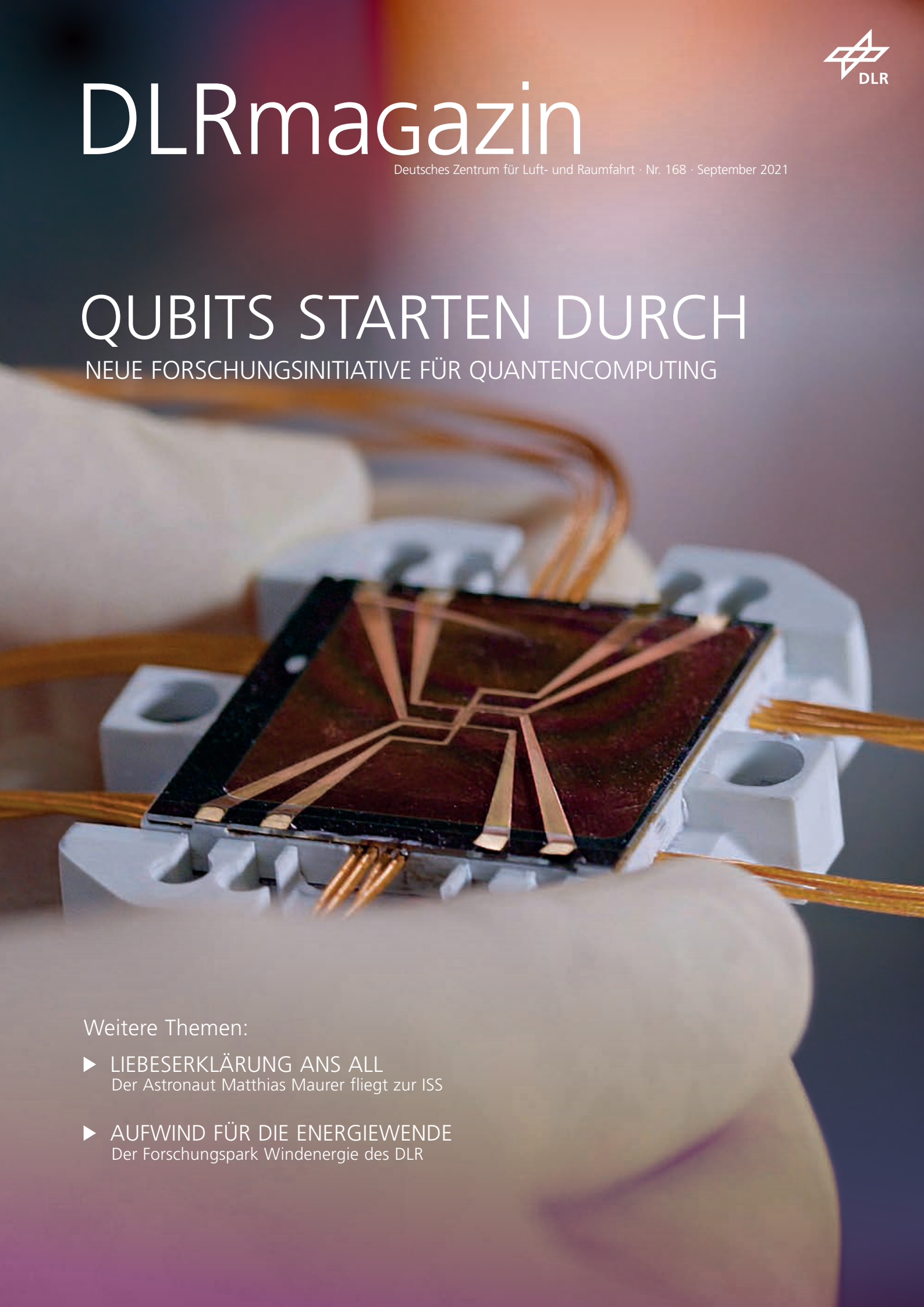
DLRmagazin

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt · Nr. 168 · September 2021

QUBITS STARTEN DURCH

NEUE FORSCHUNGSINITIATIVE FÜR QUANTENCOMPUTING



Weitere Themen:

- LIEBESERKLÄRUNG ANS ALL
  Der Astronaut Matthias Maurer fliegt zur ISS
- AUFWIND FÜR DIE ENERGIEWENDE
  Der Forschungspark Windenergie des DLR

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 Projektträger 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)

Kommunikation und Presse
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

Onlinebestellung:
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-NC-ND 3.0), sofern nicht anders angegeben.

Klimaneutral Druckprodukt ClimatePartner.com/53106-2106-1003

MIX Papier aus verantwortungsvollen Quellen FSC® C008457 www.fsc.org

Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

EDITORIAL

EINE BESONDERE UNIFORM

Ein himmelblauer Streifen, umfasst von einer orangefarbenen Kontur auf einem weißen Rumpf – das ist die Uniform der Flugzeuge und Hubschrauber des DLR. Die Farben, mit denen die Mitglieder der größten zivilen Forschungsflotte Europas lackiert sind, lassen erahnen, dass sie nicht im normalen Linien-dienst stehen: Ihre orangefarbenen Quer-, Höhen- und Seiten-ruder sind eine Erinnerung an die ersten Flugtests. Denn um die Flugzeuge vom Boden aus besser beobachten zu können oder die beweglichen Steuerflächen vom Flugzeuginneren aus stets gut im Blick zu haben, wurden und werden Test- und Forschungsflugzeuge häufig vollständig oder eben partiell in einer auffälligen Farbe lackiert.

Einige Mitglieder der DLR-Forschungsflotte

Bei manchen der DLR-Forschungsflieger geben die Farben auf der Außenseite auch einen Hinweis darauf, was im Inneren geschieht. Ein Beispiel ist das neueste Mitglied der Flotte, eine Dornier 228. Sie wird zu einem modularen hybrid-elektrisch angetriebenen Erprobungsträger, dem „Electric Flight Demonstrator", umgerüstet. Die markanten blauen Streifen öffnen sich zum Heck hin, wechseln ins Grün und tragen Strömungslinien als Hommage an die Ursprünge der Forschung im DLR und dessen Vorgängerorganisationen. Neben der Luftfahrtgeschichte weist die luftige Uniform der Do 228 so auch in die Zukunft und in Richtung einer grüneren Luftfahrt.

Die neue Do 228 des DLR, der Electric Flight Demonstrator

Liebe Leserinnen und liebe Leser,

die Grundlagen schaffen, um zukünftig mit Quantencomputern einen ganz entscheidenden Schritt weiterzukommen. Hin zu einer Technik, mit der Berechnungen und Simulationen durchführbar sind, für die herkömmliche Computer mitunter Jahre brauchen würden. Das ist das Ziel einer Forschungsinitiative, innerhalb derer das DLR in den kommenden vier Jahren gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung zwei Konsortien aufbauen wird. Es soll dafür sorgen, dass Quantencomputer in Deutschland wirklich durchstarten können. Mit dieser Technologie wird es möglich sein, vielversprechende Wege in der Materialforschung, in der Medizin sowie auf den Gebieten Energie und Verkehr zu erschließen. Ebenso soll sie die künstliche Intelligenz, abhörsichere Verschlüsselungsverfahren und die satellitengestützte Navigation und Kommunikation revolutionieren. Wie das geht? Das DLRmagazin gewährt einen ersten Einblick in diese neue Welt.

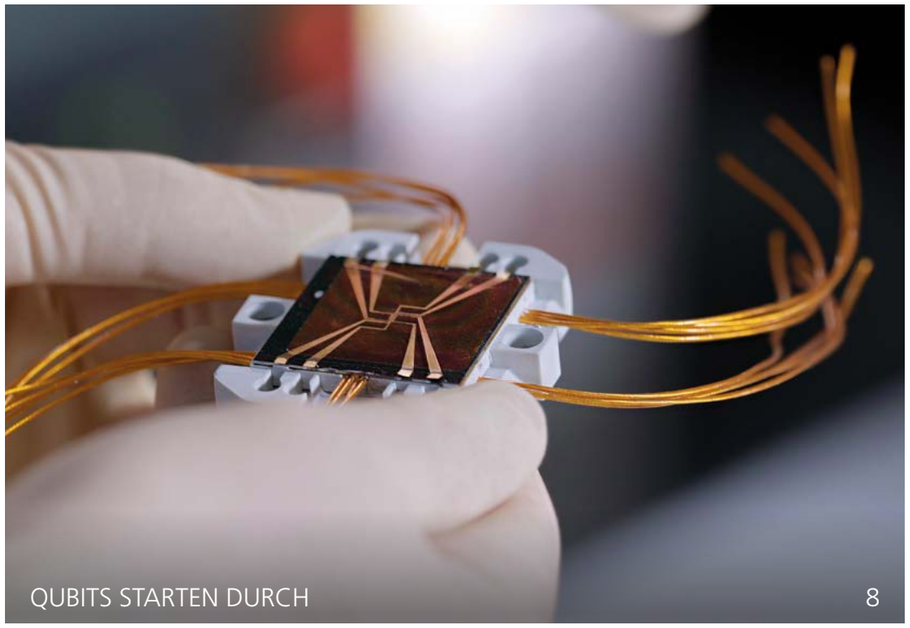
Durchstarten wird im November 2021 auch der ESA-Astronaut Matthias Maurer zur Internationalen Raumstation ISS. Im Rahmen seiner Mission Cosmic Kiss wird er dort etwa sechs Monate lang verschiedene wissenschaftliche Experimente durchführen. Bevor es losgeht, hat er sich noch unseren Fragen gestellt. Aber nicht nur die Crew an Bord der Dragon-Raumkapsel wird sich auf den Weg ins All machen: Im Oktober wird die NASA-Raumsonde Lucy ihre Reise beginnen. Diese soll allerdings zwölf Jahre dauern. Ihr Ziel sind die Trojaner-Asteroiden des Jupiter. Die Forscherinnen und Forscher erhoffen sich, dort Hinweise zu finden, wie die äußeren Planeten des Sonnensystems entstanden sein könnten. Es wird also ein ereignisreicher Herbst.

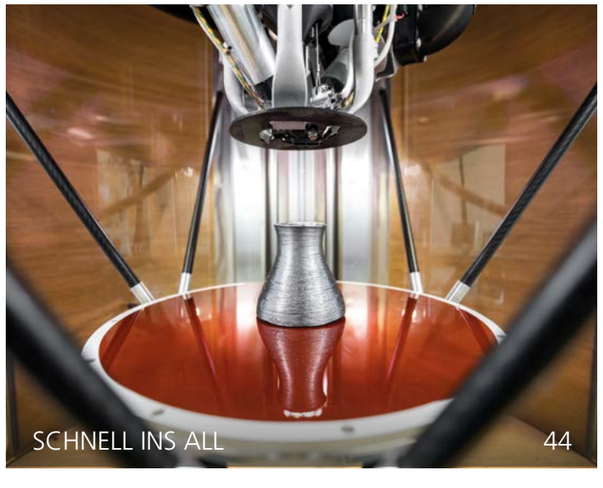
Auch auf der Erde passiert einiges im DLR: So entsteht in Krummendeich an der Elbe ein Forschungspark, mit dem Windkraftanlagen getestet werden. Das DLR-Institut für Solarforschung feiert sein zehnjähriges Jubiläum und unser „Frischling" in der DLR-Forschungsflotte – das Flugzeug ISTAR – hat seine ersten Tests bestanden. Dieses und vieles mehr lesen Sie im aktuellen Heft.

Viel Vergnügen wünscht Ihnen

Ihre Redaktion

DLRmagazin **168**





MELDUNGEN 6

▶ **QUBITS STARTEN DURCH** 8
Quantencomputing „Made in Germany“

NEUE AUGEN FÜR DEN BLICK NACH OBEN 12
Ein Radarsystem beobachtet Weltraumobjekte

▶ **LIEBESERKLÄRUNG ANS ALL** 16
Matthias Maurer fliegt zur ISS

REISE IN DAS REICH DER TROJANER 20
Die NASA-Asteroidenmission Lucy

STRATEGIEN FÜR WENIGER DEZIBEL 24
Kein Fluglärm mehr durch elektrische Flugzeuge?

SCHÜTTEL DEIN LEITWERK FÜR MICH 28
Schwingungsversuche am ISTAR

WIE VERÄNDERT CORONA UNSERE MOBILITÄT? 30
DLR-Studien zu den Auswirkungen der Pandemie

VERKEHR ANDERS GEDACHT 32
Bessere Kommunikation zwischen Verkehrsträgern

▶ **AUFWIND FÜR DIE ENERGIEWENDE** 36
Das volle Potenzial von Windenergie nutzen

AUF DER SONNENSEITE 40
Zehn Jahre DLR-Institut für Solarforschung

DREIMAL NEULAND 42
Ideen für den Fortschritt

SCHNELL INS ALL 44
IRAS – eine Entwicklungsplattform für günstige Satelliten

VISITE VON OBEN 46
DLR-Technik erfasst den Zustand von Solarkraftwerken

DIE IDEENJÄGER 48
Wie das DLR Innovationen in die Wirtschaft bringt

NACHGEFRAGT 49
Forscherinnen und Forscher antworten

AUS EINER HAND 50
Der Projektträger Luftfahrtforschung im DLR

RECHNEN UND RECHNEN LASSEN 54
Technische Rechnerinnen brachten die Forschung voran

AUF DEM PILOTENSITZ 56
Das Nationalmuseum der U.S. Air Force

FEUILLETON 58

FLUGREISEN: GRENZEN DER KOMPENSATIONSPFLICHT

Seit 2021 müssen Fluggesellschaften einen Teil der Emissionen auf internationalen Flügen ausgleichen. Dies geschieht mithilfe von CO_2-Kompensationsprojekten – aus wirtschaftlicher Sicht eine schnelle und „attraktive" Lösung für die Luftfahrt-Branche. Das Programm CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) verpflichtet Fluggesellschaften seit diesem Jahr, CO_2-Emissionen mit Kompensationsgutschriften auszugleichen. Zugelassene Kompensationsprojekte müssen durch etablierte Unternehmen und Non-Profit-Organisationen zertifiziert sein. Ein DLR-Team hat die CORSIA-fähigen Angebote analysiert und zeigte im Rahmen einer Studie, dass der Großteil der Kompensationen in Projekten generiert wird, die diesen Kriterien oftmals nicht genügen. Die Klimawirkung der Gutschriften hängt allerdings stark von den zugrunde liegenden Projekttypen ab. Dementsprechend lässt sich CORSIAs Versprechen der Klimaneutralität nur schwer erfüllen.

Bild: DLR/Alejandro Morellon

CO_2-Kompensationen sind ein Zwischenschritt auf dem Weg zu einer klimaverträglicheren Luftfahrt.

Im Vergleich zum Jahr 2008 sollen Schiffe ab dem Jahr 2050 um 70 Prozent weniger Kohlenstoffdioxid ausstoßen.

WENIGER RUß UND CO_2 IM WASSER

Der weltweite Schiffsverkehr trägt erheblich zum Ausstoß von Treibhausgasen bei. Deshalb soll der Grenzwert für den Ausstoß von Kohlendioxid ab dem Jahr 2050 im Vergleich zum Jahr 2008 um 70 Prozent sinken. Das DLR arbeitet zusammen mit seinen Partnern aus Industrie und Forschung an einer klimafreundlichen Energieversorgung für Schiffe. Basis ist ein Brennstoffzellen-System, das Strom und Wärme an Bord produzieren soll. Das Besondere an den Zellen ist, dass sie mit unterschiedlichen Treibstoffen funktionieren. Aktuell entsteht unter der Leitung des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik ein schiffstauglicher Demonstrator. Die Europäische Union fördert das 2020 gestartete Forschungsprojekt NAUTILUS (Nautisches integriertes Hybrid-Energiesystem für Langstrecken-Kreuzfahrtschiffe) über vier Jahre mit insgesamt 7,9 Millionen Euro. An dem Projekt sind neben dem DLR 15 führende Schifffahrtsunternehmen, Reedereien, Werften, Schifffahrtsbehörden und Forschungseinrichtungen beteiligt.

TREIBHAUSGASE LASSEN DIE STRATOSPHÄRE SCHRUMPFEN

Treibhausgase erwärmen die untere Atmosphäre und bestimmen damit den Klimawandel – das ist bekannt. Eine Studie von acht Forschungszentren in fünf Ländern, an der auch das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen beteiligt war, hat nun bewiesen, dass auch die Stratosphäre aufgrund von Treibhausgasemissionen schrumpft. Die Stratosphäre erstreckt sich in einer Höhe von etwa 12 bis 50 Kilometern. Die darunter liegende Troposphäre dehnt sich aufgrund des Klimawandels aus, dementsprechend wird die Stratosphäre gewissermaßen zwischen den inneren und oberen Schichten „eingeklemmt" und nimmt daher ab. Diese Ausdünnung könnte zu einer Störung von GPS-Systemen führen oder Auswirkungen auf die Flugbahnen von Satelliten haben. Den Autorinnen und Autoren der Studie zufolge hat die Stratosphäre seit den 1980er Jahren 400 Meter an Dicke verloren. Bis 2080 könnte die Stratosphäre um weitere 1,3 Kilometer schrumpfen.

Messflug eines Stratosphärenballons in 36 Kilometer Höhe. Der Ballon sammelte Daten für ein besseres Verständnis des Bromhaushaltes der Atmosphäre und des dadurch verursachten Ozonabbaus.

NEUE DLR-INSTITUTE BEGINNEN MIT DER FORSCHUNGSARBEIT

Das DLR hat im Mai vier neue Institute mit unterschiedlichen Forschungsschwerpunkten eröffnet. In Geesthacht in Schleswig-Holstein suchen künftig Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Institut für Maritime Energiesysteme nach Lösungen für einen emissionsärmeren Schiffsverkehr. Das neue Institut für Solar-Terrestrische Physik im mecklenburgischen Neustrelitz dagegen analysiert Wechselwirkungen zwischen Sonnenaktivität und Erdatmosphäre und leistet einen Beitrag zum Aufbau eines nationalen Weltraumwetter-Dienstes. In Cottbus und Zittau widmen sich die Forschenden am Institut für CO_2-arme Industrieprozesse der Dekarbonisierung von industriellen Abläufen. Sie entwickeln Alternativen für fossile Brennstoffe, damit die Produktion in Schlüsselbranchen umweltfreundlicher wird. Im Süden weihte der DLR-Vorstand in Ulm das Institut für Quantentechnologien ein. Quantentechnologien gelten als zukunftsträchtig und ermöglichen beispielsweise eine langfristig sichere Kommunikation sowie eine sehr präzise Navigation per Satellit. Aufgrund der Corona-Pandemie fanden alle Eröffnungen virtuell statt.

REGIONALMELDUNGEN

DRESDEN: Seit Ende Mai 2021 ist die Ausstellung „Zu den Sternen – Abenteuer Raumfahrt" im Verkehrsmuseum Dresden geöffnet. Sie umfasst unter anderem zehn Exponate der Raumfahrtagentur im DLR sowie einen Teil der INNOspaceEXPO „ALL.täglich!" und zeigt die Kulturgeschichte der Raumfahrt, von den Anfängen der Astronomie über die Eroberung des Weltalls bis hin zur Zukunft der Raumfahrt und der Weltraumforschung. Die Ausstellung ist noch bis zum 7. November 2021 geöffnet.

HANNOVER: Im Gutachten „NeueWege – Wege zur nachhaltigen Mobilität in Niedersachsen" zeigen DLR-Verkehrsforschende ein umfassendes Bild der Verkehrssituation Niedersachsens sowie Chancen und Hemmnisse auf, um die Dekarbonisierung des Verkehrs zu erreichen. Leitfragen des Gutachtens sind: Wo steht Niedersachsen hinsichtlich der Energie- und Mobilitätswende? Wie weit ist das Land, wenn es darum geht, Mobilität klimaneutral zu gestalten? Was kann getan werden, um die klimapolitischen Ziele des Landes zu erreichen? Das DLR und das Ecologic Institute übergaben das Gutachten dem niedersächsischen Minister für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz.

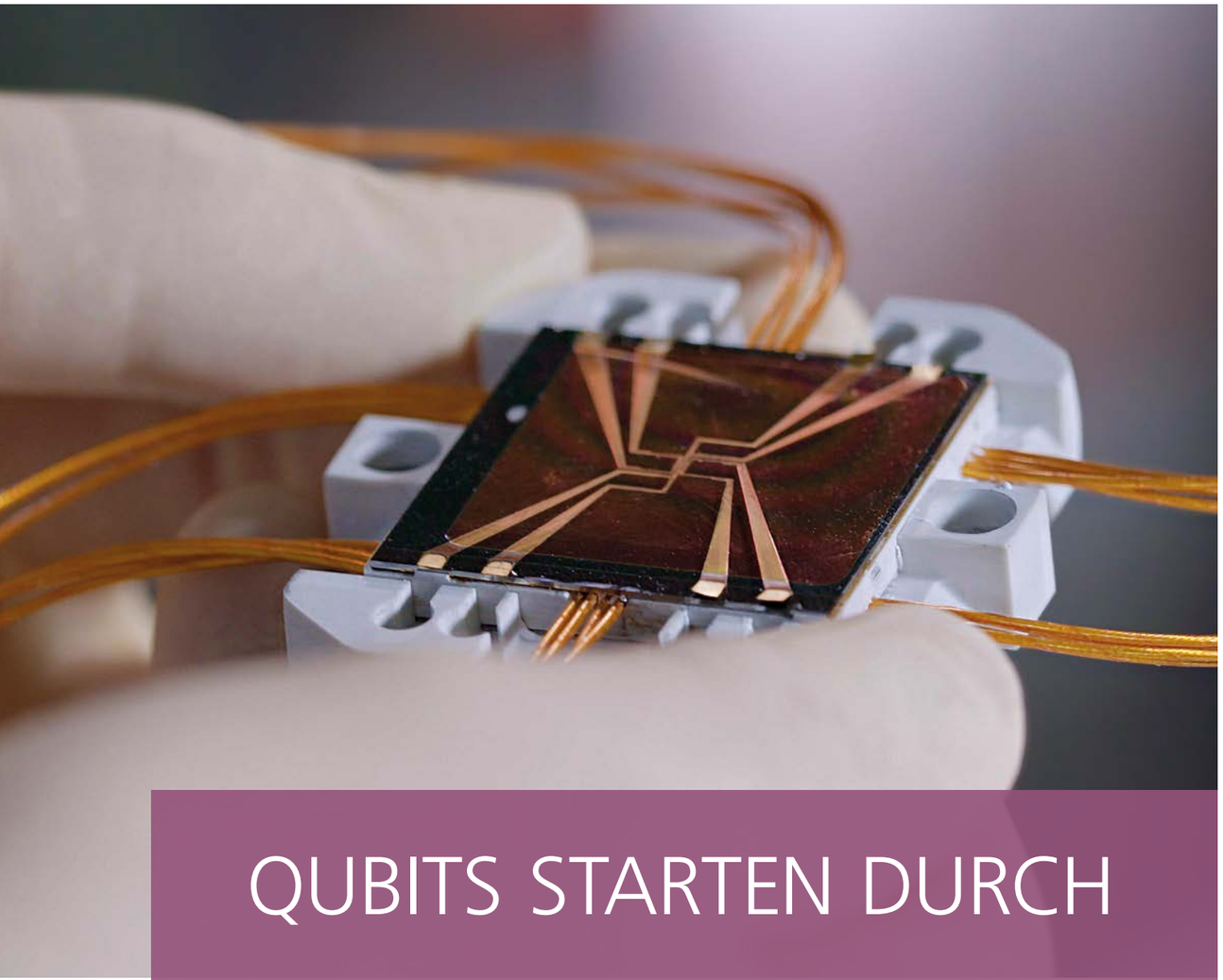
HAMBURG: Unter dem Motto „Experience Future Mobility Now" findet vom 11. bis 15. Oktober 2021 der ITS World Congress statt, eine internationale Branchenveranstaltung im Bereich intelligenter Transportsysteme und -services (ITS). Mit dabei sind die Transport-, Logistik- und IT-Branche sowie Vertreterinnen und Vertreter aus Politik und von Verbänden. Der Messestand des DLR befindet sich in Halle B5 und trägt die Standnummer B5220.

GÖTTINGEN: Das DLR-Institut für Aeroelastik arbeitet mit der französischen Luftfahrtforschungseinrichtung ONERA an neuen Konzepten für Flügelstrukturen energieeffizienter Flugzeuge. Im Projekt FIGURE (Flexible wIng GUst Response) wurden zwei Modelle eines hochelastischen Flügels getestet, der langgestreckte Flügelformen ermöglicht. So soll der Treibstoffverbrauch reduziert werden. Es wurde jeweils ein Flügel im DLR und ein Flügel von ONERA entwickelt. Beide Modelle wurden in Göttingen gebaut und in Paris in einem Windkanal bei schallnahen Strömungsgeschwindigkeiten getestet.

BERLIN: Gleich drei Missionen werden voraussichtlich innerhalb der nächsten zehn Jahre zur Venus fliegen: Die amerikanische Raumfahrtagentur NASA schickt den Venusorbiter VERITAS und die Sonde DAVINCI+ zu unserem Nachbarplaneten und 2031 oder 2032 wird die Mission EnVision der Europäischen Weltraumorganisation ESA starten. Das DLR steuert sowohl zu EnVision als auch zu VERITAS ein Spektrometer bei, das die Gesteine und deren Mineralogie auf dem irdischen Schwesterplaneten kartieren soll. Ziel der Missionen ist es, ein umfassendes Verständnis der Venus zu erlangen.

DLR.DE:
MELDUNGEN AUF UNSERER WEBSEITE
Alle Meldungen können in voller Länge und mit Bildern oder auch Videos online im News-Archiv eingesehen werden.

DLR.de/meldungen



QUBITS STARTEN DURCH

Eine neue Forschungsinitiative fördert Quantencomputing „Made in Germany“

von Tim Suckau

Noch arbeiten die Algorithmen der modernsten Hochleistungsrechner mit Nullen und Einsen. Doch schon in naher Zukunft könnte das Historie sein. Unter der Leitung des DLR soll ein prototypischer Quantencomputer „Made in Germany“ entwickelt werden, der mittels Quantenbits (Qubits) neue Dimensionen für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft erschließt sowie revolutionäre Entwicklungs(quanten-)sprünge ermöglicht. So sieht es ein aktueller Beschluss der Bundesregierung vor. Sie bewilligte insgesamt zwei Milliarden Euro, um das Thema Quantentechnologie in Deutschland zu fördern. Das DLR erhält davon 740 Millionen Euro, um im Rahmen der DLR-Quantencomputing-Initiative zusammen mit Industriepartnern, Start-ups und Forschungsgruppen dafür das wissenschaftliche und wirtschaftliche Umfeld aufzubauen.

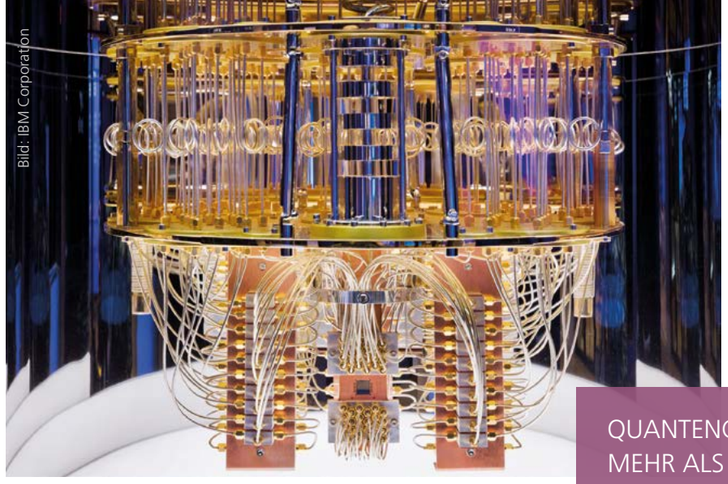


Bild: IBM Corporation

27 Qubits des IBM Q System One sind das Herz des Quantencomputers im Fraunhofer Kompetenzzentrum „Quantencomputing Baden-Württemberg“ in Ehningen bei Stuttgart. Das DLR simuliert auf dem Quantenrechner atomare Vorgänge in Batterien, um deren Leistung und Energiedichte zu steigern.

QUANTENCOMPUTER KENNEN MEHR ALS 0 UND 1

Ein Quantencomputer arbeitet anders als ein klassischer Computer: Seine Quantenbits, kurz Qubits, folgen den Gesetzen der Quantenphysik. Diese beschreiben die Vorgänge auf atomarer Ebene. Die Bits eines klassisch arbeitenden Computers kennen nur zwei Zustände: 0 und 1. Qubits sind in der Lage, unendlich viele Zwischenwerte annehmen. Auf Basis der Quantenphysik können zudem neuartige Algorithmen entstehen. Quantencomputer werden so vielleicht Probleme lösen, an denen klassische Computer scheitern. Als Qubits dienen quantenphysikalische Objekte, wie beispielsweise Elektronen, Atome, Ionen oder Lichtquanten. Quantencomputer ermöglichen eine ganz neue, bislang unvorstellbare Informationsverarbeitung in Forschung, Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Anfänge des Quantencomputings reichen zurück bis in die 1980er Jahre. 1982 schlug der amerikanische Physiker Richard P. Feynman ein theoretisches Konzept für Quantencomputer vor. Mit diesem sollten sich auch quantenphysikalische Phänomene exakt simulieren und erforschen lassen. In den 1980ern wurden erste Algorithmen entwickelt und in den 1990ern entstanden erste -Quantencomputer mit einigen wenigen Qubits. Heute ist der internationale Wettlauf um konkrete Erfolge bei der Entwicklung und beim Bau von Quanten-computern in vollem Gange. US-Großkonzerne haben bereits experimentelle Rechner präsentiert, die auch von Forschungseinrichtungen wie der Fraunhofer-Gesellschaft und dem DLR genutzt werden.

Die rasante Welt der Qubits

Der neue Quantencomputer soll bisher unerreichte Rechenleistungen bringen und so neue wirtschaftliche und gesellschaftliche Möglichkeiten eröffnen sowie die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands steigern. Enorme Vorteile bringen Quantencomputer für die Daten- und Informationsverarbeitung, abhörsichere Verschlüsselungstechniken, künstliche Intelligenz, in der Materialforschung, der Medizin sowie in den Bereichen Energie und Verkehr, aber auch in der satellitengestützten Navigation und Kommunikation. Entsprechend haben die deutsche Wirtschaft und Industrie großes Interesse an Entwicklungen, Lösungen und Anwendungen aus dem Inland, schließlich verbleiben so Nutzungs- und Patentrechte in Deutschland.

Der unschlagbare Vorteil dieser neuen Technologie ist ihre Überlegenheit bei hochkomplexen Berechnungen. Ein Quantencomputer könnte diese in kurzer Zeit lösen, während konventionelle Hochleistungsrechner vielleicht sogar Jahre dafür benötigen würden. Besonders vielversprechend ist es, hochkomplexe Quantensysteme mit einer großen Zahl wechselwirkender Atome, Ionen und Elektronen exakt simulieren zu können. Das können Wirkstoffmoleküle in Medikamenten sein oder quantenchemische Vorgänge an Batterieelektroden sowie Brennstoffzellen. Das Ziel ist, aus den quantenmechanischen Abläufen auf atomarer Ebene Rückschlüsse auf makroskopische Eigenschaften zu ziehen. Dies soll unter anderem die künftige Entwicklung von neuen Medikamenten oder Hightech-Materialien beschleunigen. Quantencomputer können dadurch enorme Innovationen hervorbringen – von der Grundlagenforschung bis zur industriellen Anwendung.

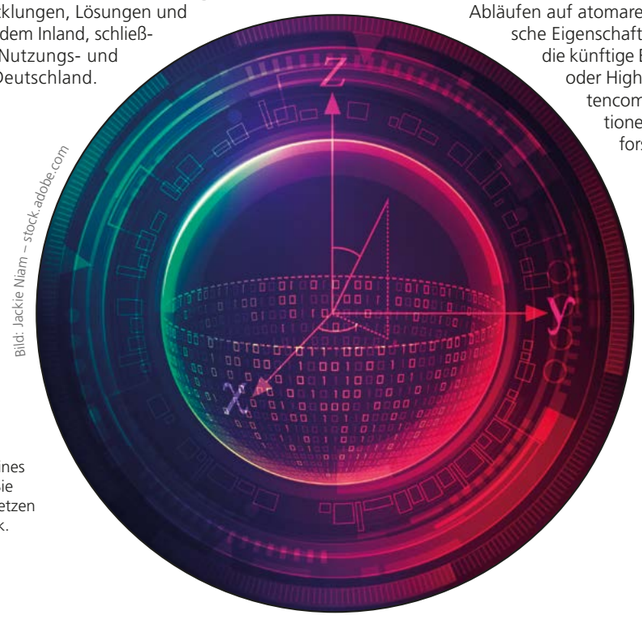


Bild: Jackie Niam – stock.adobe.com

Qubits sind die kleinste Rechen- und Informationseinheit eines Quantencomputers. Sie basieren auf den Gesetzen der Quantenmechanik.

BEREIT FÜR QUANTENSPRÜNGE

Drei Fragen an Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla, Vorstandsvorsitzende des DLR

Welche Potenziale hat Quantencomputing für Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft?

: In der heutigen Gesellschaft sind wir einer sehr großen und heterogenen Datenflut ausgesetzt. Deren effektive Verarbeitung erfordert enorme Rechenkräfte. Mit dem Quantencomputing werden wir uns auf diese Entwicklung einstellen: Diese Technologie hat das Potenzial, durch enorme Beschleunigung bei der Berechnung spezieller, zum Teil mit klassischen Computern nicht lösbarer Problemstellungen die Computerwelt zu revolutionieren.

Welche Rolle kommt dem DLR dabei zu?

: Das DLR wird auf seine Erfahrungen im Management von Großprojekten zurückgreifen und die Initiative Quantencomputing leiten. Das bedeutet, die vom BMWi bereitgestellten Mittel für die Finanzierung von Projekten in Industrie, Start-ups und Forschung zu verwenden und die Weiterentwicklung von Quantencomputern koordiniert voranzutreiben. Dies soll in den Bereichen Hardware, Software und natürlich auch den Anwendungen selbst erfolgen. Nur im Rahmen einer solchen Vernetzung und mit einer strategischen Koordination werden wir gemeinsam das Ziel erreichen, die ersten deutschen Quantencomputer-Prototypen zu entwickeln und zu erproben.

Welche Schwerpunkte wird das DLR setzen, um ein entsprechendes ökonomisches und wissenschaftliches Umfeld aufzubauen?

: Wir fokussieren uns darauf, unterschiedliche technologische Ansätze zu verfolgen, um diese evaluieren und für entsprechende Anwendungen einsetzen zu können. Nur so lassen sich die Vor- und Nachteile verschiedener Architekturen für Quantencomputer erforschen. Dafür werden wir das erforderliche Ökosystem erschaffen, in dem die richtigen Partner gute Voraussetzungen finden, um miteinander zu kooperieren, in dem sich Forschung, Industrie und Start-ups mit ihren Kompetenzen gegenseitig ergänzen und Deutschland im Bereich des Quantencomputings umfassende Kenntnisse aufbauen und größtmögliche Unabhängigkeit erreichen kann.

… und an Dr. Robert Axmann, Leiter der Abteilung Programmstrategie Raumfahrtforschung und -technologie

In welchen Anwendungsfeldern im Bereich Quantencomputing forschen die DLR-Institute und -Einrichtungen bereits heute?

: Das DLR hat in den letzten Jahren seine Kompetenzen und Infrastrukturen für das Quantencomputing deutlich ausgebaut. Neben den neu gegründeten Instituten und Einrichtungen forschen auch Institute, die bereits seit Längerem bestehen, in diesem Themenfeld: Es geht ihnen dabei primär um die Verwendung von Quantencomputern zur Verbesserung und Beschleunigung in der Modellierung, der Simulation und der Optimierung. Eine Vorreiterrolle spielen sicherlich auch unser Institut für Softwaretechnologie, das bereits seit 2015 an Algorithmen und Software für frühe Quantencomputer forscht, sowie unser Institut für Kommunikation und Navigation. Die Ressourcen des DLR reichen dennoch allein nicht aus, um Quantencomputing umfassend umsetzen zu können. Dies kann nun in Kooperationen innerhalb der Initiative stattfinden.

Die DLR-Quantencomputing-Initiative ist auf vier Jahre angelegt. Was sind die wichtigsten Ziele in diesem Zeitraum?

: Die Initiative bündelt alle Kräfte und Kompetenzen, um in diesem überschaubaren Zeitraum prototypische Quantencomputervarianten sowie deren Komponenten inklusive Anwendungen für wissenschaftliche, wirtschaftliche und sicherheitsrelevante Fragestellungen zu entwickeln. Eine Marktanalyse durch das DLR hat ergeben, dass dabei sowohl Hard- und Software als auch Anwendungen und die erforderliche Lieferkette berücksichtigt werden müssen.

Wie können sich interessierte Unternehmen, Start-ups oder Forschungspartner beteiligen?

: Das DLR wird – auf Basis einer Markterkundung – Ausschreibungen durchführen, auf die sich die Partner mit ihren Projekten bewerben können. Unsere Aufgabe ist es, zunächst die eingereichten Vorschläge zu evaluieren. Dann werden wir die verschiedenen Industrie- oder Start-up-Partner mit den Forschungseinrichtungen zusammenbringen, deren Ansätze und Ausrichtungen sich ergänzen. In der Regel erfolgt die Einbindung der Partner über die Beauftragung von Forschungs- und Entwicklungsleistungen, den Ankauf bereits existierender Forschungsergebnisse oder die gemeinsame Forschung an Innovationszentren gegen Entgelt.

MAßGEBLICH BETEILIGTE DLR-INSTITUTE UND -EINRICHTUNGEN

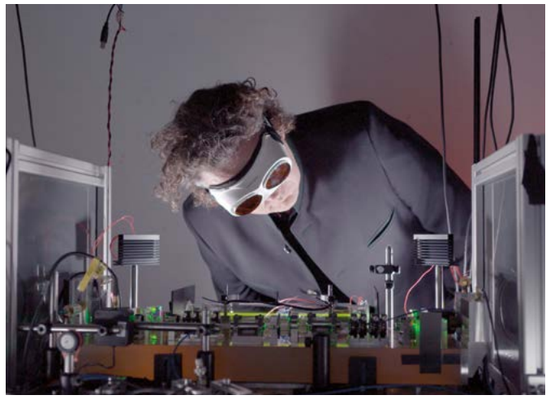
- Institut für Datenwissenschaften
- Institut für Kommunikation und Navigation
- Institut für KI-Sicherheit
- Institut für Quantentechnologien
- Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik
- Institut für Softwaretechnologie
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Werkstoff-Forschung
- Institut für Optische Sensorsysteme
- Galileo Kompetenzzentrum
- Raumflugbetrieb und Astronautentraining

Quantentechnologie im DLR

In der Quantencomputing-Initiative des DLR sollen Forschungseinrichtungen, Industrie und Start-ups zusammenarbeiten, um Hardware, Software und Anwendungen zu entwickeln. Dabei bringt das DLR seine vielfältigen Kompetenzen in der Quantenforschung ein. Fast ein Dutzend Institute und Einrichtungen forschen in diesem Bereich. Das Institut für Quantentechnologien in Ulm sowie das Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik in Hannover wurden gerade eröffnet. Sie beschäftigen sich unter anderem mit dem Einsatz von Quantensensoren auf der Internationalen Raumstation ISS. Im Galileo Kompetenzzentrum wird beispielsweise an hochpräzisen optischen Uhren für die satellitengestützte Navigation geforscht.

Bis zum Bau eines deutschen Quantencomputers wird die DLR-Initiative Quantencomputing auch hybride Systeme umsetzen: Hochleistungsrechner erhalten so bereits einzelne Komponenten von Quantencomputern, um die enorme Dynamik des Quantencomputings für die Forschung nutzen zu können.

Tim Suckau arbeitet als Redakteur im Bereich Kommunikation des DLR.



Die Quantenmetrologie ermöglicht Zeitmessungen von bisher unerreichter Genauigkeit – unter anderem für viel präzisere Navigationssysteme.

Mit der sogenannten Quantenkryptografie lassen sich Daten abhörsicher verschlüsseln. Das DLR erforscht unter anderem auch optische Kommunikationssysteme für Kleinsatelliten wie hier bei PIXL-1.

Quantentechnologien für den Weltraum – zum ganz irdischen Nutzen: Im Projekt BECCAL (Bose Einstein Condensate and Cold Atom Laboratory) untersucht das DLR gemeinsam mit der NASA ultrakalte Quantengase wie zum Beispiel Bose-Einstein-Kondensate auf der Erde und in Schwerelosigkeit auf der ISS.

Weiterführende Informationen zu diesem Thema finden Sie im DLR-Dossier Quantencomputing unter:

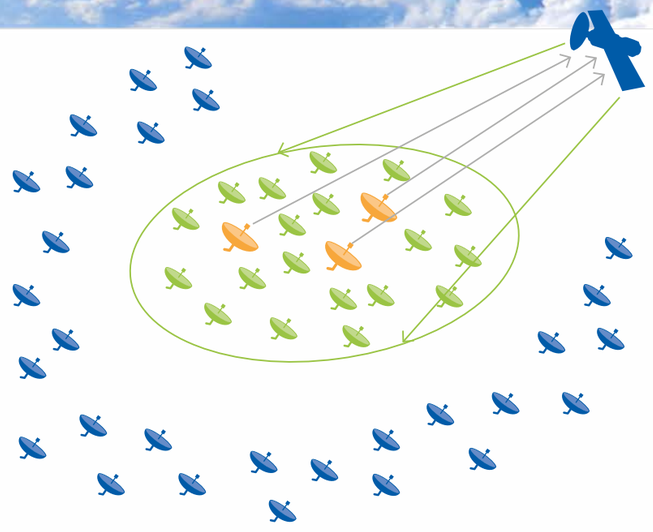
s.DLR.de/2K4CE

NEUE AUGEN FÜR DEN BLICK NACH OBEN

Ein Radarsystem beobachtet Weltraumobjekte

von Dr. Markus Peichl

Der Nachthimmel gehört längst nicht nur den Sternen: Mehr und mehr Satelliten umkreisen permanent die Erde. Ein besonders prominentes Beispiel ist die Starlink-Flotte der Firma SpaceX, die im letzten Jahr als leuchtende Perlenkette für Aufmerksamkeit sorgte. Doch in welchem physischen Zustand sich die einzelnen Satelliten befinden, ist oft nicht bekannt. Die Zustandsdaten der künstlichen Erdtrabanten sagen nichts darüber aus, ob ein Stück vom Solarpanel abgebrochen ist oder ein Brocken Weltraumschrott ein Loch in den Satellitenbus geschlagen hat. Häufig erfahren die Betreiberfirmen erst, dass der Satellit defekt ist, wenn Subsysteme ausfallen. Um den Zustand der Weltraumobjekte dauerhaft dokumentieren zu können und Ausfälle früh festzustellen, entwickeln DLR-Forscherinnen und -Forscher ein neues Konzept, das aus vielen Sender- und Empfängereinheiten aufgebaut ist und solche Himmelskörper dauerhaft mit höchster Qualität beobachten soll.



Sender
Empfänger monostatisch
Empfänger bi-/multistatisch

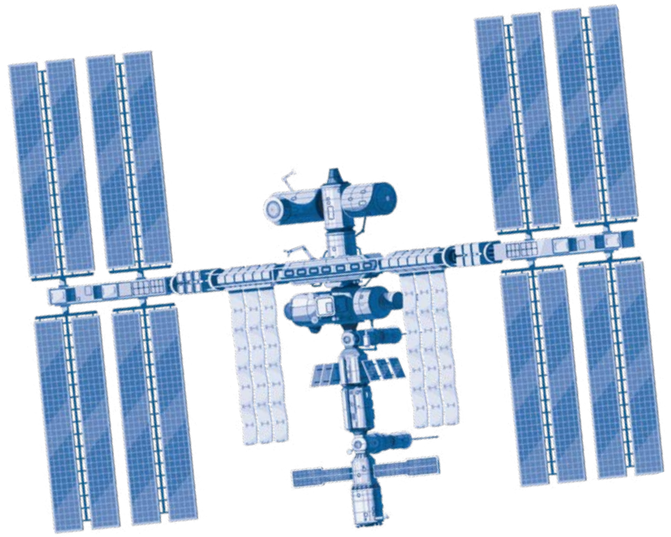
IoSiS (Imaging of Satellites in Space) besteht aus einem Radarverbundsystem mit verteilten Antennen: Wenige Sender (orange) mit kleiner Antennengröße im Bereich weniger Meter Durchmesser und viele räumlich verteilte Empfänger (grün und blau) mit sehr kleinen Antennendurchmessern im Meterbereich. Die grünen Empfänger sind so nah an den Sendeantennen positioniert, dass monostatische Aufnahmen entstehen, mit den blauen, entfernteren Empfängern werden multistatische Radaraufnahmen möglich.

Im Jahr 2021 blicken wir auf ein Jahrzehnt zurück, das in puncto Satellitenstarts neue Maßstäbe geschrieben hat: Während die Anzahl neuer Satelliten pro Jahr seit Sputnik 1957 mit unter 200 kaum zugenommen hat, starteten 2010 knapp 700 Satelliten ins All. 2020 waren es schon über 1.200. Tendenz steigend. Der exponentielle Zuwachs in den letzten Jahren steht im Zeichen der zunehmenden Privatisierung und Kommerzialisierung der Raumfahrt, der New-Space-Ära. Die Raumfahrt lag über Jahrzehnte hauptsächlich in den Händen weniger staatlicher Einrichtungen mit vorwiegend wissenschaftlichen und militärischen Interessen. Nach und nach erobern immer mehr Firmen und Start-ups die Raumfahrt für den zivilen Markt. Die Palette der Anwendungen ist breit gefächert und reicht von Erdbeobachtung über Rundfunk und Kommunikation bis zu Navigation. Der Weltraum wandelte sich sowohl zum Wirtschaftsraum als auch zur kritischen Infrastruktur. Das macht sich besonders im näheren Erdorbit (Low Earth Orbit, LEO) bis zu einer Entfernung von 2.000 Kilometern bemerkbar: Rund 7.000 künstliche und noch existente Weltraumobjekte wurden seither in den Weltraum gebracht. Dazu kommen noch die Altlasten der Raumfahrt in Form von unzähligen Schrottteilchen. Über 100 Millionen dieser Objekte sind zwischen einem Millimeter und einem Zentimeter groß, ein zunehmend ernsthaftes Problem.

Augen nicht nur für den Schrott

Sowohl die Schrottteilchen als auch insbesondere die funktionsfähigen Satelliten im Blick zu behalten, ist die Aufgabe der sogenannten Weltraumlageerfassung (Space Situational Awareness, SSA). Diese ist im Grunde so alt wie die Raumfahrt: Flugtrajektorien bei Raketenstarts vom Erdboden aus zu überwachen oder Objekte im Orbit zu lokalisieren, war von Beginn an nötig und förderte schon früh die Entwicklung entsprechender Instrumente. Heute existieren sowohl optische Systeme als auch Radarinstrumente zur Überwachung der Weltraumlage. Sie detektieren die Objekte und verfolgen ihre Bahnen. Radarabbildungen geben Aufschluss über ihre Größe, Bauform, ihr Material und über mögliche Drehbewegungen. Prominente Vertreter sind amerikanische Systeme der U.S. Air Force beziehungsweise des Massachusetts Institute of Technology (MIT) wie HUSIR, die deutschen Systeme GESTRA von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR und TIRA vom Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik sowie das System GRAVES der französischen Luftwaffe. Sie alle arbeiten mit sehr großen Antennen, die meist um die 30 Meter Durchmesser haben und niedrige Mikrowellenfrequenzen verwenden. So erzielen sie je nach Objektgröße Reichweiten von bis zu einigen Tausend Kilometern. Bis auf GRAVES arbeiten sie außerdem ausschließlich monostatisch, das heißt Sender und Empfänger befinden sich am selben Ort.

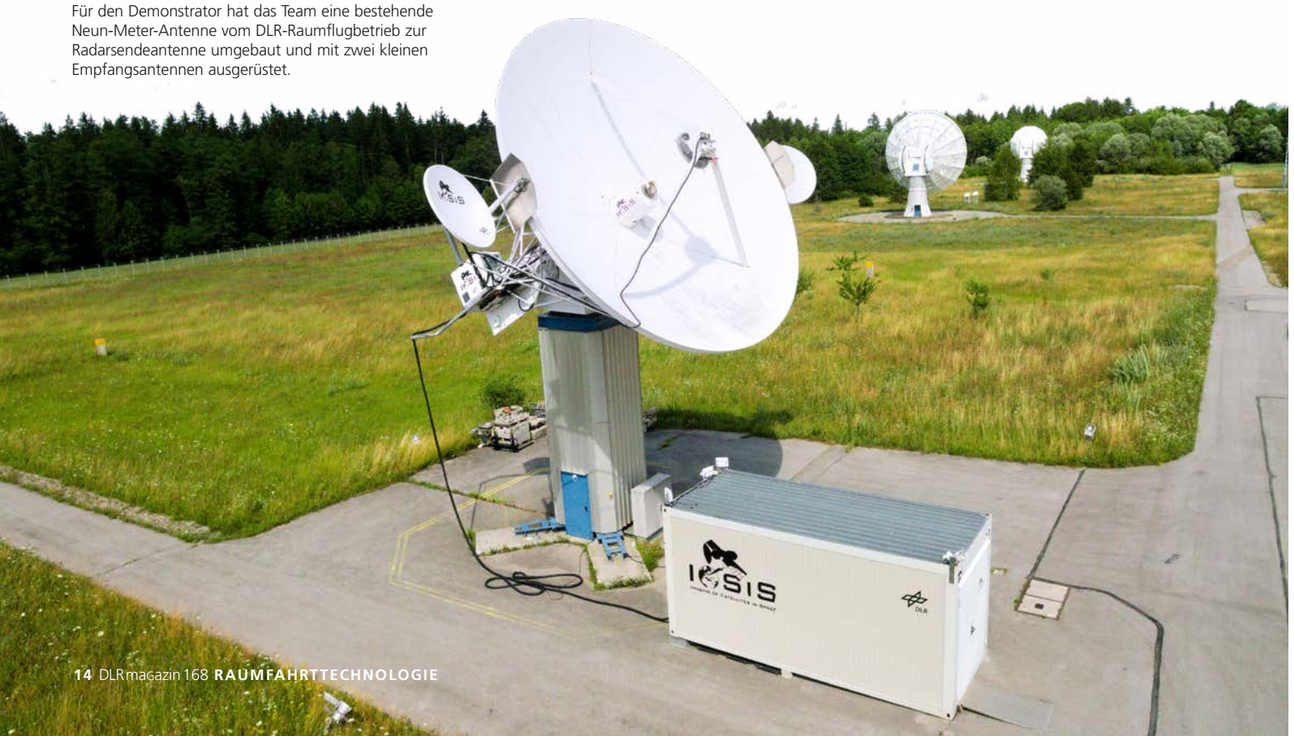
Neben der unerlässlichen Detektion und Bahnbestimmung von Schrottteilchen müssen insbesondere aktive Weltraumobjekte künftig auch hochgenau mit bildgebenden Verfahren klassifiziert, identifiziert und überwacht werden. So könnten Änderungen in ihrem Flugverhalten oder Alterungserscheinungen in ihrer Struktur früh erkannt und Funktionsausfälle vorausgesagt werden. Dies ist besonders interessant im Hinblick auf das Konzept von Responsive Space (Artikel im DLRmagazin 166): Defekte Satelliten sollen frühestmöglich erkannt und schnellstmöglich ersetzt werden, idealerweise innerhalb weniger Tage. Dies wäre eine Revolution in der Raumfahrt, in welcher der Ersatz von Satelliten aktuell noch Jahre dauert. Ferner sind in der Zukunft vermehrt auch gänzlich unbekannte Weltraumsysteme zu erwarten, die aber in einer professionellen Lageerfassung nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.



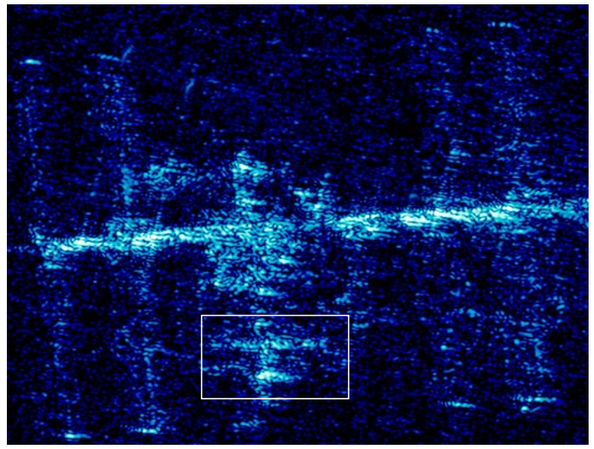
„Agiler" Antennenschwarm

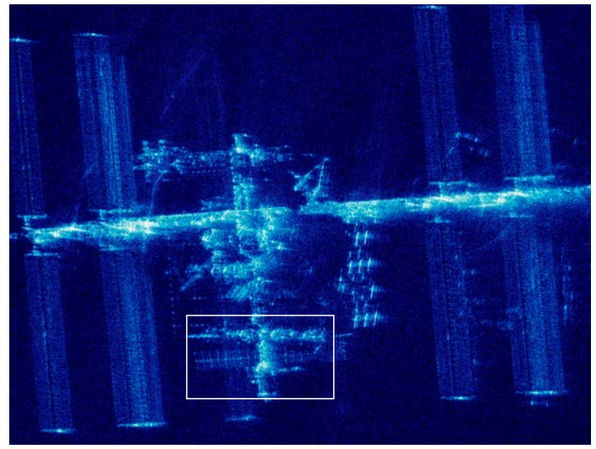
Da die heutigen Beobachtungssysteme nur begrenzt erweitert und verbessert werden können, entwickelt das DLR mit IoSiS (Imaging of Satellites in Space) ein neues Konzept für eine zukunftsorientierte radarbasierte Weltraumlageerfassung. Im Gegensatz zu heutigen Systemen ist IoSiS ein Experimentalsystem für ein zukünftiges Konzept, welches als ein Verbund von mehreren Instrumenten angelegt ist. Statt einzelner riesiger Antennen setzen die Forschenden auf den Einsatz eines „Schwarms" an Sende- und Empfangsanlagen: Es sollen mindestens ein bis mehrere Sender mit einer Antennengröße von unter zehn Metern Durchmesser mit zahlreichen räumlich verteilten Empfängern mit kleinen Antennendurchmessern im Meterbereich kombiniert werden. Das System arbeitet, im Gegensatz zu bisherigen Systemen, mit um die 100 Gigahertz in einem deutlich höheren Frequenzbereich. So erreicht es theoretisch eine räumliche Auflösung von wenigen Zentimetern. Indem alle Sender und Empfänger zusammenarbeiten, entstehen sowohl echte monostatische 3D-Abbildungen – von näher beieinanderstehenden Sendern und Empfängern – als auch multistatische Aufnahmen, bei denen Sender und Empfänger bezüglich des Beobachtungsobjekts einen großen Winkel einschließen. Multistatische Abbildungen zeigen Strukturen, die monostatischen Radaren oft verborgen bleiben.

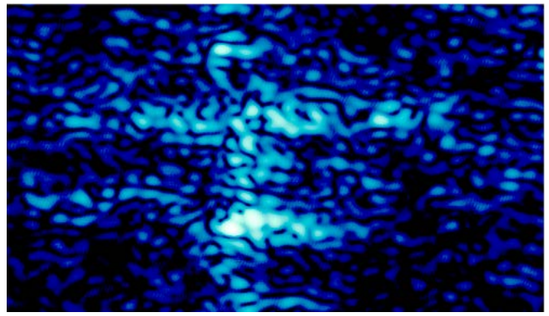
Der Demonstrator des Radarsystems IoSiS steht am DLR-Standort Weilheim und arbeitet im X-Band. Für den Demonstrator hat das Team eine bestehende Neun-Meter-Antenne vom DLR-Raumflugbetrieb zur Radarsendeantenne umgebaut und mit zwei kleinen Empfangsantennen ausgerüstet.

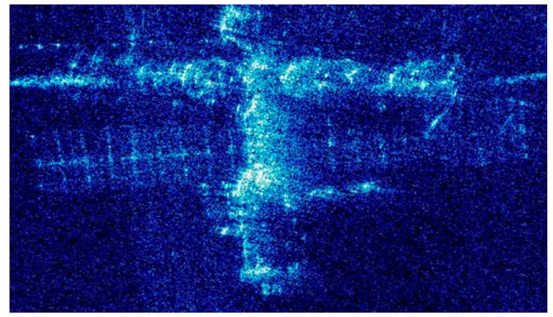


2017 betrug die Auflösung von IoSiS noch 50 Zentimeter (links), heute hat sie sich auf 5 Zentimeter verbessert (rechts). Die Breite der oberen Bilder entspricht in der Realität etwa 110 Metern, also der Länge der ISS. Der vergrößerte Bereich (untere Bilder) ist immer noch etwa 25 Meter breit.









Ein solches System mit sehr vielen Empfängern hat weitere Vorteile: Aufgrund der großen Menge lohnt sich hier die industrielle Fertigung. Heutige SSA-Systeme sind meist hochspezialisierte Sonderanfertigungen. IoSiS ist dagegen flexibel: Je nach finanziellen Möglichkeiten kann das Gesamtsystem Stück für Stück erweitert werden, wobei jeder zusätzliche Empfänger die gesamte Leistung steigert. Fällt ein Empfänger aus, wird er unaufwändig ausgetauscht. Moderne Hardware kann direkt in jeden neuen Empfänger integriert werden. Die aktuellen Systeme sind mit ihren großen Antennen recht unflexibel und können nur eingeschränkt mit neuer Technik aufgerüstet werden. Auch Genehmigungsverfahren für den Standort der etwa ein Kubikmeter kleinen IoSiS-Antennen sind einfacher als für die Großantennen aktueller Systeme, die bis zu dreißigtausend Kubikmeter und mehr groß sein können. Außerdem ist praktisch ausgeschlossen, dass das gesamte System auf einmal ausfällt.

Die aktuelle Weltraumlage aus Weilheim

Um das IoSiS-Konzept zu erforschen, hat ein Team vom DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme am Standort Weilheim einen ersten Demonstrator aufgebaut, der aus technischen Gründen aktuell noch mit etwa 10 Gigahertz betrieben wird. Er besteht aus einem Sender und zwei Empfängern. Das Radarsystem bildet Weltraumobjekte im nahen Erdorbit mit sehr hoher Auflösung ab. Es kann nahezu beliebige Signalformen verarbeiten. Seit der Demonstrator 2017 das erste Bild der ISS erstellte, hat das Team die Hard- und Software stetig weiterentwickelt. Hatten die Abbildungen vor vier Jahren noch eine Auflösung von 50 Zentimetern, erstellt das System heute Aufnahmen mit einer Auflösung von fünf Zentimetern. Damit können nicht nur kleinste Objekte und Details an Satelliten beurteilt, sondern auch altersbedingte Veränderungen an großen Strukturen erfasst werden.

Daneben kann IoSiS auch dafür eingesetzt werden, größere Objekte wie ausgediente Raketenstufen zu beobachten. Diese sind zwar recht einfach zu detektieren, erfordern aber eine genaue Zustandskontrolle. Je größer ein Objekt, desto rasanter „altert" es aufgrund der statistisch höheren Wahrscheinlichkeit von Kollisionen, durch die es deformiert wird oder Teile abfallen. Für die Lagebeurteilung ist es wichtig zu wissen, wenn aus einem großen zwei kleinere Teile Weltraumschrott geworden sind.

Echte Dimensionenvielfalt

Aktuell arbeitet das DLR-Team an dem neuen Konzept IoSiS-NG (Next Generation) und damit an einer verbesserten räumlichen Auflösung und der 3D-Fähigkeit. Mit herkömmlichen Verfahren der Radarinterferometrie werden 3D-Aufnahmen der Erdoberfläche erstellt. Dabei wird die dritte Dimension anhand der Phasendifferenzen von zwei Teilbildern berechnet. Diese Methode gerät allerdings bei sehr komplexen Objekten wie der ISS an ihre Grenzen. Die multistatischen Empfänger des IoSiS-Systems können hingegen Informationen aus verschiedenen Perspektiven empfangen. Auf dieser Grundlage können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dann eine echte 3D-Aufnahme erstellen. Aktuell ist das IoSiS-Experimentalsystem nur in Weilheim im Einsatz, es ist aber geplant, es sukzessive auch in ganz Deutschland in Betrieb zu nehmen.

Dr. Markus Peichl arbeitet als Gruppenleiter beim DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme und ist Projektleiter von IoSiS.

LIEBESERKLÄRUNG ANS ALL

Im Oktober startet der deutsche ESA-Astronaut Matthias Maurer zur ISS

von Elke Heinemann

3---2---1---0: ignition and lift off! – wird es hoffentlich im November 2021 aus dem Kontrollraum in Cape Canaveral in Florida zu hören sein. Dann ist alles wie geplant verlaufen und die Crew-3 befindet sich auf dem Weg zur Internationalen Raumstation ISS. An Bord der Dragon-Raumkapsel wird der ESA-Astronaut Matthias Maurer sein, zusammen mit den NASA-Astronauten Raja Chari, Thomas H. Marshburn und Kayla Barron. Maurer soll rund sechs Monate auf der Raumstation verbringen. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt ist in vielfältiger Weise in die Mission eingebunden: Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist für die Auswahl und Koordination der Experimente und Beiträge aus Deutschland verantwortlich. Ebenso führen DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler eigene Versuche durch. Und für solche, die im europäischen Columbus-Modul auf der ISS stattfinden, übernimmt das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum (GSOC) beim DLR in Oberpfaffenhofen die Planung und Durchführung.

Die Sonnenkollektoren der ISS, aufgenommen von ESA-Astronaut Thomas Pesquet auf seiner Alpha-Mission

Mit im Gepäck hat der gebürtige Saarländer und promovierte Werkstoffwissenschaftler jede Menge „Arbeitsaufträge“: Allein rund 35 deutsche Experimente stehen auf seinem Programm, zusätzlich wird er auch Versuche der ESA und NASA betreuen. Ihr Spektrum reicht von Grundlagenforschung bis hin zu anwendungsorientierter Wissenschaft. So werden beispielsweise fundamentalphysikalische Fragestellungen mittels sehr kalter Atome oder die Kristallisation verschiedener Betonmischungen untersucht. Andere Experimente testen Anwendungen nicht-invasiver Diagnostik oder neue antimikrobielle Oberflächen. Technologieversuche mit KI-unterstützten Assistenzsystemen sollen Möglichkeiten der Mensch-Maschine-Interaktion aufzeigen. Auf dem Missionsplan stehen auch zahlreiche biologische und humanphysiologische Tests – insbesondere zu den Auswirkungen von permanenter Schwerelosigkeit, erhöhter Strahlenbelastung und längerer Isolation auf den Menschen und seinen Metabolismus. Den Nachwuchs für die Raumfahrt zu begeistern und dadurch verstärkt in die naturwissenschaftlich-technischen Bereiche zu bringen, ist ein großes Anliegen des DLR und spiegelt sich auch bei dieser Mission wider. Hierfür wurde ein ganzes Paket an Maßnahmen zusammengestellt. Diese reichen von Mitmach-Experimenten über spezielle Wettbewerbe, bei denen Schulklassen Klimaschutzkonzepte erarbeiten sollen, bis hin zu Funkkontakten zur ISS mit Schulen.

Aller guten Dinge sind …

„3---2---1“: Diese Zahlen stehen im Zusammenhang mit Matthias Maurers Mission nicht nur für den Countdown zum Start, sondern auch für: **drei** europäische Astronautinnen und Astronauten in Folge auf der ISS – denn Matthias Maurer wird seinen französischen Astronautenkollegen Thomas Pesquet ablösen. Dieser befindet sich seit dem 23. April 2021 auf der Raumstation. Auf Maurer wird voraussichtlich im April 2022 Samantha Cristoforetti folgen, die italienische ESA-Astronautin; Matthias Maurer ist der **zweite** ESA-Astronaut, der an Bord einer SpaceX-Raumkapsel des kommerziellen NASA-Crew-Programms zur ISS fliegt, und er ist gleichzeitig der **erste** deutsche Astronaut, der das mit dieser Kapsel tut (außerdem ist es sein **erster** Raumflug).

Dieser Umstand hatte auch konkrete Auswirkungen auf die Dauer seiner Flugvorbereitung: Das Training für einen Start mit der Dragon-Kapsel dauert nur etwa eineinhalb statt der üblichen zwei Jahre für den Flug mit einer russischen Sojus-Kapsel. Überhaupt war Maurers Missionsvorbereitung alles andere als Routine, auch für das gemeinsame DLR-ESA-Team. Die Corona-Pandemie hatte natürlich auch Auswirkungen auf das Training – mit Maskenpflicht sowie einer frühzeitigen Reduzierung von Kontakten lange vor dem Start. Gerade in den isolierten Lebensraum auf der Raumstation dürfen keine Keime eingetragen werden.

Nächster Halt: Raumstation

Nach bis zu 24 Stunden Flug wird die Crew-3 die Internationale Raumstation erreicht haben. Dieses einzigartige Labor, das die Erde in rund 400 Kilometer Höhe mit einer Geschwindigkeit von knapp 29.000 Kilometern pro Stunde umkreist, bietet seit fast 21 Jahren Möglichkeiten für Wissenschaft und industrielle Forschung, die es so in keiner wissenschaftlichen Einrichtung auf der Erde gibt. Rund um die Uhr herrscht Schwerelosigkeit – das bedeutet: keine Sedimentation, kein Auftrieb und keine Konvektion. So können ganz neue Werkstoffe entwickelt und getestet werden. Die Daten gehen meist in Computermodelle ein, um beispielsweise industrielle Fertigungsprozesse auf der Erde zu optimieren. Auf der ISS haben die Umgebungsbedingungen aber auch gravierende Auswirkungