstellen Simulationen für verschiedene Klimaszenarien.

Was ist an dem Klima-Chemie-Modell EMAC besonders und welche Daten nutzen Sie dafür?

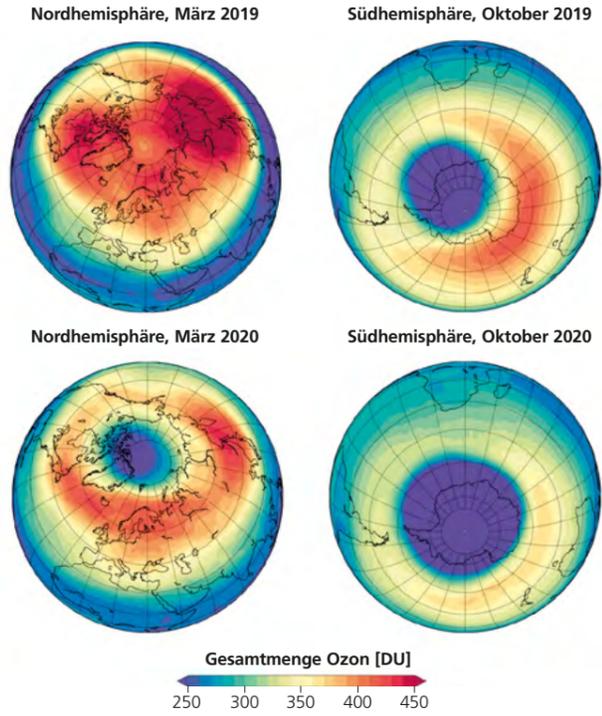
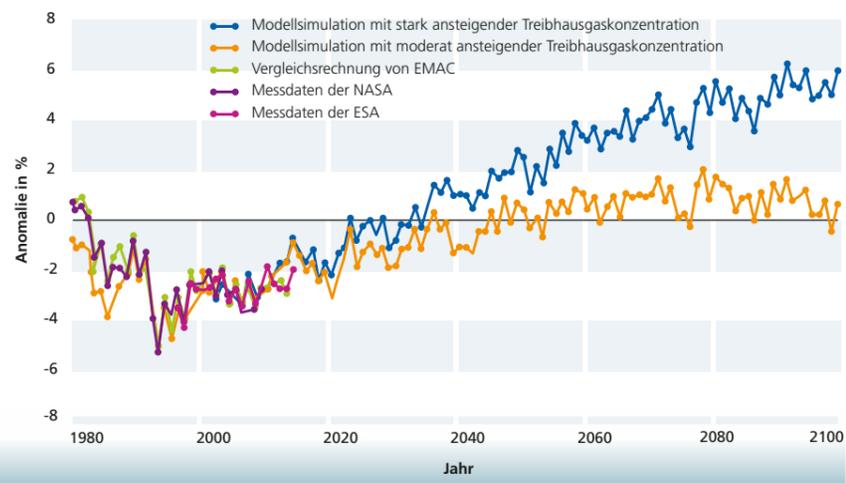
Wir arbeiten sehr eng mit den Kolleginnen und Kollegen vom EOC, insbesondere dem Institut für Methodik der Fernerkundung, zusammen. Satellitengestützte Erdbeobachtungsdaten sind grundlegend für unsere laufenden Analysen und Prognosen, wie sich die Ozonschicht künftig entwickeln wird. Das Beobachten der Atmosphäre und Monitoring der Ozonschicht sind aus meiner Sicht lebensnotwendig. Die Daten zusammen mit Modellsimulationen sowie unsere Erkenntnisse daraus bringen wir ein, um die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen zu überprüfen und weitere Handlungsempfehlungen abzuleiten.

DIE OZONMENGE AUSSERHALB DER POLARGEBIETE

In den 1980er und 1990er Jahren gingen die Ozonwerte aufgrund der hohen FCKW-Konzentrationen zurück. Seit dem FCKW-Verbot steigen die Ozonwerte wieder an. Gleichzeitig erwärmt sich die Troposphäre und die Stratosphäre kühlt sich ab, verursacht durch ansteigende Treibhausgaskonzentrationen. Entsprechend verlangsamt sich der Abbau der Ozonschicht in der mittleren und oberen Stratosphäre. In den Polarregionen führt eine kältere Stratosphäre jedoch zu einem höheren Ozonabbau, da dort andere chemische Prozesse ablaufen.

Die Grafik zeigt mögliche Entwicklungen der Ozongesamtmenge (außerhalb der Polargebiete zwischen 60 Grad Nord und 60 Grad Süd in Prozent). Grundlage sind die gemessenen Ozondaten der NASA (Violett) und der ESA (Magenta). Die Vergleichssimulation des Klima-Chemie-Modells EMAC (Grün) zeigt eine hohe Übereinstimmung mit den realen Messdaten. Für die Zukunft zeigen die Modellsimulationen, dass sich die Ozonschicht bei verschiedenen Klimaszenarien unterschiedlich entwickelt. Moderat ansteigende Treibhausgaskonzentrationen führen zurück zu „normalen“ Bedingungen (Orange).

Wenn die Konzentrationen allerdings weiter stark ansteigen, „übererholt“ sich die Ozonschicht und in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts käme es zu deutlich höheren Ozonwerten (Blau). Die Konsequenz: Es würde weniger UV-Strahlung die Erde erreichen, was das Gleichgewicht des Ökosystems beeinflusst.



Gesamt mengenverteilung des Ozons im Frühling über den Polargebieten: Gemessen wurde die Ozonmenge mit dem TROPOMI-Instrument auf dem Satelliten Sentinel-5P. Sie wird in Dobson-Einheiten [DU] angegeben. Der Normalwert der Ozonverteilung liegt im Mittel bei etwa 300 DU.

Mit EMAC lassen sich Beobachtungen gut wiedergeben und zukünftige Entwicklungen abschätzen. Das belegen die Vergleiche von Vergangenheitssimulationen mit den tatsächlichen Messdaten jener Zeit. Auf der gesicherten Grundlage der Modelle können wir einen Blick in die Zukunft wagen. Hier wird deutlich, dass sich die Ozonschicht unterschiedlich entwickeln wird, immer in Abhängigkeit von den Treibhausgaskonzentrationen. Als Institut und als DLR sind wir hier in der ersten Reihe, da wir mit EMAC und seinen Vorgängerversionen seit fast 25 Jahren dran sind, die Bezüge zwischen der Chemie der Atmosphäre und der Klimaänderung darzustellen und auszurechnen. Das ist jetzt etwas vereinfacht ausgedrückt, aber wenn wir im Sinne des Ozons etwas „reparieren“, aber auf der anderen Seite das Problem des Klimawandels haben, dann hat das eben auch Konsequenzen für die Ozonschicht. Das kann kurzfristig durchaus etwas Positives sein, in dem Sinne, dass sich die Ozonschicht schneller erholt. Auf lange Sicht kann das aber bedeuten, dass sich neue Probleme auftun.



Perlmutterwolken über der Ostküste Islands. Diese Wolkenart bildet sich vermehrt, wenn sich die Stratosphäre im polaren Winter stark abkühlt. Auf der Oberfläche der Wolkenteilchen laufen zahlreiche chemische Reaktionen ab, die eine Grundvoraussetzung für den Ozonabbau schaffen.

Welche Szenarien und Konsequenzen können das sein?

Nehmen wir das Beispiel FCKW: Die Herstellung und Nutzung dieser Stoffe wurde im Rahmen des Montreal Protokolls 1987 verboten – damit hat die Weltgemeinschaft nicht nur die Ozonschicht geschützt, sondern auch einen signifikanten Beitrag zum Klimaschutz geleistet. Denn die FCKWs sind ganz nebenbei auch sehr strahlungsaktive Treibhausgase. Der Klimawandel würde noch viel schlimmer vonstattengehen, wenn wir die FCKWs nicht reglementiert hätten. Dann wäre es noch viel wärmer am Erdboden geworden und die Stratosphäre würde noch stärker abkühlen. Die Modellrechnungen zeigen, wenn wir uns weiter an die internationalen Schutzmaßnahmen halten, wird sich die Ozonschicht bis Mitte des Jahrhunderts vollständig regenerieren. Das geht durchaus einher mit Fluktuationen, einschließlich des Auftretens von Ozonlöchern. Das bedeutet aber keinesfalls, dass wir mit den Schutzmaßnahmen auf dem falschen Weg sind. Im Gegenteil. Vielmehr gilt es, die dynamischen Ausprägungen besser zu verstehen und zu quantifizieren. Mit den Klima-Chemie-Modellen können wir uns außerdem Szenarien ansehen, in denen die Treibhausgas-Emissionen in Zukunft sehr viel höher oder niedriger ausfallen werden. Die Erholung der Ozonschicht schreitet dann entsprechend langsamer oder schneller voran.

Die Ozonschicht erholt sich zunehmend – wird uns das Thema trotzdem noch beschäftigen?

Seit geraumer Zeit gibt es Stimmen, die meinen, „Ozon ist out, das interessiert keinen mehr, das Problem ist doch gelöst“. Die Entwicklung der Ozonschicht ist aber immer noch ein brandheißes Thema. Das hat für mich vor allem etwas mit der Frage zu tun, ob sich die Ozonschicht bezüglich eines sich ändernden Klimas anders entwickelt. Da gibt es Aspekte, bei denen ich persönlich einfach ins Nachdenken komme. Wie bei der Klimaforschung müssen wir das auf lange Sicht beobachten, analysieren und bewerten. Erst aus Langzeitmessreihen in Kombination mit Ergebnissen der Klima-Chemie-Modelle können wir belastbare Aussagen treffen. Wie ausgeprägt sind beispielsweise die natürlichen Schwankungen in der Stratosphäre? Wie sehen die Werte relativ zu den Jahren davor oder danach aus? Dazu reicht es nicht, sich einige wenige Jahre anzusehen, das wäre für die Untersuchung der Ozonschicht zu kurz. Da muss man aufpassen, dass man nicht einen sogenannten „Trend“ herausrechnet und falsch bewertet.

Wenn sich allerdings die Stratosphäre in den nächsten Jahren als sehr viel variabler darstellt als früher, dann könnte dies durchaus ein Hinweis auf Auswirkungen des Klimawandels sein. Aber belastbare wissenschaftliche Belege dafür haben wir derzeit noch nicht. Möglicherweise stellt sich auch heraus, dass die außergewöhnlichen Ereignisse in den Jahren 2019 und 2020 nicht auf den Klimawandel zurückzuführen sind, sondern etwas Zufälliges waren.

„Wie bei der Klimaforschung müssen wir das auf lange Sicht beobachten, analysieren und bewerten. Erst aus Langzeitmessreihen in Kombination mit Ergebnissen der Klima-Chemie-Modelle können wir belastbare Aussagen treffen.“

Wie wird es also weitergehen?

Ich bin sehr neugierig, ob die extremen Bedingungen in der Stratosphäre sich jetzt weiter häufen. Wir werden in den nächsten Jahren die Entwicklung intensiv weiterverfolgen und sie mit geeigneten Simulationen unseres Klima-Chemie-Modells begleiten und bewerten. Derzeit können wir noch nicht alle Schlüsse ziehen. Je weiter die Beobachtungen aber in den nächsten Jahren reifen, desto mehr werden sie uns dabei helfen, Prognosen zu erstellen und geeignete Maßnahmen abzuleiten. Mal sehen, ob die Situationen in den letzten zwei Jahren dann vielleicht doch Zufälle waren. Die Atmosphäre hat immer wieder Überraschungen in petto – das wird sich nicht so schnell ändern.

Bernadette Jung ist Redakteurin am DLR-Standort Oberpfaffenhofen.

EIN AUSSERIRDISCHER KRIMI

Nach dem ersten Hämmern blieb die Sonde in 30 Zentimeter Tiefe stecken und bewegte sich sogar nach weiteren Versuchen aus dem Loch heraus (Bild oben). Dies war ein Schock für das Team. Nun ist der Maulwurf mit Sand bedeckt knapp unter der Marsoberfläche (unten).



Ende der Mission des DLR-Marsmaulwurfs

von Prof. Tilman Spohn

Die Geschichte der Rammsonde mit dem Spitznamen Marsmaulwurf glich einem wahren Krimi: Im November 2018 landete die NASA-Mission InSight auf dem Mars. An Bord das Sensorenpaket HP³ mit einer Sonde, die sich bis in eine Zieltiefe von fünf Metern in die Marsoberfläche hämmern sollte, um vom Inneren des Planeten den Wärmestrom zu messen. Doch dies verlief nicht wie geplant, immer wieder musste das Missionsteam neue technische Finessen erdenken, um den 30 Zentimeter langen „Maulwurf“ in den Boden zu bringen. Am 9. Januar 2021 mussten die Forscherinnen und Forscher schließlich aufgeben und erklärten diesen Teil der Mission für beendet. Doch der Traum, unter der Marsoberfläche Messungen durchzuführen, ist noch nicht begraben – im Gegensatz zum Maulwurf.

Mit der InSight-Mission der NASA realisierten die Planetenforscherinnen und -forscher einen lang gehegten Wunsch: ein geophysikalisches Observatorium auf einem erdähnlichen Planeten. Zu den drei Hauptinstrumenten des InSight-Landers gehören ein Seismometer, ein Radiowelleninstrument, das die Bewegung der Rotationsachse vermisst, und die Wärmefluss-sonde HP³. Während die beiden ersten den statischen Aufbau des Planeten untersuchen, sollte HP³ Daten zur tektonischen und vulkanologischen Entwicklung des Mars sammeln.

Teil des HP³-Sensorenpakets ist eine kleine Rammsonde. Sie sollte sich bis auf eine Zieltiefe von fünf Metern in den Boden hämmern und dabei ein Flachbandkabel mit Temperatursensoren mit in die Tiefe ziehen. Ergänzt wird das Paket durch Infrarotsensoren zur Messung der Oberflächentemperatur.

Der innere Motor

Planeten verrichten im physikalischen Sinn Arbeit wie Motoren, angetrieben durch den Unterschied zwischen der hohen Temperatur des Inneren und ihrer kalten Oberfläche. Ein Maß, das ihre Leistung angibt, ist der Wärmefluss. Je höher er ist, desto schneller strömt die zähe Gesteinsmasse im Inneren und desto mehr Arbeit – beispielsweise durch Aufwölbung von Gebirgen – verrichtet der Planet.

Messen kann man den Wärmefluss, indem man die Temperaturzunahme mit der Tiefe und die Wärmeleitfähigkeit bestimmt. Direkt an der Oberfläche würde die Messung durch die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen verfälscht. Darum muss in ausreichender Tiefe gemessen werden, beim Mars in mindestens drei Metern. Zum Vergleich: Auf der Erde muss mindestens einige zehn Meter tief gebohrt werden.

Februar 2019
Erstes Hämmern

Nach dem ersten Versuch steckte die Sonde in einem Loch mit einem Durchmesser von etwa fünf Zentimetern, das mindestens sieben Zentimeter tief war.

Oktober 2019
Hämmern ohne direkte Unterstützung durch den Arm

Looser Sand sickerte vor die Sonde und sie begann, sich zurück nach oben zu hämmern, statt tiefer in den Boden einzudringen.

Oktober 2020
Druck auf die Rückenkappe

Die Schaufel des InSight-Landers drückte auf den Maulwurf und unterstützte ihn gegen den Rückschlag beim Hämmern. So wurde er vollständig in den Boden eingebracht und dann zugeschaufelt. Ein letzter Versuch, ohne Schaufel-Unterstützung zu hämmern (Januar 2021), war nicht erfolgreich.

Mehr Informationen unter [DLR.de/InSight](https://www.dlr.de/InSight)

Zwei Jahre Nervenkitzel und Tüftelei

Das spannende Abenteuer auf dem Mars begann mit der Landung am 26. November 2018. Das erste Hämmern am 28. Februar blieb ohne Erfolg, denn die Rammsonde blieb in etwa 30 Zentimeter Tiefe stecken. Es war allerdings kein Stein, der ihren Weg ins Innere stoppte. Vielmehr hüpfte sie auf der Stelle, weil der Marsboden der Sonde nicht genügend Reibung ermöglichte. In den folgenden Monaten arbeitete das DLR-Team eng mit dem Jet Propulsion Laboratory (JPL) der NASA zusammen, um den Maulwurf schrittweise in den Boden zu bringen. Die Teams nutzten unter anderem den Roboterarm, der ursprünglich nur zur Platzierung der Instrumente gedacht war, um auf den Maulwurf zu drücken und die Sonde am Hüpfen zu hindern. Ein solches Manöver war hochriskant, da der Arm mit der Schaufel nur wenige Quadratmillimeter Platz hatte, ohne das sensible Flachbandkabel in Gefahr zu bringen.

Es war alles andere als einfach, diese präzisen Operationen von der Erde aus zu steuern – mit Hilfsmitteln, die für diese Aufgaben nicht konstruiert worden waren. Mindestens einmal pro Woche kam das Team per Videokonferenz zusammen, um Daten auszuwerten und nächste Schritte zu planen. Die für die Kommandierung und Programmierung der Sonde zuständigen Kolleginnen und Kollegen waren täglich im Austausch mit der Zentrale in Pasadena. Alle Schritte wurden erst im Labor in Pasadena erprobt, aber auch beim DLR in Berlin und Bremen simuliert, bevor sie auf dem Mars durchgeführt wurden. Schließlich gelang es dem Team, die Grube mit Sand zu füllen und den Maulwurf komplett zu bedecken. Trotzdem war ein letzter Hammerversuch erfolglos. Schweren Herzens musste das Team die Mission für beendet erklären.



März 2019 in der „Maulwurfshöhle“. Der Blick durch das einzige „Fenster“ geht direkt auf den Mars und InSight. Das Team von DLR und JPL: Hinten von links: Troy Hudson, Matthias Grott, Ann Louise Thomas, Tilman Spohn, Christian Krause; vorne: Cinzia Fantinati, Sue Smrekar.



Das Sensorpaket HP³ mit der Rammsonde „Maulwurf“

Was bleibt nach diesem Abenteuer?

Es war von vorneherein klar, dass HP³ das risikoreichste InSight-Instrument war. Mit einem Experiment fünf Meter in den Marsboden einzudringen, hatte zuvor noch niemand gewagt. Raumfahrtmissionen bedeuten häufig sowohl ein Risiko als auch Schritte ins Neuland – und auch das Scheitern erbringt wertvolle Daten. Aktuell geht das HP³-Team durch die Aufzeichnungen der letzten zwei Jahre, um weitere Informationen über die Eigenschaften des Marsbodens zu gewinnen: Warum reichten die Maßnahmen nicht aus, um die Rückschläge des Hammermechanismus zu kompensieren? Lag es vielleicht auch am Widerstand des Bodens, der nach den Messdaten eigentlich hochporös sein sollte?

Währenddessen arbeitet die Sonde auf dem Mars als Thermosonde weiter, um den Einfluss des mit den Jahreszeiten variierenden Atmosphärendrucks auf die Wärmeübertragung im Boden zu messen – eine für die Atmosphären- und Bodenkunde hochinteressante Messung. Auch der Plan, unter die Oberfläche unseres Nachbarplaneten vorzudringen, ist noch nicht aufgegeben. 2022 startet Rosalind Franklin – der Rover der ESA-Mission ExoMars – Richtung Mars. Dort wird er versuchen, mit „klassischer“ Bohrtechnik in den Marsboden vorzudringen. Im Gegensatz zu dem als Rammsonde konzipierten DLR-Maulwurf besitzt der ESA-Rover ein Bohrgestänge, das die Bohrtiefe auf zwei Meter beschränken wird. Währenddessen wird am DLR die Hammertechnologie des Maulwurfs weiterentwickelt. Sie bietet den Vorteil, dass man mit bescheidenem Ressourceneinsatz prinzipiell größere Tiefen erreichen kann. Es bleibt spannend, ob die Weiterentwicklung als Erstes auf dem Mars, bei einer Mond- oder einer Mission zu einem anderen Himmelskörper zum Einsatz kommen wird.

Prof. Tilman Spohn leitet das International Space Science Institute in Bern und ist wissenschaftlicher Leiter des HP³-Experiments auf der InSight-Mission. Bis 2017 war er Direktor des DLR-Instituts für Planetenforschung in Berlin.

WOHNEN UND HANDELN

Im Emulationszentrum für Vernetzte Energiesysteme (NESTEC) am DLR-Standort Oldenburg wird beispielsweise untersucht, wie eine Wasserstoff-Produktionsanlage in die Energieversorgung des Quartiers integriert werden kann.



Wie sieht die Energieversorgung im Wohnquartier der Zukunft aus? Welche Infrastrukturen benötigen wir, um Energie vor Ort zu erzeugen und sie auch vor Ort sektorenübergreifend nutzen zu können? Am Beispiel eines realen Baugebiets im niedersächsischen Oldenburg entwickelt das DLR derzeit gemeinsam mit Projektpartnern ein neuartiges Energiekonzept, das einmal als Blaupause für die lokal ausgelegte Versorgung ganzer Stadtteile dienen könnte. Es beinhaltet auch einen völlig neuen Ansatz: Die Nachbarschaften sollen Strukturen erhalten, die ihnen den Weg in den lokalen Energiehandel ebnet.

Bislang funktionierte unser Energiesystem – vereinfacht gesagt – wie eine Einbahnstraße: am Ausgangspunkt das Kraftwerk, die Raffinerie, die Gaspipeline. Am Zielpunkt: wir, die Verbraucherinnen und Verbraucher. Mittlerweile verlagert sich die Einspeisung erneuerbarer Energien jedoch zunehmend in unsere Wohnquartiere. Solaranlagen auf unzähligen Hausdächern ersetzen ganze Kraftwerke, Energie fließt nun bedarfsorientiert in beiden Richtungen durchs Netz. Zugleich ändert sich die Art der Energiebereitstellung: Moderne Häuser lassen sich effizient mit Strom heizen, Öl und Gas verlieren an Bedeutung. Und auch der Bedarf an Benzin und Diesel sinkt, weil immer mehr Autos in der heimischen Garage mit Strom betankt werden. Unsere Wohnbereiche übernehmen somit immer häufiger die Funktion von dezentralen Energieverteilern. Wir entscheiden, wofür wir unseren selbst erzeugten Strom nutzen und wie viel Restenergie wir ins Netz einspeisen.

Ein Wohnviertel als Forschungsprojekt

Inwieweit vor diesem Hintergrund künftig intelligente Energiekonzepte für ganze Wohnviertel geplant werden könnten, erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR im Forschungsprojekt „Energetisches Nachbarschaftsquartier“ (ENaQ). Das Besondere an diesem Vorhaben: Das Forschungsobjekt ist ein ganz reales Baugebiet, das momentan in Oldenburg erschlossen wird. 300 Menschen sollen hier in einigen Jahren leben. Ihr Umgang mit Energie wird anders sein, als sie es bislang gewohnt sind. Wie genau, entscheidet sich derzeit auf Basis von Modellrechnungen des DLR. Ein zentrales Thema für das ENaQ-Team war eine möglichst hohe Energieausbeute am Gebäude. So waren für die Stromerzeugung – neben der naheliegenden Fotovoltaik – auch Solarthermiekollektoren, Geothermie oder Wärmepumpen Teil der Überlegungen.

„Es war uns wichtig, dass wir diese Entscheidungen nicht unserem Bauchgefühl überlassen. Deshalb haben wir etwa 25 Technologien definiert und vorab nach ökonomischen und standortspezifischen Kriterien bewertet“, sagt Dr. Peter Klement, ENaQ-Projektleiter am DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme. Für diese Analyse wurde

eigens ein Modell entwickelt, mit dem Betriebsweisen virtuell getestet werden können und diese sich damit vereinfachen und verbessern lassen. So werden zum Beispiel bei der Wahl zwischen mehreren Wärmequellen die bestmöglichen Optionen zur Betriebsweise, zur Anlagengröße und zur Kombination mit anderen Technologien berechnet. Allein dieser Aspekt bot ausreichend Stoff für verschiedene Masterarbeiten am Institut für Vernetzte Energiesysteme.

ENaQ-ARBEITSSCHWERPUNKTE AM INSTITUT FÜR VERNETZTE ENERGIESYSTEME

- Für die Gestaltung der vernetzten Infrastruktur des Quartiers erstellte das DLR ein Simulationsmodell. Hiermit ist es möglich, verschiedene Energieversorgungsszenarien abzubilden.
- Innerhalb dieses Modells lassen sich weitere Komponenten in beliebiger Dimensionierung ergänzen, zum Beispiel ein elektrochemischer Energiespeicher.
- Die Ergebnisse der Simulationen fließen in die reale Umsetzung ein. Eine Nachbildung des Quartiers im NESTEC-Labor zeigt das Quartier und seine Wechselwirkung mit dem übergeordneten Versorgungsnetz.
- Aus den gemessenen Daten werden unter Beachtung der geltenden Datenschutzbestimmungen typische Nutzerprofile für die Siedlung abgeleitet und Prognosemodelle erstellt.
- Aus der Planung werden Konzepte entworfen, die auf andere Quartiere übertragen werden können.

So wird das Projekt Energetisches Nachbarschaftsquartier in Oldenburg aussehen. 300 Menschen sollen dort in einigen Jahren leben.

In Oldenburg entsteht ein Wohnquartier mit einem völlig neuen Energiekonzept

von Heinke Meinen



Das Wohnquartier auf dem Gelände des ehemaligen Fliegerhorstes Oldenburg, das im Rahmen des Projekts „Energetisches Nachbarschaftsquartier“ entsteht, bietet auf etwa vier Hektar für circa 300 Menschen Wohnraum.



Gegenwärtig befinden sich die Bauarbeiten in vollem Gange.

DAS PROJEKT ENaQ

Das Energetische Nachbarschaftsquartier (ENaQ) wird im Rahmen der Initiative Solares Bauen/Energieeffiziente Stadt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Die Fördersumme beträgt rund 18 Millionen Euro. 21 überwiegend regionale Partner aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung bilden das Projektkonsortium. Als Reallabor dient das Quartier Helleheide, das derzeit mit über 100 Wohneinheiten für rund 300 Menschen auf dem Gebiet des ehemaligen Fliegerhorstes in Oldenburg entsteht. Ziel ist die Entwicklung eines klimafreundlichen und zukunftsweisenden Energiekonzepts für das Quartier. Dabei soll der Energiebedarf zum größten Teil aus lokal erzeugter Energie gedeckt werden. Das Projekt läuft von Januar 2018 bis Dezember 2022.

Weitere Informationen unter:

- enaq-fliegerhorst.de
- helleheide.de



Die besten Technologien suchen

Um jedoch berechnen zu können, welche dieser erneuerbaren Energien unter welchen Voraussetzungen besonders effizient einsetzbar sind, bedarf es einer sehr viel komplexeren Datengrundlage. Deshalb haben gleich mehrere Projektpartner Daten bereitgestellt. Dazu zählen zum Beispiel hochaufgelöste Wetterdaten für den Standort oder Verbrauchsprofile, die den Strom- und Wärmebedarf fiktiver Bewohnerinnen und Bewohner stundengenau über den gesamten Jahresverlauf hinweg abbilden. Hinzu kommen energetische Baustandards der geplanten Häuser, Prognosen über das voraussichtliche Mobilitätsverhalten im Quartier oder die Effekte, die sich durch die Energieumwandlung ergeben – in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen und Blockheizkraftwerken oder durch die Erzeugung und Rückverstromung von Wasserstoff. Gleichzeitig findet eine umfangreiche Bürgerbeteiligung statt. Sie wird die Teilhabe der Menschen am ENaQ-Projekt sicherstellen. Die technische Ausstattung soll sich an den Bedürfnissen und Gewohnheiten der Menschen orientieren. Nicht umgekehrt.

„Wir wollen die Nachbarschafts-Gemeinschaft in die Lage versetzen, mit Energie zu handeln.“

Dr. Peter Klement

Neben dem Zusammenspiel verschiedener nachhaltiger Erzeugungstechnologien legt das Projektteam des DLR einen weiteren Fokus auf die Vernetzung und Regelung der Energie im Wohnquartier. Auf diese Weise will man erreichen, dass die Bewohnerinnen und Bewohner die erzeugte Energie möglichst kosten- und klimaschonend einsetzen können. Zusätzlich möchten die Forscherinnen und Forscher eine marktwirtschaftliche Komponente schaffen, die es in dieser Form bislang nicht gibt: „Wir wollen die Nachbarschafts-Gemeinschaft in die Lage versetzen, mit Energie zu handeln“, sagt Klement. Nach derzeitigem Recht sei es zwar noch nicht erlaubt, Energie an die Nachbarn zu verkaufen. Hierfür will das ENaQ-Konsortium nun den Weg ebnen. Aktuell ist geplant, dass ein Quartiersenergie-Aggregator die Funktion des Energiehändlers übernimmt und das Quartier auch nach außen vertritt.

Energiehandel in der Nachbarschaft

Was den Energiehandel im Quartier so attraktiv macht, liegt auf der Hand: Zum einen verringern sich die übergeordneten Kosten für die Transport-Infrastruktur, wenn möglichst viel Energie am gleichen Ort erzeugt und verbraucht wird. Zum anderen bieten sich finanzielle Vorteile durch einen möglichst hohen Eigenverbrauchsanteil in der Nachbarschaft: „Wer mehr Eigenstrom nutzt, muss weniger Energie einkaufen. Oder anders gesagt: Ist die selbst erzeugte Energie erst mal ins öffentliche Netz eingespeist, ist sie nicht mehr im Sinne des Eigenverbrauchs verfügbar“, verdeutlicht Klement. „Die entscheidenden Schritte des Energiehandels müssen also geschehen, bevor der Strom eingespeist wird. Deshalb legen wir großen Wert auf Technologien, die gut zu steuern sind, und berücksichtigen nur die Optionen, die günstig, ressourcenschonend und CO₂-sparend sind.“

Für den Energiehandel im Quartier entwickelt der Projektpartner KEHAG eine Kundenanlage, um als Quartiersenergie-Aggregator aktiv werden zu können. Hier darf später Energie gekauft, verkauft und gehandelt werden. Zudem sollen Anreizmodelle geschaffen werden, damit sich lokale Energiegenossenschaften bilden. Innerhalb dieser neuen Strukturen wird es zum Beispiel um die Frage gehen, welche Art von Energie zugekauft werden muss und an wen eigene Energie verkauft wird. Voraussichtlich wird es dabei überwiegend um Strom gehen. Doch es stehen auch weitere Optionen im Raum, schließlich will man für die sektorenübergreifende Energienutzung im Quartier auch die Herstellung von Wasserstoff aus Fotovoltaik-Strom ermöglichen. Zumindest theoretisch könnte also auch überschüssiger Wasserstoff Teil des Energiehandels werden.

Trotz der wirtschaftlichen Vorteile durch Eigenverbrauch und Energiehandel bremst Klement die Hoffnung auf vollständige Energie-Autarkie im Wohnquartier: „Mit ‚möglichst viel lokaler Nutzung‘ meinen wir nicht, dass wir eine vollständig autarke Insel schaffen wollen. Vielmehr müssen wir uns bei der Dimensionierung der Anlagen von der Grundfrage leiten lassen, bei welchem Maß an Eigenverbrauch wir am Ende tatsächlich die wirtschaftlich und klimatechnisch sinnvollste Lösung für die Bewohnerinnen und Bewohner erzielen können.“ Auf dem ENaQ-Gelände Helleheide in Oldenburg laufen derzeit schon die ersten Bauvorbereitungen. Aktuell ist anvisiert, dass die ersten Bewohnerinnen und Bewohner Ende 2022 einziehen.

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



Die Bürgerbeteiligung spielt im ENaQ-Projekt eine elementare Rolle. Oldenburgs Oberbürgermeister Jürgen Krogmann (links) nutzte eine der zahlreichen öffentlichen Infoveranstaltungen, um mit Bürgerinnen und Bürgern sowie mit Projektbeteiligten über den aktuellen Planungsstand zu diskutieren.

AUTONOMES FAHREN – QUO VADIS?



Wo stehen wir und wohin wird die Reise gehen?

von Denise Nüssle

Einsteigen, zurücklehnen und genauso sicher wie entspannt ans Ziel kommen. Autonome Fahrzeuge faszinieren die Menschen seit jeher – und werden dank modernster Hightech immer greifbarer. Statt von Geisterhand werden sie von Algorithmen, Software, IT-Plattformen und künstlicher Intelligenz gelenkt und interagieren mit anderen Verkehrsteilnehmern. Ob neuartige Fahrzeugkonzepte, Sensortechnologie, hochautomatisierte Fahrfunktionen, die Kommunikation zwischen Fahrzeugen, Umgebung und Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern oder Studien zu den wirtschaftlichen Potenzialen und der gesellschaftlichen Akzeptanz – das DLR arbeitet in einer Vielzahl von Projekten daran, automatisiertes und vernetztes Fahren als Teil von nachhaltigen Mobilitätskonzepten voranzubringen. Magnus Lamp, Programmdirektor Verkehr des DLR, spricht über die aktuelle Situation, Chancen und technologische Optionen sowie den damit verbundenen gesellschaftlichen wie ökonomischen Wandel.

Im DLR-Projekt AutoAkzept entwickelt das DLR gemeinsam mit Partnern neue Funktionen für automatisierte Fahrzeuge, die das Vertrauen in die Technologie stärken und verhindern, dass Unsicherheit aufkommt.

Statt von autonomem Fahren spricht das DLR von automatisiertem und vernetztem Fahren. Was ist der Unterschied?

Automatisiertes und vernetztes Fahren beschreibt unseren Ansatz im DLR besser. Aktuell können Fahrzeuge schon recht gut ihre Umgebung automatisiert erfassen und die Gegebenheiten interpretieren. Das gilt allerdings nur für spezielle Situationen wie beispielsweise das Fahren auf der Autobahn. Ist die Lage komplexer, etwa an einer schlecht einsehbaren Kreuzung in der Stadt, sieht das noch anders aus. Hier kommt der Aspekt der Vernetzung ins Spiel: Denn um vorausschauend zu agieren, muss sich das automatisierte Fahrzeug mit anderen Verkehrsteilnehmern austauschen und abstimmen. Erst so wird es wirklich smart.

Weshalb sollten wir denn überhaupt smart fahren wollen?

Automatisiertes und vernetztes Fahren ist kein Selbstzweck. Im DLR versuchen wir, die Mobilität der Zukunft entsprechend den Anforderungen und Wünschen der Menschen zu denken. Nachhaltige und ganzheitliche Mobilitätskonzepte spielen hier eine entscheidende Rolle. Smartes Fahren macht es möglich, unsere Mobilität effizienter, ressourcenschonender und ökonomischer zu gestalten. Ein Beispiel ist der Platzbedarf von parkenden Autos in unseren Innenstädten. Der individuell genutzte PKW steht oft mehr, als er in Bewegung ist. Automatisierte und vernetzte Shuttles sind im besten Fall ständig auf den Straßen unterwegs und haben wenig Stehzeit. Statt Parkflächen entstehen neue Freiräume für die gemeinsame Nutzung – was auch die Aufenthaltsqualität verbessert.

Was ist technologisch heute und in absehbarer Zeit möglich? Was bleibt eher Vision?

Erste Funktionen aus dem Bereich des hochautomatisierten Fahrens sind bereits auf dem Markt, beispielsweise der Stauassistent. Er hält im Stau die Spur, beschleunigt und bremst – übernimmt also die Lenkbewegung und hält den Abstand. Der Fahrer muss das System allerdings noch überwachen und eingreifen, wenn die Technik an ihre Grenzen gerät. Bei einfachen Fahrmanövern funktioniert das schon ganz gut.

Im nächsten Schritt geht es darum, komplexere Situationen und Aufgaben zu bewältigen. Dazu zählen zum Beispiel Systeme für fahrerlose Shuttlebusse, die auch im Stadtverkehr unterwegs sind. Sie müssen mit anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur kommunizieren, ihre Fahrmanöver abstimmen und jederzeit sicher Kollisionen vermeiden. Das ist eine technologisch anspruchsvolle Aufgabe. Deshalb wird der automatisierte und vernetzte Verkehr in den Städten auf absehbare Zeit ein eher langsamer Verkehr sein.



Bild: Privat

ZUR PERSON: MAGNUS LAMP ...

koordiniert seit Mai 2018 als Programmdirektor Verkehr im DLR die Forschungsthemen Verkehrssystem, Straßen- und Schienenverkehr. Ist studierter Diplomingenieur Maschinenbau der Technischen Universität Braunschweig und arbeitete mehr als zwanzig Jahre für TÜV Rheinland Consulting, zuletzt als Leiter des Forschungsmanagements sowie als Prokurist und Mitglied der Geschäftsleitung. Zudem war er zwei Jahre für die Deutsche Bundesmarine an Bord eines Schnellboots.

SASS ZUM ERSTEN MAL ...

2013 in einem automatisierten und vernetzten Auto im Rahmen eines DLR-Forschungsprojekts, wenn auch noch im Erprobungsstadium.

WÜRDEN SICH IN ZUKUNFT ...

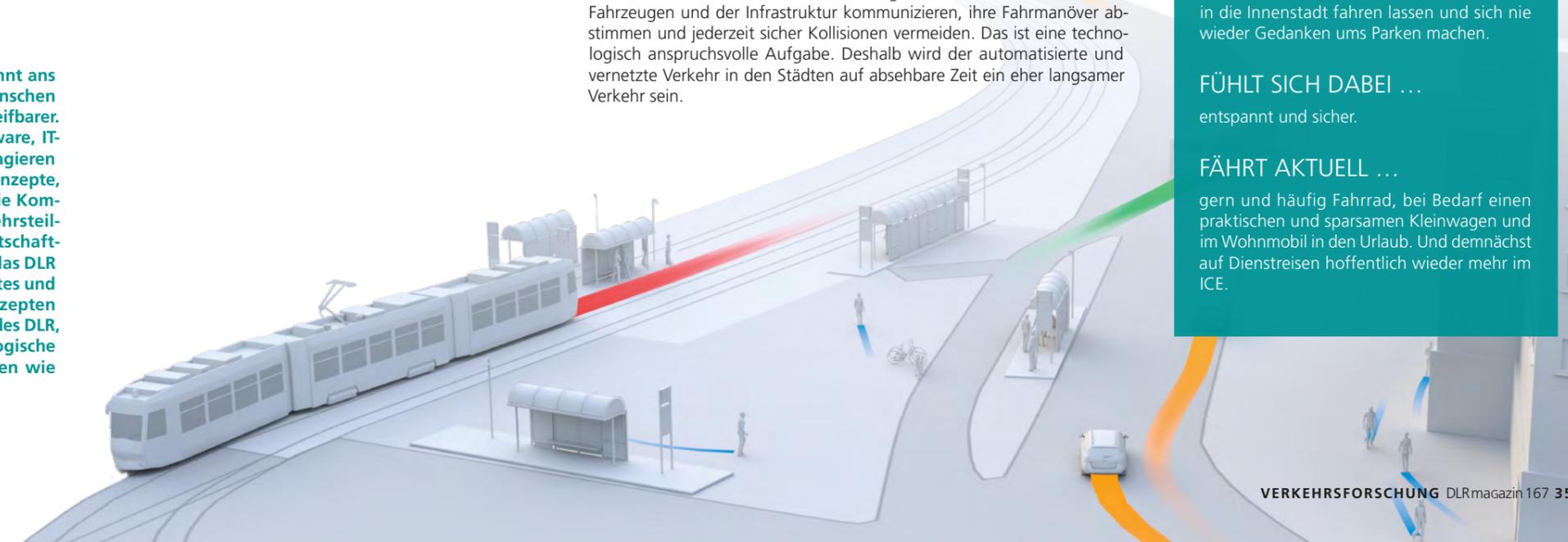
gerne von automatisierten und vernetzten Autos von seinem Wohnort am Rande Kölns in die Innenstadt fahren lassen und sich nie wieder Gedanken ums Parken machen.

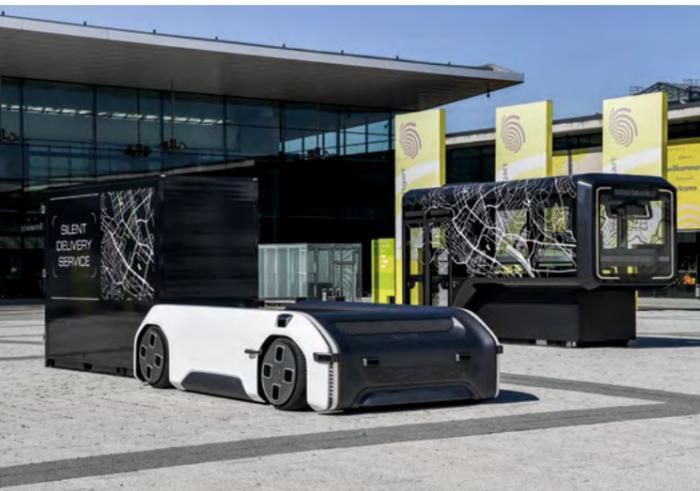
FÜHLT SICH DABEI ...

entspannt und sicher.

FÄHRT AKTUELL ...

gern und häufig Fahrrad, bei Bedarf einen praktischen und sparsamen Kleinwagen und im Wohnmobil in den Urlaub. Und demnächst auf Dienstreisen hoffentlich wieder mehr im ICE.





Das DLR-Fahrzeugkonzept U-Shift besteht aus einer U-förmigen Fahreinheit, auf die vielfältige Kapseln zum Personen- oder Gütertransport aufgeladen werden können (mehr darüber im DLRmagazin 166).

Zu den entscheidenden Punkten gehören dabei die Sensorik und die Intelligenz, mit der das Fahrzeug seine Umgebung erfasst und interpretiert. Diese muss einerseits ressourceneffizient sein – auch hinsichtlich der benötigten Rechenkapazitäten und elektrischen Energie – und andererseits mit entsprechenden Nachweisen in Bezug auf die technische Vertrauenswürdigkeit funktionieren. Das ist die Königsklasse, aber ich halte es für möglich. Bis wir diese Technologien allerdings sicher beherrschen und auf unseren Straßen sehen, ist es noch ein vergleichsweise weiter Weg. Die technische Vertrauenswürdigkeit der Systeme ist gleichzeitig ein wichtiger Faktor, damit die Menschen das automatisierte und vernetzte Fahren akzeptieren.

Wo kommt die Technik hin: ins Fahrzeug oder in die Infrastruktur?

Die für automatisiertes und vernetztes Fahren notwendige Technik wird sich vor allem im Fahrzeug befinden. Aber auch einige Stellen in der Infrastruktur werden mit intelligenten Systemen ausgerüstet sein. So wird es schon im Mischverkehr aus automatisierten und manuell gefahrenen Fahrzeugen an Kreuzungen vernetzte, intelligente Lichtsignalanlagen geben, die sicher den Signalzustand und die ideale Geschwindigkeit für die nächste Grünphase kommunizieren und unnötige Wartezeiten für alle minimieren.



AUTONOM vs. AUTOMATISIERT

Ob ein Fahrzeug autonom oder automatisiert unterwegs ist, hängt davon ab, ob der Fahrer oder die Fahrerin noch in den Prozess eingreift. Automatisiert fahrende Fahrzeuge können Aufgaben ausführen oder sogar in bestimmten Bereichen die Fahraufgabe vollständig übernehmen – zum Beispiel auf der Autobahn. Das System muss dabei aber immer vom Menschen überwacht werden. Bei autonomen Fahrzeugen entfällt dieser Schritt und das Auto reagiert in allen Verkehrssituationen völlig selbstständig.

Auch die Ausrüstung von kritischen Unfallschwerpunkten oder schwer einsehbaren Kreuzungen mit infrastruktureitiger Sensorik, die vertrauenswürdige Informationen an Fahrzeuge sendet, kann lokale Einführungsszenarien automatisierter, vernetzter Fahrzeuge unterstützen. Denkbar sind zudem eine Zentrale oder Leitstelle, die eine gewisse Überwachung und Fernsteuerung ermöglichen. Diese können zum Beispiel ein fahrerloses Gefährt bei einer Fehlfunktion aus einer kritischen Situation herausmanövrieren. Das Ganze funktioniert allerdings nur, wenn alle Akteure – vom Fahrzeug über die Infrastruktur bis zur Leitstelle – dieselben hohen technologischen Anforderungen erfüllen und dieselbe „Sprache“ sprechen. Eine Herausforderung, die wir nicht unterschätzen sollten angesichts der vielen beteiligten Akteure.

Die amerikanischen Firmen Waymo und Tesla haben bei autonomen Fahrzeugen öffentlichkeitswirksam vorgelegt. Wo befinden sich Deutschland und Europa?

Tesla und Waymo – der Nachfolger des Google-Projekts „Driverless Car“ – sind beide in einer sehr guten Ausgangssituation: Sie haben insbesondere Stärken bei der Softwareentwicklung und können auf global ausgerollte, skalierbare IT-Systeme zurückgreifen und so das Auto als Teil eines Informationsnetzwerks begreifen und weiterentwickeln. Deutschland und Europa ziehen hier mit Projekten wie dem Datenraum

„Mobilität und die damit verbundene Freiheit machen einen großen Teil unseres Lebensgefühls aus.“

Mobilität und GAIA-X nach. Deren Ziel ist es, auch über die Mobilität hinaus eine leistungs- und wettbewerbsfähige sowie sichere Dateninfrastruktur für Europa aufzubauen.

Unsere Stärken liegen beispielsweise auf den Gebieten der Interaktion von Mensch und Fahrzeug oder des Nachweises der Sicherheit von automatisierten und vernetzten Systemen. Wenn man mit herkömmlichen Methoden solche Nachweise auf der Straße erbringen will, muss man unglaublich viele Testkilometer absolvieren. Und bei jeder Funktionsänderung müssen im Grunde genommen wieder alle Eventualitäten, die im Verkehrsalltag auftreten können, erneut durchgespielt werden. Deshalb sind Simulationsmethoden für den Sicherheitsnachweis so wichtig. Gleichzeitig sind das Bereiche, in denen Forschung und Industrie in Deutschland wie Europa gut aufgestellt sind – durchaus mit einer starken Rolle der 16 beteiligten Institute und Einrichtungen im DLR: Mit dem Testfeld Niedersachsen haben wir eine effiziente und flexible Testinfrastruktur aufgebaut. Es verknüpft erfolgreich unterschiedliche Simulationsmethoden mit Erprobungsfahrten im realen Verkehr. Das neue DLR-Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität erforscht zudem Methoden, um automatisierte und vernetzte Verkehrssysteme möglichst effizient und sicher zu entwickeln.



Technologie ist das eine. Wie sieht es mit Geschäftsmodellen aus?

Wir werden durch automatisiertes und vernetztes Fahren eine größere Individualisierung des öffentlichen Personennahverkehrs erleben. Gleichzeitig wird es mehr gemeinschaftliche Elemente im Individualverkehr geben. Das heißt, der Verzicht auf das eigene Auto wird zumindest für Teile der Bevölkerung naheliegender werden. Andererseits wird sich die Erreichbarkeit und Teilhabe für viele Menschen verbessern. Das Thema Dienstleistung bekommt in diesem Zusammenhang eine noch stärkere Bedeutung für den Personenverkehr. Der in der Fach-Community verbreitete Begriff „Mobility as a Service“ beschreibt das schon sehr deutlich. Insofern werden sich die Geschäftsmodelle für die Wirtschaftsakteure sicher deutlich ändern.

„Wir werden durch automatisiertes und vernetztes Fahren eine größere Individualisierung des öffentlichen Personennahverkehrs erleben.“

Fällt zum Beispiel in einem automatisiert und vernetzt fahrenden Shuttlebus oder LKW das fahrerführende Personal komplett weg, ist das ein entscheidender Punkt für die Wirtschaftlichkeit solcher Dienstleistungen. Generell wird es aber eher ein evolutionärer Wandel sein, den wir in den nächsten ein bis zwei Jahrzehnten erleben werden und bei dem noch einige Unbekannte mitschwingen.

Wie groß wird der gesellschaftliche Wandel sein?

Mobilität und die damit verbundene Freiheit machen einen großen Teil unseres Lebensgefühls aus – das wird eine Konstante bleiben. Menschen wollen und können nicht auf Mobilität verzichten. Allerdings wird der persönliche Besitz eines Fahrzeugs keine so dominante Rolle mehr spielen. Das emotionale Moment wird sicher weiterhin vorhanden sein. Aber nicht mehr in der Form, wie wir es aus den vergangenen Jahrzehnten kennen.

Letztendlich müssen wir auf gesellschaftlicher Ebene klären, welche Mobilität wir in Zukunft wollen. Unsere Forschung kann den Menschen und der Politik Entwicklungspfade und die damit verbundenen Konsequenzen aufzeigen – aus ökologischer, wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Perspektive. So schaffen wir eine möglichst belastbare Grundlage für Entscheidungen, vor allem wenn es darum geht, die notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen. Die Menschen sind durchaus bereit, neue Technologien und Dienstleistungen anzunehmen, wenn sie den Nutzen für sich und die Umwelt erkennen. Denn die fundamentale Frage: „Wie komme ich von A nach B – zuverlässig, sicher, komfortabel und ressourcenschonend?“ bleibt die gleiche.

Das Gespräch führte **Denise Nüssle**, Presseredakteurin im DLR.

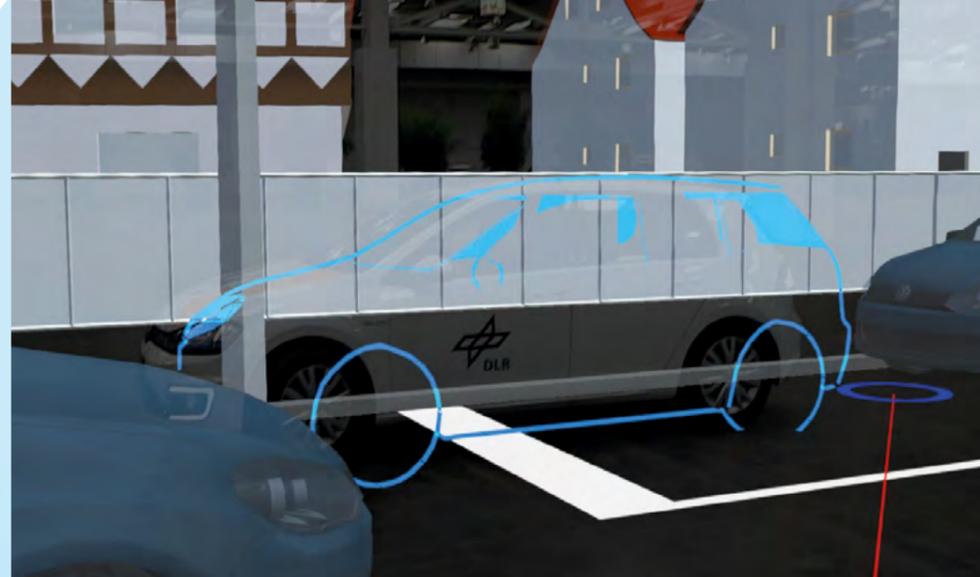


Im Virtual-Reality-Labor des DLR wird am automatisierten und vernetzten Fahren geforscht. Für möglichst detailgetreue Tests hat ein Mittelklassewagen Platz im Labor und die 360-Grad-Darstellung ermöglicht einen Rundumblick.



Im Projekt AUTOPILOT hat das DLR autonomes Einparken erprobt. Das Auto wird mittels einer App auf Parkplatzsuche geschickt – wenn das System mithilfe einer Drohne eine geeignete Stelle ausgemacht hat, navigiert es das Fahrzeug dorthin und parkt es ein.

SCHARFGESTELLT



Blick durch die HoloLens: Die virtuelle Szene stammt von der digitalen Abbildung des Tostmannplatzes in Braunschweig.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik forschen an dieser Mobilität der Zukunft. Dabei sind für sie nicht nur technische, sondern vor allem auch systemische Fragestellungen relevant: Wie sieht sie denn nun wirklich aus, die „Mobilität von morgen“? Zahlreiche Parameter und diverse Einflussgrößen machen es schwer, eine konkrete Vorstellung zu erhalten. Aber ein solches Bild ist wichtig, um eine Forschungs- oder auch eine Entwicklungsstrategie festzulegen. Eine weitere „Störgröße“ dabei ist das bereits vorhandene System. Wahrscheinlich müssen klassische Teile des Verkehrssystems noch über sehr lange Zeit erhalten bleiben, damit auch Fahrzeuge, die nicht auf dem neuesten Stand der Technik sind, noch am Verkehrsgeschehen teilnehmen können. Umso schwerer fällt es, sich vorzustellen, welche Veränderungen neue Technologien bringen können. Hinzu kommt, dass Funktechnologien für das menschliche Auge schlicht unsichtbar sind. In einem möglichen Zukunftsszenario könnten beispielsweise reale Ampeln überflüssig werden, weil die Fahrzeuge über Funk von der digitalen Infrastruktur mitgeteilt bekommen, wann sie anhalten müssen.

Die neue Welt als Hologramm

Um einen Blick in mögliche Versionen unseres zukünftigen Verkehrssystems zu werfen, nutzen die Forscherinnen und Forscher des DLR ein besonderes Werkzeug: die HoloLens von Microsoft. Die HoloLens ist eine Augmented-Reality-Brille und verbindet die Realität mit dem virtuellen Raum. Augmented Reality (AR) – englisch für erweiterte Realität – bedeutet, dass die reale Welt um virtuelle Aspekte erweitert wird. Einzelne oder mehrere Objekte aus der Simulation werden als Hologramme in den echten Ort des Geschehens projiziert. Durch die Brille scheinen diese Hologramme eingebettet in die Realität.

Diese Technologie macht es möglich, nahezu beliebige Szenarien der zukünftigen Mobilität in realen Umgebungen darzustellen. Die Brille wurde gemeinsam vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik, vom DLR-Institut für Softwaretechnologie und der Firma eck*cellent IT entwickelt. Das System erfasst nicht nur simulierte Daten, sondern kann auch reale Messdaten verarbeiten und darstellen. In einem Anwendungsfall nutzen die Forscherinnen und Forscher die Daten des Testfelds Niedersachsen – einer Forschungsplattform des DLR, auf der automatisiertes und vernetztes Fahren untersucht wird. Die Werte, die auf dem Testfeld gemessen werden, können in Echtzeit auf die HoloLens übertragen und auf ihr dargestellt werden.

Die Realität anreichern

Für einen ersten Anwendungsfall programmierte das DLR-Team die Brille so, dass sie beim Blick auf ein automatisiertes Fahrzeug die Informationen darstellt, die das Auto in diesem Moment wahrnimmt. Dies können andere Fahrzeuge, Geschwindigkeitsbegrenzungen oder weitere Daten sein. Ohne die Brille ist nur ein einzelnes Fahrzeug zu sehen, das auf einer Freifläche im Kreis fährt. Mit der Brille erkennt man Straßen, Lichtsignalanlagen, Schilder, Personen und vieles mehr. Das Auto erhält diese Informationen über entsprechende Sensoren

oder direkt per Funknachricht und reagiert darauf. Es lässt sich leicht nachvollziehen, warum ein Fahrzeug ein bestimmtes Manöver durchführt und ob dieses Manöver der aktuellen Situation angemessen ist. Die eingeblendeten Elemente sind dabei Teil einer ganzen 3D-Welt, die die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für die HoloLens entwickelten und die sie an verschiedene Situationen anpassen können. So ist es möglich, einzelne Objekte darzustellen, um einen Eindruck von zukünftiger Mobilität in einer realen Szenerie zu bekommen – wie ein einzelnes Fahrzeug im realen Straßenverkehr. Auf der anderen Seite kann auch eine ganze Szene in eine existierende Umgebung eingebettet werden. Damit lassen sich beispielsweise Veränderungen im Stadtbild sichtbar machen.

Der erste Prototyp der HoloLens kam auf dem Messegelände in Hannover zum Einsatz. In der Halle fuhr ein echtes Fahrzeug mit hochgenauer Indoor-Ortung einen vorgefertigten Parcours automatisiert ab – mit Sicherheitsfahrer. Auf dieses Szenario holografierten die Forscherinnen und Forscher in der Brille einen Teil der Kreuzung am Braunschweiger Tostmannplatz. In der Projektion waren Personen zu Fuß, mit dem Fahrrad oder dem Auto unterwegs. Diese Objekte wurden von einem DLR-Team vom Rechenzentrum des Testfelds Niedersachsen animiert. In diesem Szenario wurde also die Position des realen Autos mit simulierten Daten kombiniert und beide Informationen gleichzeitig dargestellt.

Eine solche Technologie ist interessant für Hersteller von automatisierten Fahrzeugen – beispielsweise für Tests in Stausituationen. Diese lassen sich auf einem Testgelände nur schwer durchführen. Deshalb nutzen die Forscherinnen und Forscher Simulationen. Mit ihnen können sie komplexe Stausituationen darstellen, während das Fahrzeug allein auf dem Testgelände fährt. Während den Sensoren die richtigen Informationen zugespielt werden, sieht die fahrende Person allerdings nichts davon, beziehungsweise ein leeres Testgelände. Die HoloLens bildet die Brücke und macht die digitalen Informationen der Simulation sichtbar. So kann man komplexe Situationen überblicken und schauen, ob sich das Fahrzeug korrekt verhält. Die DLR-Fachleute arbeiten aktuell an Projekten mit dem Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung sowie der Deutschen Messe AG, um das System zukünftig auch in größerem Maßstab einsetzen zu können.

Lennart Asbach leitet kommissarisch die Abteilung Verifikation und Validierung im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig. **Prof. Dr. Frank Köster** ist Gründungsdirektor des Instituts für KI-Sicherheit in Sankt Augustin und Ulm.



Auf dem Messegelände Hannover kam der erste HoloLens-Prototyp zum Einsatz.

Eine besondere Brille zeigt, wie ein digitalisiertes Verkehrssystem aussehen könnte

von Lennart Asbach und Prof. Dr. Frank Köster

Die Digitalisierung des Verkehrs schreitet mit großen Schritten voran. Straße und Schiene sind aktuell bis an ihre Grenzen belastet – und der Mobilitäts- und Transportbedarf steigt weiter. Durch die Vernetzung und Automatisierung von Fahrzeugen und Infrastruktur wollen Verkehrsforscher beim DLR die Effizienz des Verkehrs optimieren und damit neue Kapazitäten schaffen – möglichst ohne dass dazu Verkehrswege ausgebaut werden müssen. Sich zu überlegen, wie diese Zukunft aussehen könnte, ist allerdings keine leichte Aufgabe.

VOLLE(R) ENERGIE

60 Jahre DLR-Standort Stuttgart

von Dr. Jens Mende

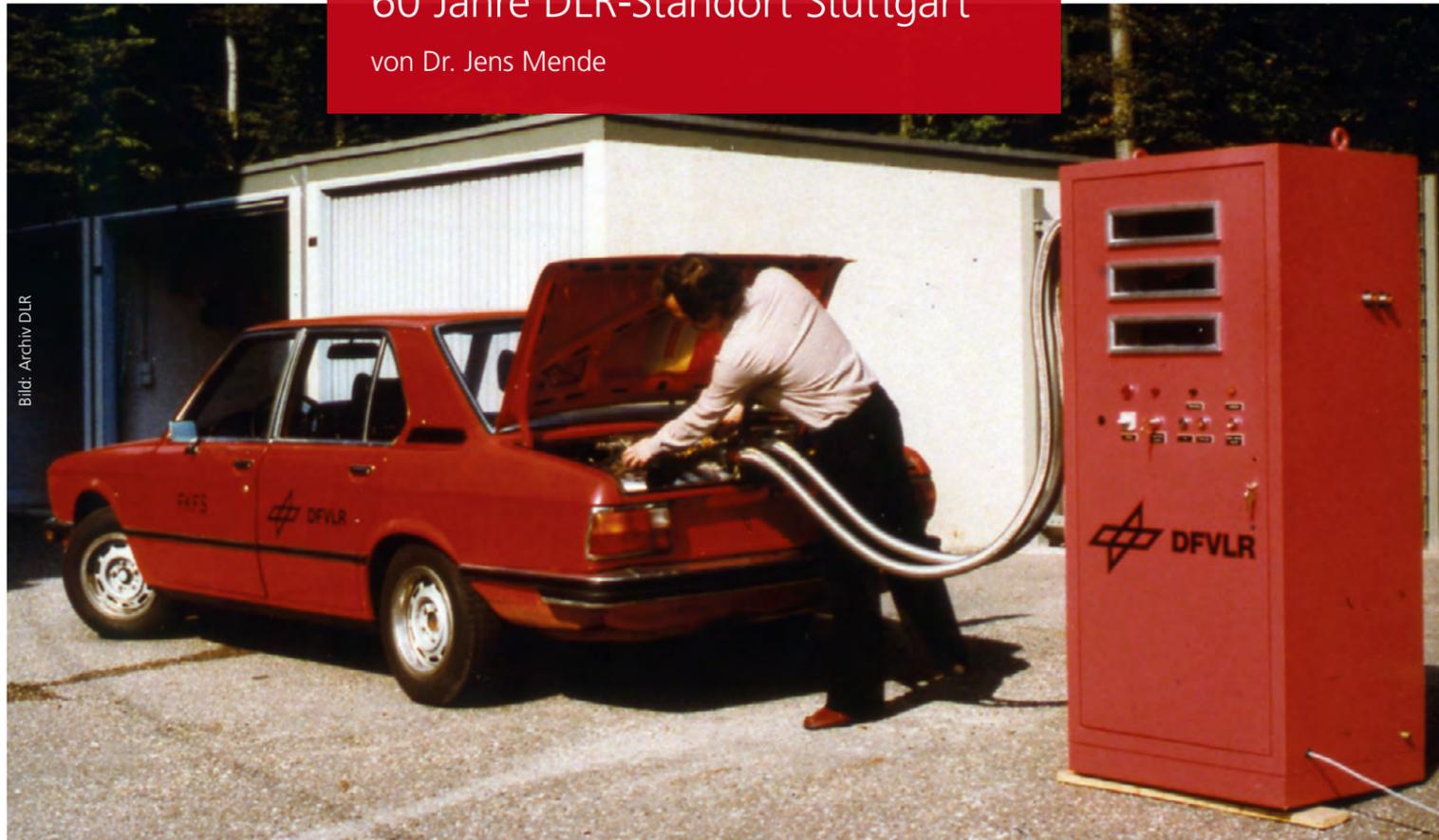


Bild: Archiv DLR

1978 stellte die DFVLR das erste Wasserstoff-Auto Europas vor. Der Tank füllte den ganzen Kofferraum. Die Stuttgarter DLR-Forscherinnen und -Forscher bauten den Wagen selbst um und entwickelten eine halbautomatische Zapfsäule. Der Wagen steht heute im BMW-Museum in München.

Energie war in Stuttgart schon immer ein Thema – nicht nur, wenn es „ums Spare“ oder das Heizen des eigenen „Häusles“ ging. Tüftler und „echte Käpsele“ (Hochdeutsch: cleverer Mensch) steckten ihre Energie in zahllose Erfindungen – insbesondere für die Mobilität zu Lande, zu Wasser und in der Luft. Noch höher hinaus, mit viel Schub ins All, wollte das 1954 in Stuttgart gegründete Forschungsinstitut für Physik der Strahlantriebe. 1961 wurde dieses Institut zur Keimzelle des DLR-Standorts Stuttgart.

In den vergangenen sechs Jahrzehnten kamen mit neuen Instituten auch neue Schwerpunkte der Energie- und Verkehrsforschung hinzu. Heute erstreckt sich das Forschungsspektrum des Standorts vom klimaneutralen und sicheren Fliegen über die nachhaltige Energieversorgung aus erneuerbaren Quellen wie auch innovative Fahrzeugkonzepte für unsere Mobilität von morgen bis hin zur effizienten und sicheren Raumfahrt.

Schon in den 1960ern zeigte sich die Forschung dort ganz interdisziplinär: Die damaligen Institute arbeiteten an Triebwerkstechnologien, entwarfen wiederverwendbare Raumtransporter und entwickelten Energiewandler sowie elektrische Antriebe. Mit Technologien, Erkenntnissen und Fähigkeiten aus der Luft- und Raumfahrt sollten sich jedoch auch ganz irdische Herausforderungen lösen lassen – nämlich bei der Energieversorgung. Das DLR begann mit Arbeiten an neuen Speicher- und Wandlersystemen für Sonnen- und Windenergie. Damit nahm am

1954

Gründung des Forschungsinstituts für Physik der Strahlantriebe (FPS) am Stuttgarter Flughafen

1961

Umzug FPS an Pfaffenwald in Stuttgart-Vaihingen

1963

Übernahme FPS durch Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL)

1969

Gründung Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung



Standort Stuttgart die Energieforschung des DLR ihren Anfang. Als erste große Einrichtung forschte die damalige DFVLR (Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt), eine Vorgängerorganisation des DLR, systematisch auf den Gebieten erneuerbare Energien und Wasserstoff. 1977 beauftragte die Internationale Energie-Agentur die Forschungseinrichtung im spanischen Almería zwei Solarkraftwerke zu bauen, um die technische Machbarkeit der umweltfreundlichen Energiegewinnung zu demonstrieren.

Neue Materialien und Hochleistungsbauteile

In den 1970ern zeigte sich die Überlegenheit innovativer Werkstoffe und Bauweisen gegenüber herkömmlichen Materialien. Aus neuartigen Composite-Werkstoffen entstanden ultraleichte Rotorblätter für Windräder. Bauteile aus faserverstärkten Keramiken zeigten sich bei hohen Temperaturen belastbarer als Metalle. Mithilfe neuer Fertigungstechnologien entstanden in den DLR-Laboren Hightech-Materialien für Gasturbinen, Triebwerke oder Hitzeschutzschilde für den Wiedereintritt beim Raumflug. Ein Stuttgarter Sportwagenhersteller fertigte später sogar seine Bremsscheiben aus solchen Keramiken.

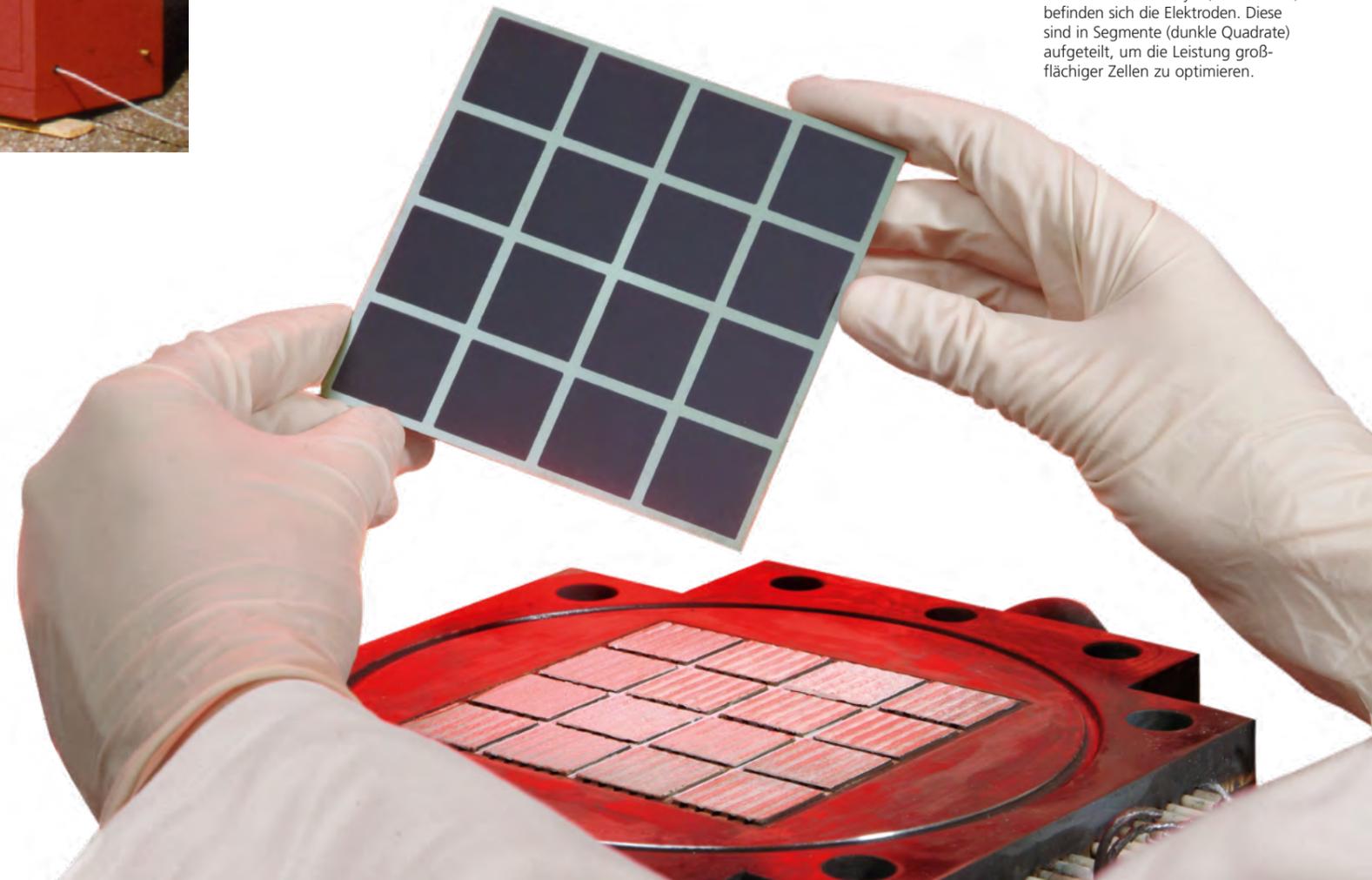
Laser für Materialbearbeitung und Ferndetektion

Mit den 1980ern hielt eine ganz andere Innovation Einzug in den traditionell schwäbischen Maschinenbau: Laser – zum Schneiden und Schweißen mit Licht. In mikroprozessorgesteuerten Laser-Bearbeitungsstationen ließen sich nun Präzisionsbauteile fertigen, die zuvor konventionell kaum herzustellen waren. Am DLR Stuttgart entstanden zahlreiche Prototypen innovativer Gas- und Festkörperlaser mit vielen Kilowatt Leistung, deren Funktionsprinzip sich heute tausendfach in Industrielasern wiederfindet. Es gab auch Experimente, ob Laserenergie ausreichen kann, um Minisatelliten ins All zu bringen. Heute entstehen am Standort Laser- und Optiksyste-me für die Bereiche Sicherheit und Verteidigung, zur Ferndetektion von Gefahrstoffen, zur Drohnenerkennung, für Fluginstrumentierungen und zur Orbitbeobachtung.

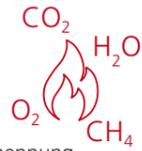
Wasserstoff für Strom und Mobilität

Nicht zuletzt getrieben durch die Ölkrise der 1970er stand bereits 1978 der erste PKW mit Wasserstoff-Motor auf dem Gelände des Standorts. Die Fachleute arbeiteten daran, wie sich der alternative Kraftstoff stabil speichern lässt. Es gab sogar eine eigene Wasserstoff-tankstelle auf dem DLR-Hof.

Festoxid-Brennstoffzelle im Labortest: Auf der Vorder- und der Rückseite des keramischen Elektrolyts (weiße Platte) befinden sich die Elektroden. Diese sind in Segmente (dunkle Quadrate) aufgeteilt, um die Leistung großflächiger Zellen zu optimieren.



1972
Gründung
Institut für
Reaktionskinetik



1976
Umbenennung
Institut für
Reaktionskinetik
in Institut für
Physikalische Chemie
der Verbrennung

1977
Gründung Institut für
Technische Physik (TP)
aus Institut für Energie-
wandlung und Elektrische
Antriebe und Institut für
Plasmadynamik

1984
Gründung
Institut für Technische
Thermodynamik (TT)



1998
Umbenennung
Institut für Physikalische
Chemie der Verbrennung
in Institut für
Verbrennungstechnik

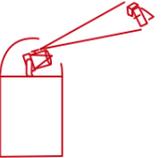
2002
Gründung
Institut für Fahrzeugkonzepte



2011
Gründung
Institut für Solarforschung

2017
Standorterweiterung
um Institutsgebäude
für TT und TP

2020
Baubeginn
DLR-Weltraumschrot-
teleskop Empfangen



Wie sich Wasserstoff großtechnisch gewinnen und zur Stromerzeugung nutzen lässt, demonstrierten die DLR-Forscherinnen und -Forscher 1985: In Stuttgart und Riad entstanden zwei fotovoltaische Elektrolyseanlagen mit mehreren hundert Kilowatt Leistung. Damit begann in Stuttgart die Brennstoffzellenforschung.

In den 1990ern gelangen Pionierarbeiten bei der Entwicklung von Membran-Brennstoffzellen mit mehreren Kilowatt elektrischer Leistung. Mit neuen Elektroden, die im Plasma-Spritzverfahren gefertigt wurden, ließen sich bis zu 20 Prozent höhere Wirkungsgrade erzielen. Dabei hatten die DLR-Fachleute stets auch deren Anwendungen im Blick: Von Energiewandlern zur Kraft-Wärme-Kopplung bis hin zu hocheffizienten Antrieben für Kraftfahrzeuge und Flugzeuge. Ein Meilenstein war 2009 der Erstflug der Antares DLR-H2, des weltweit ersten Passagierflugzeugs mit reinem Brennstoffzellenantrieb – eines Vorläufers der viersitzigen Hy4, die 2016 zum ersten Mal abhob.

Jahrtausendwende – Verkehrswende – Energiewende

2002 entstand am Standort ein neuer Forschungsschwerpunkt: innovative Fahrzeugkonzepte für Straße und Schiene für eine nachhaltige Mobilität mit erneuerbaren Energien. Darin entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein erstes Kleinfahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb. Es war der Ursprung der jüngsten Forschungsfahrzeuge: Innenstadt-Shuttle UMV Peoplemover (Urban Modular Vehicle) und ultraleichtes Pendlerfahrzeug SLRV (Safe Light Regional Vehicle). Mit dem U-Shift entwickelten die Forscherinnen und Forscher ein zukunftsweisendes Mobilitätskonzept: Fahrzeug und Aufbau lassen sich trennen. Das elektrisch angetriebene Driveboard kann autonom unterschiedliche Personen- oder Frachtaufbauten rund um die Uhr

transportieren. Das Projekt Next Generation Train hat währenddessen den Bahnverkehr von morgen im Blick: Sichere, leichte und robuste Züge mit hocheffizienten Elektro-, Batterie- oder Brennstoffzellenantrieben fahren mit Geschwindigkeiten, bei denen Flugzeuge abheben. Viele dieser DLR-Technologien begegnen uns bereits heute im Alltag, wie im ersten wasserstoffbetriebenen Personenzug Deutschlands.

Für eine sichere und regelbare Versorgung mit regenerativen Energien forscht das DLR Stuttgart interdisziplinär an industrietauglichen Schlüsseltechnologien für Wärmespeicher, Batterien, „grünen“ Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe. Beispiele sind die Testanlage für Wärmespeicherung in Salzschnmelzen (TESIS) und die Technologieplattform Dezentrale Energien (TPDE) auf Basis von Mikrogasturbinen. Mit ihnen wird untersucht, wie eine flächendeckende, nachhaltige Energieversorgung gelingen kann. Dazu zählen auch Forschungsflüge, um klimafreundliche Bio-Kraftstoffe zu erproben.

Angesichts des weltweit steigenden Energiebedarfs entwerfen die DLR-Forscherinnen und -Forscher Konzepte, wie sich Strom und Wärme möglichst effizient produzieren lassen. Hierbei kombinieren sie auch unterschiedliche Technologien, wie Hochtemperatur-Brennstoffzellen und Gasturbinen in Hybrid-Kraftwerken. Darüber hinaus wird an neuen Technologien und Materialien für Solarkraftwerke gearbeitet, damit Strom aus Solarthermie kostengünstiger hergestellt werden kann. Der in Stuttgart entwickelte Solarturm-Wärmeempfänger CentRec ist das zentrale Element einer Pilotanlage, die Prozesswärme für ein Unternehmen klimaneutral erzeugt.

Die Hy4 ist das weltweit erste viersitzige Passagierflugzeug mit reinem Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb. In Stuttgart wurde der emissionsfreie Antriebsstrang entwickelt und integriert.



Auch 2021 geht es hoch hinaus

Im Projekt IRAS (Integrated Digital Research Platform for Affordable Satellites) entstehen innovative Technologien für den Satellitenbau. Mit additiven Druckverfahren, grünen Antriebstechnologien, neuartigen Bauformen, Elektronikschaltungen sowie Produktionsverfahren lassen sich Satelliten künftig nachhaltiger und kostengünstiger herstellen.

Und schließlich darf in Stuttgart natürlich die Kehrwoche nicht fehlen: Mit Lasern und optischen Teleskopen gehen die Forscherinnen und Forscher auf die Suche nach Trümmern im All und entwickeln Konzepte, wie sich dieser beseitigen lässt. Bis auf wenige Meter genau können sie die Position von Weltraumschrott bestimmen. Dies ermöglicht es aktiven Satelliten, effiziente Ausweichmanöver durchzuführen und Kollisionen mit Schrottteilen zu vermeiden.

Heute forschen am DLR-Standort Stuttgart rund 750 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in sechs Instituten. Auch die Auszubildenden sind von Anfang an aktiv in den Forschungsbetrieb eingebunden – in der Systemelektronik, der Feinmechanik, im Büromanagement oder in dualen Studiengängen für Maschinenbau, Elektro- oder Informationstechnik. Und sie gehören zu den Besten ihres Fachs: Regelmäßig erzielen sie Spitzenplätze und Preise bei Landes- und Bundeswettbewerben – voller Energie eben.

Dr. Jens Mende ist am DLR-Standort Stuttgart für die Kommunikation verantwortlich.

INSTITUTE UND EINRICHTUNGEN AM DLR STUTT GART

- Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
- Institut für Fahrzeugkonzepte
- Institut für Solarforschung
- Institut für Technische Physik
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Verbrennungstechnik
- Systemhaus Technik
- Technologiemarketing



Und immer wieder rollen die Bagger – 1967 kamen die Gebäude für das Institut für Plasmadynamik und die Zentralwerkstatt hinzu.

Der DLR-Standort Stuttgart heute



Auf dem klimatisierten Allrad-Rollenprüfstand testen die DLR-Ingenieurinnen und -Ingenieure Autos mit Verbrennungsmotor, Elektro- und sogar mit Wasserstoffantrieb in genormten Fahrzyklen auf „Herz und Nieren“ – mit bis zu 200 Stundenkilometern.

TESTS AUF HERZ UND NIEREN

Die erste Oberstufe der europäischen Trägerrakete Ariane 6 durchläuft im DLR Lampoldshausen aktuell Betankungs- und Heißlauftests für ihren Einsatz im All. Die Oberstufe erreichte den Standort im Februar. Sie ist 11,6 Meter hoch, hat einen Durchmesser von 5,4 Metern und wurde im Bremer Werk der ArianeGroup gefertigt. Das neu entwickelte kryogene „Vinci“-Triebwerk der Ariane liefert mit seiner Treibstoffkombination aus flüssigem Sauerstoff und flüssigem Wasserstoff den notwendigen Schub, um die Nutzlast an Bord der Rakete genau an der gewünschten Position im Orbit auszusetzen. Die Brenndauer beträgt mehr als 14 Minuten und Vinci kann bis zu viermal gezündet werden. Dadurch können mehrere Nutzlasten in verschiedenen Orbits ausgesetzt werden. Auch die beiden nächsten Ariane-6-Oberstufen stehen kurz vor der Fertigstellung: das sogenannte Combined Test Model (CTM), das im zweiten Halbjahr 2021 für gemeinsame Tests mit der Hauptstufe am europäischen Weltraumbahnhof in Kourou eingesetzt werden soll, sowie das sogenannte Flight Model 1 (FM-1) für den Erstflug der Ariane 6, voraussichtlich im ersten Halbjahr 2022.



Bild: DLR

Die Oberstufe der Trägerrakete Ariane 6 wird am DLR-Standort Lampoldshausen in den neuen Teststand P5.2 integriert.

20 JAHRE PLASMAFORSCHUNG AUF DER ISS

Die Plasmakristall-Experimente gehören zu den ersten und erfolgreichsten Forschungsprojekten auf der Internationalen Raumstation ISS. Am 3. März 2001 starteten die ersten Langzeitversuche unter Schwerelosigkeit: Auch heute noch – wie damals – gewähren sie Einblicke in physikalische Prozesse auf atomarer Ebene. Erst im März 2021 liefen noch Experimente im Plasmakristall-Labor PK-4 auf der ISS. Plasma ist ionisiertes Gas und wird vielfältig technisch genutzt, zum Beispiel in Leuchtstoffröhren oder Plasmafernsehern. Auf der Erde ist Plasma sehr selten. Im Weltraum hingegen befinden sich 99 Prozent der sichtbaren Materie im Plasmazustand. Hauptziel der Plasmaforschung ist, Grundlagenwissen zu erlangen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen lassen sich verschiedene Anwendungen ableiten, insbesondere in den Bereichen Medizin, Umweltschutz, Raumfahrt sowie bei Halbleiter- und Mikrochip-technologien.



Der Kleinsatellit PIXL-1 trägt das Laserterminal OSIRIS4CubeSat. Dessen System besteht aus einer hochkompakten Kombination aus Elektronik und Optomechanik.

VOM PIONIER ZUM WEGBEGLEITER

Vor 60 Jahren flog Juri Gagarin als erster Mensch in den Weltraum

von Reinhold Ewald

In den 1990er Jahren öffnete sich das Sternenstädtchen – die sagenumwobene geheimnisvolle Ausbildungsstätte der sowjetischen Kosmonauten – zum ersten Mal auch westlichen Raumfahrtaspiranten. Und unübersehbar stand er da, das Sternenstädtchen überblickend, in stahlgrauer Bronze und sommers wie winters mit Blumen zu Füßen: Juri Gagarin, der Held des allerersten Raumfluges.

Durch alle politischen Umbrüche und ökonomischen Schwierigkeiten der vergangenen Jahrzehnte zehren die Menschen, die heute die russische Raumfahrt weiterbetreiben, noch immer von dieser Pioniertat und dem Vorbild Gagarins: „Er wies uns den Weg ins All!“, dies ist auf seinem Denkmal zu lesen. Dabei ist es unerheblich, ob sich – wie auch 1978 beim Flug Sigmund Jähns – die politische Propaganda der Sache bemächtigt. Die Raumfahrer verkörpern die positive und humanistische Botschaft einer Weltgemeinschaft. Ihre globale Sicht aus dem Erdboden auf unsere Welt und der Stolz auf die Technik, die uns Menschen diese Flüge ins All ermöglicht, prägte Pioniere wie Gagarin und Jähn genauso wie ihre heutigen Nachfolgerinnen und Nachfolger. Diese Botschaft führt Astro-, Kosmo- und Taikonautinnen und -nauten regelmäßig in der von Jähn 1985 mitbegründeten Association of Space Explorers zusammen.

Ich habe nicht gezählt, wie viele Referenzen an diesen ersten Flug uns bei den Mir-Missionen in den 1990er Jahren auf dem Weg bis zur Startrampe (Gagarins Startrampe natürlich) begleitet haben: vom Besuch in seinem („unangetasteten“) Büro und an seinem Grab in der Kremelmauer über den Ausflug in seine nach ihm umbenannte Heimatstadt Gagarin mit dem einfachen Holzhaus der Familie, von den Zeremonien im Quarantänequartier in Baikonur bis hin zum allerletzten, dem obligatorischen Stopp auf dem Weg zur Startrampe (Anmerkung der Redaktion: Gagarin musste auf dem Weg zur Startrampe austreten. Dies wurde zur Tradition der folgenden Generationen von Raumfahrern). Alles das ordnet meinen, den nächsten, und die heute anstehenden Starts in eine erfolgreiche Linie von Flügen ein, die auch durch tragische Fehlschläge und Niederlagen (wie die Explosion der russischen Mondrakete) nichts an Stolz eingebüßt hat.

Wir können uns glücklich schätzen, dass dieser Stolz auch schwierige Zeiten überdauert hat und wir mit der Internationalen Raumstation ISS die perfekte Verbindung der Entwicklung in Ost und West heute nutzen können. So begrüßenswert die Inbetriebnahme der neuen, US-amerikanischen Raumfahrzeuge auch ist, die gemeinsam verbrachte Trainingszeit in den USA, Deutschland, Japan und Moskau hat immer auch eine Vertrautheit geschaffen. Sie verhalf jetzt schon über 60 Expeditionsmannschaften zu erfolgreicher Zusammenarbeit und ist darüber hinaus die Grundlage für das nächste Gemeinschaftsprojekt – eine Station in der Mondumgebung.

Es wäre schade, wenn diese geschichtsträchtige Einfahrt in das von Juri Gagarin wohlwollend überschaut Sternenstädtchen eines Tages nicht mehr zum allgemeinen Trainingsprogramm gehören sollte. Denn was die Raumfahrtenthusiasten in aller Welt antreibt und begeistert, ist dieser seit dem 12. April 1961 anhaltende Aufbruch, der mit der Person Gagarins seinen Anfang nahm. Er wies uns den Weg ins All.



Reinhold Ewald ist Astronaut und Professor am Institut für Raumfahrtssysteme der Universität Stuttgart, wo er das Fachgebiet Astronautik und Raumstationen vertritt. Darüber hinaus ist er im Executive Committee der weltweiten Vereinigung der Raumfahrer, der Association of Space Explorers (ASE).

Bild: ESA – Manuel Pedoussaut, 2016

Bilder: ROSCOSMOS und ROSCOSMOS/ESA



Der Kosmonaut Sergey Krikalev 2001 beim Aufbau des ersten Plasmakristall-Labors „PKE-Nefedov“ auf der ISS; rechts die Kosmonautin Elena Serova 2014 bei der Installation des aktuellen Plasmakristall-Labors PK-4.

KLEINSTES LASERTERMINAL DER WELT IM ORBIT

Seit Ende Januar dreht der Kleinsatellit PIXL-1 seine Runden um die Erde. An Bord ist mit OSIRIS4CubeSat das kleinste Laserterminal der Welt. Es kann Daten bis zu hundertmal schneller übertragen als über herkömmliche Funkverbindungen und wurde gemeinsam vom DLR und dem deutschen Telekommunikationsunternehmen TESAT entwickelt. Eine solche „drahtlose Glasfaserverbindung“ via Laser ermöglicht einen viel effizienteren Datentransport über Satelliten als die Funktechnologie. Außerdem eröffnet sie vielfältige Anwendungen in der Kommunikation wie auch neue Optionen für die Satellitennavigation und Quantenkryptografie. Die Mission soll zeigen, dass die optische Kommunikation vom Weltraum zum Boden selbst auf kleinsten Satelliten realisierbar ist. Für den Betrieb des Satelliten ist das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum in Oberpfaffenhofen verantwortlich.

WENN AUS MINUTEN JAHRE WERDEN

106 Minuten, so lange dauerte der Flug Juri Gagarins am 12. April 1961 ins All – er war eine Sensation. 1963 startete mit Walentina Tereschkowa die erste Frau ins All. Heute befinden sich ständig Astronautinnen und Astronauten auf der Internationalen Raumstation ISS und das seit etwa 7.500 Tagen. Einer von ihnen war der Italiener Luca Parmitano, der hier bei seinem Weltraumspaziergang im November 2019 zu sehen ist. Es war das erste Mal, dass ein europäischer Astronaut die führende Rolle bei einem solchen Manöver übernahm.

Die ISS ist das größte Technologieprojekt aller Zeiten: ein „Außenposten“ der Menschheit im All, zugleich ein fliegendes Labor mit exzellenten Möglichkeiten für Wissenschaft und industrielle Forschung. Die ISS beweist, dass eine friedliche internationale Nutzung des Weltraums zum Vorteil aller Partner möglich und sinnvoll ist. Kooperation statt Konkurrenz, das wird auch bei den weiteren Projekten der Menschheit im All grundlegend sein für jeglichen Erfolg, sei es bei der Rückkehr zum Mond, dem Lunar Gateway oder vielleicht sogar auf dem Weg zum Mars.

VIRTUELL FEINFÜHLEN



Das VITA-System wird gemeinsam vom DLR, der Pohlig GmbH, dem Klinikum Uni München sowie den Fachkliniken Osterhofen und Fondazione Santa Lucia Rom entwickelt und getestet.

Konzipiert wurde das VITA-System von Dr. Claudio Castellini, Markus Nowak und Dr. Christian Nissler am DLR-Institut für Robotik und Mechatronik. Es besteht aus einem Sensorband, das die Muskelaktivität misst und am Arm oder Bein getragen werden kann, einer VR-Brille sowie einem Sensor, der die Arm- oder Beinposition bestimmt. Herzstück des Ganzen aber ist die Software zur Erkennung gewünschter Bewegungen der Extremität anhand von Muskelbewegungen. Diese wurde im DLR entwickelt.

Schneiden und greifen lernen

Wie sieht das in der Praxis aus? Beim Training mit dem VITA-System werden Muskelspannungen gemessen und mittels maschinellen Lernens verarbeitet, in Bewegungen umgewandelt und über die VR-Brille sichtbar gemacht. Patientinnen und Patienten erkunden selbstständig ein virtuelles Haus am See und führen dort Aufgaben aus – beispielsweise kann in der Küche unterschiedliches Obst oder Gemüse geschnitten werden. Hierbei kommt es darauf an, einen stabilen und sicheren Griff zu üben, aber es geht auch um Feinfühligkeit: Beim Kochen von Tomatensuppe ist es wichtig, die Tomaten nicht zu fest zu greifen, um sie in den Topf zu befördern, da sie sonst zerplatzen. Auch im Außenbereich des Hauses warten vielfältige Aufgaben.

Motivation ist ein Schlüsselwort für die Rehabilitation. Studien haben gezeigt, dass nur eine regelmäßig wiederholte Therapie Phantomschmerzen langfristig bekämpfen kann. Das DLR-Team kreierte die virtuelle Welt entsprechend gemeinsam mit einem Designstudio, um der realen Welt möglichst nahezukommen. Das Training bekommt einen spielerischen Charakter, wird nicht eintönig – und es motiviert, weiter zu üben. VITA ist nicht nur für Amputationspatientinnen und -patienten geeignet, sondern kann auch nach Schlaganfällen eingesetzt werden. Dabei wird die beeinträchtigte Seite gezielt wieder mobilisiert: Objekte werden beidseitig gegriffen und losgelassen, wobei anfangs die beeinträchtigte Seite virtuell von der nicht beeinträchtigten Seite unterstützt wird. Im Laufe der Therapie wird diese Unterstützung immer weiter verringert, sodass die beeinträchtigte Seite zunehmend mobilisiert wird. Auch hier gilt: Nur permanentes Training hilft, die Bewegungsfähigkeit zurückzuerlangen.

Zu Hause trainieren

Ein weiterer Vorteil des VITA-Systems ist, dass Therapeutinnen und Therapeuten, Pflegekräfte, aber auch Patientinnen und Patienten das System nach einer kurzen Einweisung selbst einsetzen können. Ein Ziel des DLR-Teams ist, dass VITA in Zukunft nicht nur in einem Therapie- oder Rehaszentrum genutzt werden kann, sondern langfristig gesehen auch zu Hause. Die Therapeutinnen und Therapeuten würden sich dann virtuell hinzuschalten und könnten so bei der Behandlung weiter intensiv unterstützen.

Damit das System bald zum Einsatz kommt, arbeitet das DLR-Team derzeit gezielt mit den Anwenderinnen und Anwendern. Aktuell läuft eine klinische Studie in verschiedenen Reha- und Therapiezentren, die Ende 2021 abgeschlossen sein wird. Erste Ergebnisse aus den Tests liegen schon vor und bieten die vielversprechende Perspektive, dass durch VITA eine Innovation in den therapeutischen Alltag einziehen könnte.

Verena Müller ist Koordinatorin im Technologiemarketing des DLR.



Bild: Roberta Borgogno

DREI FRAGEN AN DEN VITA-PROJEKTLEITER DR. CLAUDIO CASTELLINI

Sie forschen an den Schnittstellen von Mensch und Maschine. Was bedeutet das genau?

: In meiner Gruppe Adaptive Bio-Interfaces konzipieren, bauen und testen wir intelligente Mensch-Maschine-Schnittstellen für Menschen mit Behinderung. Im Moment ist VITA unser Vorzeigeprojekt, eine spektakuläre Anwendung der Technologien, die wir in den letzten Jahren entwickelt haben. Diese wenden wir auch bei Prothesen, Reha-Exoskeletten, Teleoperationen und vielem mehr an. Dabei bringen wir unterschiedliche Kompetenzen zusammen, von Materialwissenschaften und Signalverarbeitung über Mechatronik bis hin zur Physiologie und Psychologie – all das wird durch den Menschen verbunden, der immer im Mittelpunkt unserer Forschung steht.

Was zeichnet das VITA-System aus?

: Unser System übertrifft die momentane Standardtherapie deutlich bei der Echtheit. Wir erzeugen einen Grad der Immersion, also ein Eintauchen in die VR-Welt, durch den das Gefühl erreicht wird, dass die Gliedmaßen funktional wiederhergestellt sind. Das ist so mit keiner anderen Methode möglich. Das bestätigen uns sowohl Patientinnen und Patienten als auch Therapeutinnen und Therapeuten. Das System ist einfach zu benutzen und ermöglicht daher einen schnellen Einsatz im Reha-Alltag.

Aktuell sind Sie in der Validierungsphase des Systems, was ist damit gemeint?

: Um das Produkt später in den Markt einzuführen, ist der Nachweis des medizinischen und therapeutischen Nutzens sehr wichtig. Dazu führen wir aktuell eine große klinische Studie durch. Unterstützt werden wir hierbei von Projektpartnern aus dem Reha- und Pflegebereich, aus der Prothetik und Orthopädiertechnik sowie von Schlaganfallkliniken und Schlaganfall-Rehas. Durch sie erhalten wir direkten Kontakt sowohl zu den Anwenderinnen und Anwendern als auch zu Kunden: etwa Gesundheitsdienstleister als Betreiber. Finanzielle und Vermarktungs-Unterstützung bekommen wir aus dem Helmholtz-Validierungsfonds und durch das DLR-Technologiemarketing.

Ein innovatives Therapie- und Trainingssystem

von Verena Müller

Menschen mit Beeinträchtigung der Extremitäten, vor allem mit Amputation, leiden häufig unter einer speziellen Schmerzart. Sogenannte Phantomschmerzen gehen von Körperteilen aus, die nicht mehr vorhanden sind. Sie sind eine Reaktion des Gehirns auf sich widersprechende Nervensignale. Zur Behandlung dient die Spiegeltherapie, bei der die gesunde Gliedmaße auf die nicht mehr vorhandene gespiegelt wird. Die Patientinnen und Patienten stellen sich vor, mit beiden Seiten die gleiche Bewegung durchzuführen. Das VITA-System (Virtual Therapy Arm) des DLR erweitert die konventionelle Therapie um die virtuelle Realität: Menschen, die eine Gliedmaße verloren haben oder einen Schlaganfall hatten, tauchen in eine virtuelle Umgebung ein und erleben ihre Gliedmaße wieder als voll funktionsfähig. Ein Ansatz, der herkömmliche Therapie- und Trainingssysteme revolutionieren könnte.

ES GEHT UM DIE ZUKUNFT



Für die Wissenschaft wird es immer wichtiger, zusammenzuarbeiten

von Stefanie Huland

Die Menschheit lebt über ihre Verhältnisse. Glaubt man den Berechnungen des Global Footprint Network, überstieg im vergangenen Jahr der menschliche Bedarf an nachwachsenden Rohstoffen am 22. August das jährliche Angebot und die Kapazität der Erde zur Reproduktion dieser Ressourcen. Aufgrund der Coronapandemie lag der „Earth Overshoot Day“ 2020 überraschend weit hinten, in den zwei Vorjahren war er schon im Juli erreicht. Wer sich den komplexen gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit stellen will, darf sich nicht nur auf eine Wissenschaftsdisziplin verlassen, sagt Claudia Müller, wissenschaftliche Referentin im DLR Projektträger (DLR-PT). Eine Lösung liegt ihrer Meinung nach im inter- und transdisziplinären Ansatz der Sozial-ökologischen Forschung.



Bild: Oliver Frör

Ein Projekt untersuchte die Versalzung eines Flusssystem in Marokko. Das Bild zeigt eine Brücke über den Fluss Draa in Marokko.

Haben Sie ein konkretes Beispiel für diese Art des Forschens?

■ Eine der geförderten Gruppen beschäftigt sich etwa mit der Versalzung eines Flusssystem in Marokko. Die Umweltwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler entnehmen Wasserproben und untersuchen die Entwicklung der Wasserqualität. Eine Promotion hat die sozio-ökonomischen Bedingungen der Landbevölkerung im Blick, die an diesem Fluss lebt und dort Pflanzen anbaut. Eine naturwissenschaftliche Arbeit wiederum schaut, wie sich das Wasser aus dem Fluss auf die Anbauqualität und die Biodiversität auswirkt. Eine politische Promotion beschäftigt sich mit der ursächlich politischen Entscheidung, die die Versalzung zur Folge hatte: dem Bau eines Staudamms, der Konsequenzen für die Höhe des Wasserspiegels hat. Das Ganze wird durch den Klimawandel verschärft. Gemeinsam fügt die Gruppe die Ergebnisse zu einem Gesamtbild zusammen und entwickelt Empfehlungen für die Praxis. Das Beispiel zeigt, wie wichtig ein übergreifender Ansatz für die Forschung ist. Wenn ich mir nur die Wasserqualität anschau, dann weiß ich etwas über die Wasserqualität, aber nicht: Was macht das mit den Landwirten und ihren Ernten? Was kann die Politik zur Verbesserung der Lebensbedingungen beitragen? Man muss die verschiedenen Aspekte berücksichtigen, um Zielkonflikte zu vermeiden und zu Lösungen zu kommen.

Stefanie Huland arbeitet in der Unternehmenskommunikation des DLR Projektträgers.

Die Sozial-ökologische Forschung untersucht von möglichst vielen wissenschaftlichen Standpunkten aus, wie auch in Zukunft eine gute Lebensqualität sichergestellt werden kann. Warum ist dieser Ansatz so vielversprechend?

■ Energie, Verkehr, Landwirtschaft, Ernährung – die Menschheit steht in quasi allen gesellschaftlichen Bereichen vor großen Veränderungen. Die Sozial-ökologische Forschung ist ein spezieller Ansatz, der sich mit diesen Herausforderungen der Nachhaltigkeit beschäftigt und dabei inter- und transdisziplinär angelegt ist. Das klingt erst einmal akademisch, meint aber schlicht, dass sich hier verschiedene Wissenschaftsdisziplinen mit den bereits genannten großen Umbrüchen, die uns als Gesellschaft bevorstehen, befassen. Das allein bedeutet für den regulären Wissenschaftsbetrieb schon ein Umdenken. Hinzu kommt aber auch noch, dass Akteure aus der Praxis von Anfang an in die Konzeption der Forschung mit einbezogen werden. Dazu zählen etwa Vertreterinnen und Vertreter der Politik, der Wirtschaft, aber auch der Zivilgesellschaft. Durch diese sogenannte Transdisziplinarität stellen wir sicher, dass die Forschung praxisrelevant ist und anwendbare Lösungen produziert.

„Die großen Nachhaltigkeitsprobleme können niemals von einer wissenschaftlichen Disziplin allein gelöst werden.“

Vor 20 Jahren initiierte das BMBF den Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung, seit rund 15 Jahren kümmert sich der DLR Projektträger um die Umsetzung der Maßnahmen. Welche Rolle spielt der Nachwuchs dabei?

■ Die großen Nachhaltigkeitsprobleme können niemals von einer wissenschaftlichen Disziplin allein gelöst werden. Wir brauchen also Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, die inter- und transdisziplinär forschen können. Diese fördern wir in Nachwuchsgruppen. 20 Jahre mögen nach einem langen Zeitraum klingen, doch bedenkt man, wie viele Jahrhunderte es die einzelnen Disziplinen schon gibt, ist es eine kurze Spanne. Wer ein Projekt oder eine Aufgabenstellung von unterschiedlichen wissenschaftlichen Blickwinkeln aus beleuchten will, muss erst einmal akzeptieren, dass jede Wissenschaft ihre eigenen Methoden und auch ihre eigene Sprache mitbringt. In einem regelmäßigen Coaching lernen die Nachwuchsforscherinnen und -forscher deswegen auch diese Herangehensweise und Übersetzungsleistung. Noch viel schwieriger wird es, wenn man transdisziplinär arbeiten will: In der Wissenschaft bedarf es einer langwierigen Validierung, bis es zu einem fundierten Ergebnis kommt. Gerade der wissenschaftliche Nachwuchs muss sich besonders anstrengen, um sich im Wissenschaftssystem zu profilieren. Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft aber brauchen in der Regel schnell Lösungen, mit denen sie arbeiten können. Diese unterschiedlichen Interessen unter einen Hut zu bringen, muss man lernen. Auch darin unterstützen wir die Promovierenden und Postdocs, zum Beispiel mit der Einrichtung von Juniorprofessuren.



Bild: DLR

Claudia Müller ist beim DLR Projektträger seit 2011 unter anderem verantwortlich für die Fördermaßnahme Nachwuchsgruppen in der Sozial-ökologischen Forschung.

SOZIAL-ÖKOLOGISCHE FORSCHUNG

Die **Sozial-ökologische Forschung** ist ein Förderschwerpunkt in der Strategie Forschung für Nachhaltigkeit (FONA-Strategie) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Seit dem Jahr 2007 ist der DLR Projektträger (DLR-PT) mit an Bord. Er berät und unterstützt das Ministerium von der Konzeption der einzelnen Fördermaßnahmen bis hin zur Evaluation der Ergebnisse. Zu den zentralen Aufgaben des DLR-PT gehören dabei auch die Organisation der Begutachtung, die Bewilligung der einzelnen Projekte sowie die Betreuung der Zuwendungsempfänger und deren Vernetzung untereinander. Die Förderung der Nachwuchsgruppen hat neben den Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft speziell die akademische Weiterqualifikation der Beteiligten sowie die Öffnung des Wissenschaftssystems für diesen neuen Forschungsansatz zum Ziel.

DAS ERBE DES ENTDECKERS

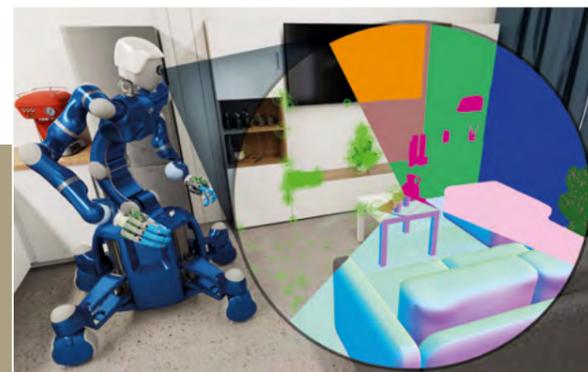
Bild: Universitätsarchiv Heidelberg



Vor 200 Jahren wurde Hermann von Helmholtz geboren – noch heute haben seine Ideen Einfluss auf die Forschung von Jessika Wichner

Mathematik, Physik, Chemie, Medizin, Psychologie, Musik und Philosophie – Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz war einer der letzten großen Universalgelehrten. Auf ihn geht nicht nur eine Reihe grundlegender Erkenntnisse zurück, sondern auch diverse medizinische Geräte fußen auf seinem Ideenreichtum. Die heutige Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, der auch das DLR angehört, ist, wie ihr Namensgeber, auf verschiedensten Forschungsgebieten unterwegs.

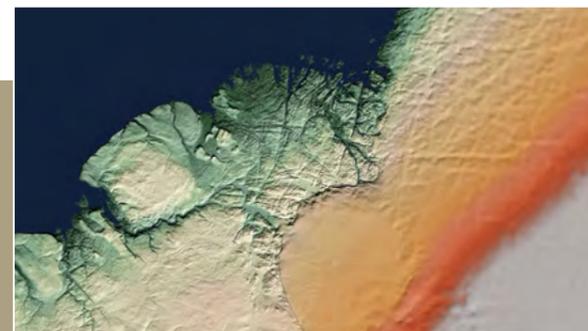
Hermann von Helmholtz wurde 1821 in Potsdam geboren und 1842 in Berlin zum Doktor der Medizin promoviert. Er erhielt 1848 einen Lehrstuhl für Physiologie in Berlin und folgte ein Jahr später einem Ruf nach Königsberg. Ab 1855 lehrte er an der Universität Bonn und hatte später den ersten Lehrstuhl für Physiologie an der Universität Heidelberg inne. 1870 wurde ihm der Lehrstuhl für Physik in Berlin angeboten, da er bereits auf diesem Gebiet gearbeitet hatte. 1883 wurde Helmholtz in den Adelsstand erhoben. Er war Mitglied verschiedener Akademien, darunter die Royal Society of Edinburgh und die Bayerische Akademie der Wissenschaften. Sein Ansatz, verschiedene Disziplinen miteinander zu verbinden, aber auch Theorie, Experiment und praktische Anwendung zu verknüpfen, machten Hermann von Helmholtz zu einem Wegbereiter der modernen Naturwissenschaften. Viele seiner Konzepte und Ideen erlangten später Bedeutung. Im DLR nutzen und nutzen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler seine Erkenntnisse, Ideen und Entwicklungen in den verschiedensten Bereichen.



Der Roboter Rollin'Justin des DLR nimmt seine Umgebung mit Kameras wahr. Um seine Aufgaben zu erfüllen, wertet er die Kamerainformationen mit verschiedenen Methoden der Informatik und künstlichen Intelligenz aus.

Sensoraugen erkunden die Welt

Hermann von Helmholtz beschäftigte sich intensiv mit dem räumlichen Sehen und der Raumwahrnehmung. Das DLR nutzt seine Erkenntnisse beispielsweise in der Robotik und der Raumfahrt. Der vom Institut für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen entwickelte Roboter Justin ist mit vielen verschiedenen Kameras ausgestattet, die es ihm ermöglichen, koordinierte Bewegungen im Raum auszuführen. Im All sind Stereokameras von großer Bedeutung. Die Sonde Mars Express der Europäischen Weltraumorganisation ESA umkreist seit 18 Jahren unseren Nachbarplaneten. Dabei liefert die vom DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin entwickelte High Resolution Stereo Camera (HRSC) an Bord beeindruckende Bilder vom Mars. Aus ihnen werden hochaufgelöste digitale Geländemodelle für die topografische Kartierung und zur Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen berechnet.



TanDEM-X-Aufnahme des Hiawatha-Gletschers in Grönland

Die Geheimnisse der Gletscher

Ein besonderes Interesse hatte Helmholtz an der Meteorologie. So führte er mathematische Studien zu Wirbelstürmen, Gewittern, Luft- und Wasserwellen durch und untersuchte intensiv die Ursachen von Gletscherbewegungen. Auch das DLR forscht heute an meteorologischen Fragestellungen und nutzt dazu unter anderem speziell ausgestattete Forschungsflugzeuge wie das Atmosphären- und Erdbeobachtungsflugzeug HALO. Darüber hinaus betreibt das DLR eine Reihe von Erdbeobachtungssatelliten wie die beiden Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X. Durch die Entwicklung eines neuen Analyseverfahrens für Satellitendaten von TanDEM-X trug das DLR 2019 dazu bei, dass die Entwicklung von Gletschern heute besser vorausgesagt werden kann.



Bild: DLR

In einer Betruhestudie untersucht das DLR, wie Schwerelosigkeit den Körper verändert.

Forschen für die Schwerelosigkeit

Besonders bekannt sind die medizinischen Geräte aus dem Bereich der Optik, die Hermann von Helmholtz entwickelte. Ein prominentes Beispiel ist der Augenspiegel, mit dem die Netzhaut sichtbar gemacht werden kann. Zudem konstruierte er mit dem sogenannten Ophthalmometer ein Gerät, das die Krümmung der Hornhaut bestimmt. Den Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf die Sehschärfe geht heute das Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln auf den Grund. Im medizinischen Forschungsgebäude des Instituts, dem :envihab, testet das DLR in diesem Jahr im Auftrag der NASA verschiedene Maßnahmen, um diesen negativen Effekt zu vermindern. Die Probandinnen und Probanden liegen hierbei 30 Tage mit einer Neigung des Kopfes um sechs Grad nach unten und müssen unterschiedlichste Tests absolvieren.



Windkanäle wie der LLF Large Low-Speed Facility (Niederlande) sind nur unter Beachtung des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik möglich.

Energieerhaltung im Windkanal

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik formuliert, dass die Energie in einem geschlossenen System stets erhalten bleibt. Er wurde erstmals 1842 von J.R. Mayer und 1847 von Hermann von Helmholtz angegeben. Demnach kann Energie weder erzeugt noch vernichtet, sondern nur in unterschiedliche Formen umgewandelt werden. Der Grundsatz ist wichtig für die Konstruktion von Windkanälen. Ludwig Prandtl, der Gründungsvater des DLR-Vorläufers AVA (Aerodynamische Versuchsanstalt), entwickelte den Windkanal Göttinger Bauart, der sich durch einen geschlossenen Strömungskreislauf auszeichnet. Zuvor waren Windkanäle offene Systeme, bei denen die Luft nach dem Passieren der Messstrecke ins Freie geblasen wurde und so ein Großteil der Antriebsenergie in Wärme umgewandelt wurde und verloren ging. Im geschlossenen Strömungskreislauf bleibt sie erhalten, sodass der Antriebsmotor nur die unvermeidlichen Reibungsverluste ersetzen muss. Erst durch diese Erfindung lassen sich große Windkanäle überhaupt technisch realisieren. Sie sind unverzichtbare Instrumente, um Flugzeuge, Autos, Weltraumraketen oder Züge zu untersuchen. Das DLR und seine Tochter DNW (Deutsch-Niederländische-Windkanäle) betreiben zusammen eine große Zahl unterschiedlichster Windkanäle für Forschungszwecke.

Jessika Wichner leitet das Zentrale Archiv des DLR in Göttingen.

GEDÄCHTNIS DER RAUMFAHRT

Das Hermann-Oberth-Raumfahrt-Museum in Feucht

von Ulrich Köhler

Bilder: HORM



Hermann Oberth gilt als einer der bedeutendsten Väter der Raumfahrt. Im fränkischen Städtchen Feucht bei Nürnberg, an seinem Alterswohnsitz, werden die von seinem Lebenswerk ausgehenden Entwicklungen lebendig und anschaulich. Hier sind die revolutionären Anstöße des Siebenbürger Raketenpioniers, die den Menschen bis auf den Mond gebracht haben, archiviert und die Fortschritte dieser Technik im Spannungsfeld einer politisch extremen Zeit aufgezeigt. Das Hermann-Oberth-Raumfahrt-Museum ist ein museales Kleinod, in dem Unikate der Raketenentwicklung ausgestellt werden. Und es nennt einen raumfahrtshistorischen Schatz sein Eigen.

„Beim heutigen Stande der Wissenschaften und der Technik ist der Bau von Maschinen möglich, die höher steigen können, als die Erdatmosphäre reicht.“ So lautet die erste von vier Thesen, mit denen Hermann Oberth 1922 in einer Doktorarbeit wissenschaftlich beweisen wollte, dass eine „Rakete zu den Planetenräumen“ – so der Titel der Dissertation – kein Hirngespinnst sei. Wortgleich steht dies auch an einem Deckenbalken im Hermann-Oberth-Raumfahrt-Museum, gefolgt von drei weiteren Thesen. Die vier Oberth'schen Grundsätze sind leicht zu übersehen, denn die wenigen und inzwischen viel zu kleinen Räume sind vollgestellt mit so vielen Modellen und Originalbauteilen, unterbrochen von Vitrinen mit Dutzenden wichtiger Dokumente aus der Pionierzeit der Raumfahrt, vor allem den Jahren 1920 bis 1940, dass man leicht den Überblick verliert.

Der Zeit um Jahre voraus

Als Oberth sein Manuskript 1922 an der Universität Heidelberg zwei Professoren vorlegte, war er mit der „Rakete“ seiner Zeit so weit voraus, dass diese damit nichts anzufangen vermochten. Er reichte die Arbeit deshalb gar nicht erst ein und verlegte 1923 sein Werk privat als Buch, das sogleich viel Beachtung fand. Er exmatrikulierte sich und schloss sein Studium in Klausenburg ab, um seine junge Familie ernähren zu können. 1929 folgte das viel umfassendere zweite Buch, die „Wege zur Raumschiffahrt“, das auf Jahrzehnte als „Bibel“ der Astronautik hochgehalten wurde.



Willard M. Taub zeichnete für die NASA, wie Menschen zum Mond fliegen könnten. Die Skizzen sind mit die wertvollsten Ausstellungsstücke des Museums.



Hermann Oberth (Mitte) zusammen mit seiner Tochter Erna Roth-Oberth und Edwin „Buzz“ Aldrin, dem zweiten Mann auf dem Mond, 1986 in Feucht.

Am Ende dieser Entwicklung standen vor 60 Jahren der erste Raumflug mit Juri Gagarin und 1969 der berühmte „giant leap“ Neil Armstrongs in den grauen Puder des Mondbodens. Ohne Oberth, das ließ Wernher von Braun, Schüler des Raketenpioniers und Mastermind der Mondrakete Saturn V, immer durchblicken: ohne Oberth keine Mondlandung. Denn, so die zweite und dritte These: „Bei weiterer Vervollkommnung vermögen diese Maschinen derartige Geschwindigkeiten zu erreichen, daß sie – im Ätheraum sich selbst überlassen – nicht auf die Erdoberfläche zurückfallen müssen und sogar imstande sind, den Anziehungsbereich der Erde zu verlassen“, und: „Derartige Maschinen können so gebaut werden, daß Menschen (wahrscheinlich ohne gesundheitlichen Nachteil) mit emporfahren können.“

Diese bahnbrechenden Entwicklungen lassen sich im Museum nachvollziehen. Es soll in den nächsten Jahren auch mit Fördermitteln des Freistaats Bayern auf dem Oberth'schen Anwesen am Pfinzingschloss einen Neubau mitsamt großzügigen unterirdischen Archivräumen erhalten. Planungsskizzen zeigen ein modernes, geräumiges Museum mit klarem didaktischem Konzept. Schon jetzt gibt es keinen anderen musealen Ort, der sich kohärent und kompetent den damaligen Versuchen widmet, ins All vorzudringen – weder in Deutschland noch in Europa. Neben den Exponaten, vielen Drucksachen im Design der Zeit vor 100 Jahren, ist vor allem die Funktion des Museums als Archiv dieser Pionierzeit vorbildlich: In Feucht befindet sich das Gedächtnis der deutschen Raketentechnik. Sie war damals Weltspitze. Nicht zuletzt deshalb ist das Museum sogar Mitglied der Internationalen Astronautischen Föderation.

Dresden, Wien, Peenemünde

Oberth eilte schon in jungen Jahren ein legendärer Ruf voraus. 1928 entwickelte er den ersten Raketenmotor für Flüssigtreibstoff. Die politisch-militärischen Wirrungen und Irrungen der 1930er Jahre tangierten auch ihn. Hermann Oberth war jedoch nicht Wernher von Braun, der sich zur Verwirklichung seiner Raketenräume nur zu gerne vor den nationalsozialistischen Karren spannen ließ und von 1933 bis 1945 seiner gewiss auch glorreichen Biografie nicht nur ein düsteres Kapitel hinzufügte.

Oberth hingegen teilte sein Wissen mit jedem. Deshalb „parkten“ ihn die Nazis in Dresden und Wien, wo er unter Kontrolle sein würde und nichts zum Feind gelangen konnte. Die meiste Zeit hielten sie ihn fern von Rüstungsentwicklungen. Am Ende wurde auch er nach Peenemünde beordert, wo er zwar Komponenten des „Aggregats 4“ für die todbringende „Vergeltungswaffe 2“ mitentwickelte, aber längst hielt Wernher von Braun als oberster Handlanger des teuflischen Regimes alle Fäden in der Hand.

Der museale Schatz des Willard Taub

Nach dem Weltkrieg – dem zweiten, den er erleben musste – zog Oberth nach Feucht. Er arbeitete und forschte in Italien und in der Schweiz, Raketenforschung war in Deutschland damals nicht erlaubt. Wernher von Braun holte ihn zweimal in die USA, wo er ihm in Huntsville beim Jahrhundertprojekt Apollo zur Hand ging. Aus dieser Zeit stammt der vielleicht wertvollste Schatz des Museums: Schon vor Kennedys berühmter Rede 1961 gab es in Amerika Überlegungen, wie man mit Menschen zum Mond fliegen könne. Dutzende von Zeichnungen in brillanter, filigraner und ingenieurtechnisch präziser Ausführung zeigen, wie sich die 1958 gegründete NASA dies vorstellte. So besitzt das Museum erste Entwürfe einer Kommandokapsel und Skizzen des Szenarios, das jenem der Apollo-Missionen schon sehr nahekam.

Die großformatigen Bögen zeichnete Willard M. Taub für die NASA. Seinem Zwillingbruder Bill Taub verdanken wir unzählige Bild-Ikonen aus der Apollo-Ära. Die Vorfahren der Taubs stammten wie Oberth aus Siebenbürgen. Man kannte sich, man schätzte sich. Willard Taub verstarb 1997, doch zuvor vermachte er seine Originalzeichnungen dem Hermann-Oberth-Raumfahrt-Museum. Dort wird die einmalige Sammlung gehütet wie der Heilige Gral. Jeder Technikbegeisterte sinkt beim Anblick der Zeichnungen auf die Knie. 1989 verstarb Hermann Oberth, der Raketenpionier, einer der Väter der Raumfahrt – ein Genie, ein Visionär? Davon kann man sich beim Besuch des Museums selbst ein Bild machen. Vielleicht hilft beim Urteil seine vierte These von 1922: „Unter gewissen wirtschaftlichen Bedingungen kann sich der Bau solcher Maschinen lohnen. Solche Bedingungen können in einigen Jahrzehnten eintreten.“

Der Planetengeologe **Ulrich Köhler** arbeitet am DLR-Institut für Planetenforschung und vertieft sich in seiner Freizeit gerne in wissenschaftshistorischen Stoff.

Hermann-Oberth-Raumfahrt-Museum

Adresse:
Pfinzingstraße 12–14
90537 Feucht

Telefon: 09128 3502

Öffnungszeiten: Samstag und Sonntag 14:00 bis 17:00 Uhr // ggf. Abweichungen aufgrund der Pandemiemaßnahmen

Preise: Erwachsene: 5 Euro / Kinder und Jugendliche: 3 Euro

 oberth-museum.org

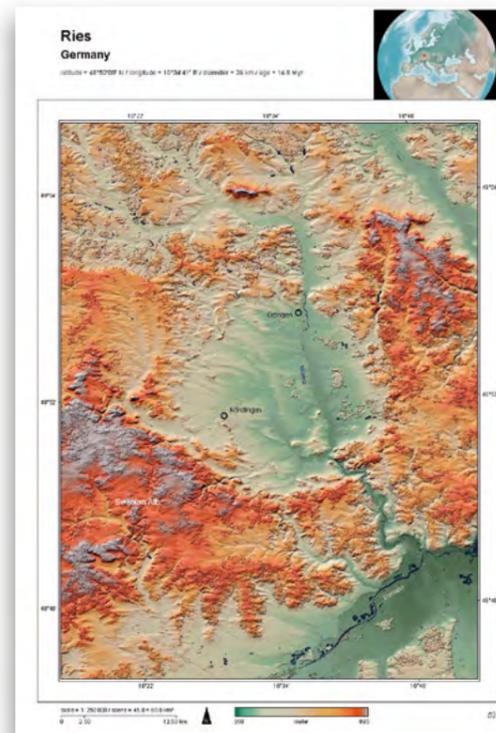
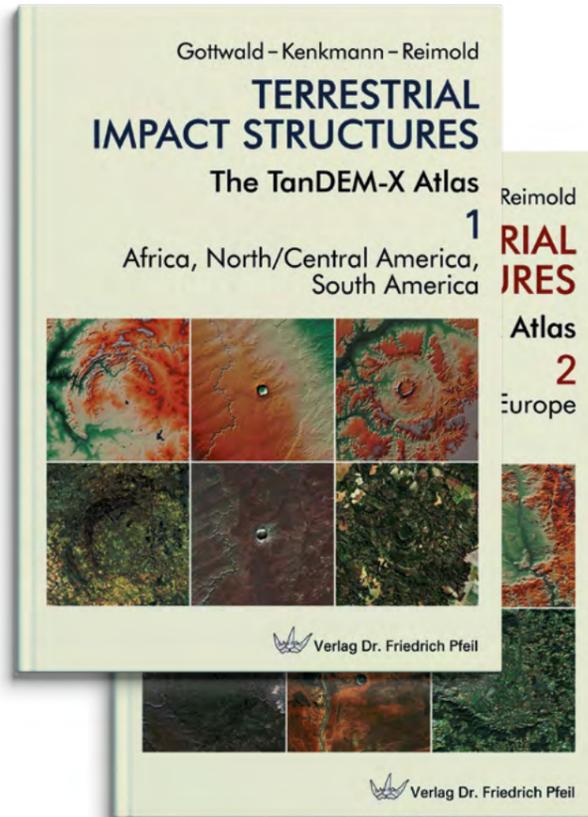
DIE ÄSTHETIK DER KATASTROPHE

Darf man ein Werk, das sich detailliert und ausschließlich mit den Folgen eines in seiner Dimension kaum vorstellbaren gewaltsamen, todbringenden Prozesses beschäftigt, schön finden? Man darf. Denn in diesem Falle liegen die katastrophalen Ereignisse und deren Auswirkungen erdgeschichtlich um viele Millionen Jahre zurück. „Menschen sind dabei nicht zu Schaden gekommen“, stünde wohl im Polizeibericht; die Dinosaurier, die einem dieser „Ereignisse“ vor 65 Millionen Jahren zum Opfer fielen, oder die wenigen dabei überlebenden frühen Rodenten freilich würden hier eine andere Wertung erwarten. Denn hinter dem wissenschaftlich-trockenen Buchtitel **Terrestrial Impact Structures: The TanDEM-X Atlas Band 1 und 2 (Verlag Dr. Friedrich Pfeil)** verstecken sich die Hinterlassenschaften der wohl größten realen Bedrohung aus dem All: die Kollision der Erde mit Asteroiden und die Spuren, die von diesen Impakten – den Einschlägen – stammen.

Erst in den 1960er Jahren haben Geologen, vor allem durch die Untersuchung einer 20 Kilometer großen kreisrunden Struktur im schwäbisch-fränkischen Jura, dem Nördlinger Ries, verstanden, dass es sich dabei nicht um ein vulkanisches Relikt handelt, sondern um ein „Astroblem“, einen Krater, den ein gerade einmal anderthalb Kilometer großer steinerner Vagabund aus dem Sonnensystem bei einem Einschlag vor 15 Millionen Jahren geschaffen hatte. Die dabei umgesetzten Energien sind kaum vorstellbar, Gesteins-Trümmer wurden Hunderte von Kilometern weggeschleudert.

Auf der Erde gibt es nur knapp 200 solcher „Impaktstrukturen“. Ein Blick auf den Mond verrät, dass die Erde in ihrer Frühzeit Abertausende solcher Treffer abbekommen haben musste, aber Plattentektonik, Erosion und Atmosphäre radierten die Narben vergleichsweise rasch wieder aus. In diesem wunderbaren Standardwerk werden sie allesamt in Wort und vor allem großartigen Bildern und topografischen Darstellungen gezeigt. Der Physiker Manfred Gottwald, inzwischen DLR-Ruheständler mit astronomischer Ader, visualisierte die Wunden, die der Erde geschlagen wurden, aus Radar-Bilddaten der deutschen TanDEM-X-Mission, die 2010 bis 2016 das erste globale satellitenbasierte digitale Höhenmodell der Erdoberfläche mit hoher Auflösung lieferte. Daraus entstand dieser topografische Atlas aller bekannten Impaktstrukturen. „Bleiben die Asteroiden im All, sind sie Gegenstand der Astronomie“, bemerkt Gottwald, „schlagen sie auf der Erde ein, ist die Geologie gefragt.“ Die beiden Co-Autoren Kenkmann und Reimold gehören weltweit zu den besten Spezialisten auf diesem Gebiet und steuerten detaillierte geophysikalische und mineralogisch-petrografische Expertise und Feldbeobachtungen bei, sodass dieses großartige, in der Fachwelt lange erwartete Standardwerk das Licht der Welt erblickte: Jay Melosh, der 2020 verstorbene „Papst“ der Impaktforschung, wäre glücklich über die neue „Bibel“ gewesen (Buch nur in englischer Sprache).

Ulrich Köhler



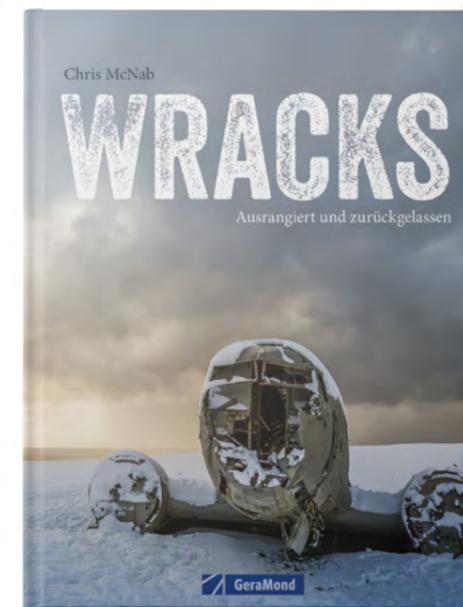
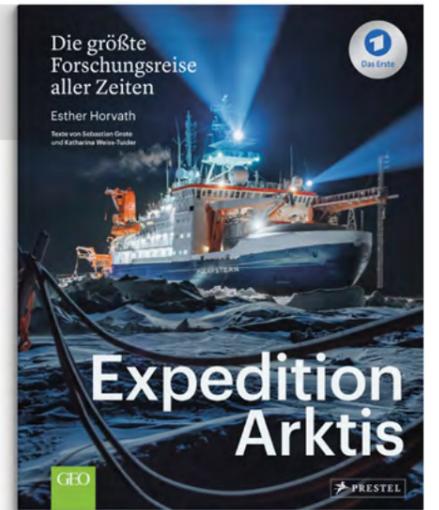
BILDER, DIE EIS ATMEN

Ein Jahr in der kalten Welt aus Weiß und Grau. Davon sechs Monate eingehüllt in der Dunkelheit der Polarnacht. Beißender Wind, Temperaturen bis minus 40 Grad Celsius, Isolation. 500 Forscherinnen und Forscher haben bei der Expedition MOSAiC viele Strapazen auf sich genommen, um das System Arktis und die komplexen Mechanismen des Klimawandels besser zu verstehen. Im Herbst 2019 brachen Teams aus der ganzen Welt mit dem Forschungseisbrecher Polarstern ins Nordpolarmeer auf. Ein Jahr lang eingeschlossen im vermeintlich „ewigen“ Eis, haben sie zwischen, über, auf, im und unter dem Eis bedeutende Messdaten gewonnen. MOSAiC, die größte Arktisexpedition aller Zeiten, wurde unter der Leitung des Alfred-Wegener-Instituts, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), geplant und durchgeführt.

Die mehrfach ausgezeichnete Dokumentarphotografin Esther Horvath war hautnah dabei. Ihre atemberaubenden Fotos dieser historischen Expedition präsentiert der Bildband **Expedition Arktis (PRESTEL-Verlag)**. Wer das Buch aufschlägt, spürt die Wirkung der großformatigen Bilder: Man taucht ein und spürt fast die frostige Kälte in der lebensfeindlichen Umgebung, wenn die eiserstarr-weißen Haarspitzen einer Forscherin in einer Nahaufnahme aus ihrer dicken Kapuze ragen. Das Bild eines Außeneinsatzes in der Dunkelheit der Polarnacht entfaltet mit geschickt in Szene gesetztem Gegenlicht eine dramatische Intensität. Auch einen Einblick in das Leben nach Dienstschluss gewährt der Bildband. Hier macht besonders ein Foto deutlich, dass die Forschenden ihre Leidenschaft und Kreativität nicht nur für die Arbeit einsetzen: Ein Wissenschaftler improvisierte für die Halloween-Party an Bord sein Kostüm des Star-Wars-Droiden C-3PO aus goldfarbener Rettungsfolie.

Ob man sich für das Abenteuer Arktisforschung, die Fotografie oder beides interessiert: „Expedition Arktis“ bringt die Mammutmission MOSAiC bildgewaltig näher. In informativen Texten werden die Ziele und Herausforderungen der Mission sowie die große Bedeutung der Arktisforschung für das Verständnis des Klimawandels erläutert. Auch das DLR unterstützte die Expedition und war mit einem Experiment an Bord der Polarstern. Ausführlich vorgestellt wurde die DLR-Beteiligung an MOSAiC in Ausgabe 163 des DLRmagazins (Dezember 2019).

Philipp Burtscheidt



DIE FASZINATION DER VERGÄNGLICHKEIT

Von Rost zerfressen, von Pflanzen überwuchert und dem langsamen Verfall überlassen, üben Wracks mit ihrem morbiden Charme eine beinahe mystische Anziehung aus. In seinem Buch **Wracks: Ausrangiert und zurückgelassen (GeraMond)** führt uns Chris McNab um die Welt durch Dschungel, Wüsten, Ozeane, aber auch gewöhnliche Nachbarschaften. Auf 224 Seiten, aufgeteilt in die fünf Kapitel Schiffe, Schienen-, Militär- und Straßenfahrzeuge sowie Fluggeräte, zeigen sorgfältig ausgewählte Aufnahmen verschiedener Fotografen Wracks aller Art, angereichert mit technischen und historischen Details. Dass der Autor ein britischer Militärhistoriker ist, zeigt sich vor allem bei den besonders genauen Angaben zu militärischen Maschinen.

Kaum ein Motiv gleicht dem anderen: ikonische Schiffswracks wie die geisterhafte Titanic und ankernde Kriegsschiffe, deren von Rost melierte und moosbewachsene graue Aufbauten Felsen gleichen. Lange, bunt besprühte Züge, die auf überwucherten Abstellgleisen an prähistorische Schlangen erinnern. Panzer, deren Besatzungen womöglich ein furchtbares Schicksal ereilte oder die als Riff am Ende doch noch einen guten Zweck erfüllen. Flugzeuge, die einst erhaben der Schwerkraft trotzten, bleiben endgültig am Boden und ein russisches Buran-Shuttle, damals technischer Meilenstein, sieht heute in einem einsturzgefährdeten Hangar dem Vergessen entgegen. Aber der Band zeigt auch Wracks, mit denen man vielleicht eigene Erlebnisse verbindet: Wohnwagen vor grandioser Aussicht, Autos und Schulbusse als Kunstobjekte oder Fahrräder, die – verwittert und bemalt – Teil urbaner Welten geworden sind. Vielleicht ist es der surreale Anblick riesiger Maschinen an unerwarteten Orten, enormer aufgegebener Sachwerte und einstiger Fortschritte, die Geschichten und Schicksale, die sie erzählen, oder die plakative Vergänglichkeit selbst größten Strebens, weshalb Wracks uns so faszinieren.

Daniel Beckmann



WELTBILDER IM WANDEL

Das Sujet ist reizvoll und verhängnisvoll zugleich – wer die Geschichte von Karten und Globen sowie ihrer Schöpfer zwischen zwei Buchdeckeln erfassen will, steckt in einem Dilemma. Dem Reiz, Historisches ans Licht zu heben, steht die Qual der Wahl gegenüber: Wo beginnen, wo enden? Welche Karten auswählen – die geschichtlich bedeutsamen oder die schönsten? Und weiter: Was unterscheidet eigentlich eine Karte von einem Bild? Schwieriger noch die Antwort auf die Frage: Wessen Sicht auf die Welt ist gezeigt und auf welchen Teil der Welt richtet sich der Blick?

Der Journalist und Autor Thomas Reinertsen Berg war sich der Schwierigkeit seines Unterfangens bewusst. Und so ist hinter dem Titel **Auf einem Blatt die ganze Welt (dtv)** in edlem Golddruck ein Fragezeichen zu ahnen. Das Verdienst des Buchautors ist es, in dem 340-seitigen Text-Bild-Band anhand von 49 Karten kenntnisreich die Umstände ihres Entstehens zu beschreiben, zu erläutern, welche Rolle Wissenschaft, Kunst, Technik und Ambitionen gespielt haben, Deutungen zuzulassen. Überrascht es dabei zunächst, dass er seinem Vorwort zur Geschichte der Landkarten das Bild der Erde, fotografiert von Apollo 8 aus, voranstellt, so zeigt das abschließende Kapitel über die digitale Welt, unter anderem mit Satellitenbildkarten, wie sich unser Blick auf die Welt verändert.

Was nun den schwer fassbaren Unterschied zwischen Karten und Bildern betrifft, für den fand Berg eine Definition: Harley und Woodward bezeichnen in ihrem Standardwerk „The History of Cartography“ (1987) Karten als grafische Darstellungen, die ein räumliches Verständnis von Dingen, Vorstellungen, Gegebenheiten, Prozessen oder Ereignissen in der Welt der Menschen ermöglichen. Die „Welt der Menschen“ meint allerdings ihre Umgebung im weitesten Sinne, bis hin zum Weltraum und ins Jenseits. Alles dann doch wiederum eine Frage der Deutung.

Cordula Tegen

IN EINER TEXTGALAXIE

Ein Werk, ungewöhnlich, exzeptionell, in allem. Im Titel einen Mond, den aber gleich doppelt: **luna luna (SECESSION VERLAG)**. Noch ungewöhnlicher: ein Klappentext bereits wie das Werk selbst. „luna luna ist ein dunkler Text. Rasant, rasend und atemlos spricht er tief von innen aus dem weit offenen Gaumenraum heraus. Es geht um eine dünne Wand zwischen Traum und Trauma, um dünne Haut, um eine Gans aus Pappmaché und den Bären, den sich eine aufbindet, um sich gegen den Wind zu schützen. (...) Motive, Figuren und Sätze stoßen sich wie Autoscooter durch die Textgalaxie (...)“ So könnte es, nie endend, weiter gehen.

Der Rezensent trifft Maren Kames, die Autorin, an einem heißen Sommertag auf einer Parkbank zum Gespräch, Schatten. Irgendwo in Deutschland, irgendeine dieser immergleichen Großstädte – Lessingplatz. Zwei Stunden später sagt er beiläufig: „Zu luna luna möchte ich im Grunde die Klappe halten.“ Maren Kames, spontan: „Schreiben Sie doch genau das.“ So traut der Rezensent es sich und er empfiehlt luna luna den Leserinnen und Lesern ausdrücklich, dieses Werk, das so viel mehr ist als Text, Klang, Sound, Musik, Rauschen...; laut, flüsternd, slammend, nie geräuschlos, stummer Sturm ...

„in meinen gloriöseren tagen bin ich ziemlich
lunar gewesen
und wahnsinnig rastlos,
in den gliedern krachend u griffig,
im wipfel wild,
es rauschte,
ich genoss
und litt
zeitgleich,
immerzu;
ich lachte
harsch,
(...)“

Hundertundzwölf Seiten später, intuitiv laut gelesen, war klar: Worte können solcher Kunst nicht gerecht werden. Da traut sich eine was. Schafft Sprache, Klang; bringt das Neue in ein Gewand, das es noch nicht gab. Führt ins Zentrum des fühlenden Kopfes. Nimmt heraus aus der Konvention, gibt, was nicht gegeben werden kann: Freiheit.

Maren Kames öffnet den Raum



Peter Zarth



VERHÖR IM OBERSTÜBCHEN

„Unser Kopf beherbergt ein Wunderwerk.“ Zu diesem Fazit gelangte Autorin Barbara Schmutz bei ihren Recherchen für einen Magazinbeitrag über das menschliche Gehirn. Sie arbeitete sich tief ins Thema ein, sprach mit Neurowissenschaftlerinnen und Gehirnexperten. Heraus kam ein ganzes Buch. Wo im Gehirn entstehen Träume? Was macht das Internet mit unserem Gehirn? Können wir uns schlau essen? Lässt sich der „Brain Code“ knacken und ein künstliches Gehirnanalog – eine starke künstliche Intelligenz – erschaffen?

Wissbegierig stellt Barbara Schmutz 17 Gesprächspartnerinnen und -partnern aus Wissenschaft und Forschung eine Flut an spannenden Fragen und entlockt ihnen erstaunlich allgemeinverständliche Antworten. Weniger leicht fällt hingegen, sich einen Überblick über die 16 Themenbereiche zu verschaffen, zu denen die Autorin ihre Interviews führte. Denn für das Inhaltsverzeichnis entschied sich der Verlag **Kein & Aber** für die Namen der Fachleute statt einer thematischen Übersicht.

Von Wissenswertem aus den Neurowissenschaften bis hin zu philosophischen Fragestellungen lernen Leserinnen und Leser mit **BRAINSTORMING – 300 Fragen an das Gehirn** das Wunderwerk Oberstübchen in vielen Facetten besser kennen.

Übrigens, gutes Hirnfutter gibt es tatsächlich, aber Spinat ist es nicht.

Philipp Burtscheidt

LINKTIPPS

FREUDE DES LEUCHTENS

meteors.de

Ob Sternschnuppen, Regenbögen, Polarlichter oder die farbigen Ringe, die gelegentlich um die Sonne zu beobachten sind, – die Webseite des Vereins Arbeitskreis Meteore e. V. (AKM) geht solchen Himmelsphänomenen nach. Berichte über Polarlichtbeobachtungen und Feuerkugeln können an den AKM gesendet werden, sie werden dort gesammelt und auf der Webseite veröffentlicht. Außerdem gibt es ein Forum zum Diskutieren sowie einen regelmäßigen Wettbewerb um das Bild des Monats.

RETTE SICH, WER KANN

Among Us

(kostenlos im Playstore/Appstore)

In diesem Minigame sind die Spielenden eingepfercht in ein Raumschiff als Teil einer Crew, in der sich einige Hochstapler versteckt haben. Während die Unschuldigen sich darum bemühen, möglichst schnell kleine Aufgaben zu erledigen, ist das Ziel der sogenannten Impostors die Sabotage, notfalls auch durch Töten einzelner Crewmitglieder. Nach jedem Leichenfund diskutieren alle, wer der oder die Schuldige sein könnte und damit von Bord geworfen wird. Das Katz-und-Maus-Spiel hat mittlerweile eine riesige Fangemeinde.

MIT SOFTWARETECHNOLOGIE GEGEN COVID-19

hpcvscorona.DLR.de

Zusammen mit dem Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung hat das DLR eine Homepage entwickelt, die das Covid-19-Infektionsgeschehen bis auf die kommunale Ebene aktuell und detailliert darstellt. Diese Seite zeigt die Informationen zum Reproduktionswert (R-Wert) nicht nur für das jeweilige Bundesland, sondern auch für die einzelnen Landkreise.

BESUCH IM DLR BERLIN

s.DLR.de/wgdow

Die Erforschung fremder Planeten, neue Verkehrskonzepte, damit die Menschen einfach und schnell von A nach B gelangen, ein Spektrometer, das von der ISS aus die Umwelt im Blick hat, oder ein Prüfstand, mit dem leisere Triebwerke untersucht werden: Am DLR-Standort Berlin gibt es viel zu entdecken. Rund 700 Mitarbeitende sind hier beschäftigt, planen wissenschaftliche Missionen und führen sie durch. Dieser Film gibt einen Überblick über den Standort in der Hauptstadt.

JETZT BEWERBEN

jobs.esa.int

Die Europäische Weltraumorganisation ESA sucht erstmalig seit elf Jahren wieder Astronautinnen und Astronauten – dabei werden besonders Frauen ermutigt, für die außergewöhnliche Stelle zu kandidieren. Bewerben kann man sich vom 31. März bis zum 28. Mai 2021. Im Anschluss an die Bewerbung beginnt ein sechsstufiger Auswahlprozess, der im Oktober 2022 enden soll.

Titelbild

Ein weißes Blatt kann beängstigend, aber auch beflügelnd sein. Genauso kann die Vorstellung motivieren, ein bestehendes Bild weiterzuführen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR befüllen solche „weißen Blätter“ mit ihren Ideen, wenn sie neue Konzepte für die Flugzeugkabine entwickeln und dabei den Flugzeuginnenraum ganz anders nutzen möchten als bisher. Auch das Thema Digitalisierung spielt eine wichtige Rolle. DLR-Forscherinnen und -Forscher beschäftigen sich schon lange mit der Frage, an welcher Stelle wir noch Experimente benötigen und was wir schneller und wirtschaftlicher am Computer machen können. Zudem arbeiten über 25 DLR-Institute und -Einrichtungen daran, das aktuelle Bild der Luftfahrt in Richtung emissionsarmes und leises Fliegen zu gestalten. Das beinhaltet Forschung an klimaoptimierten Flugrouten, leiseren Triebwerken, nachhaltigen Treibstoffen, aber auch die Beratung von Politik und Kommunen.



**Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt**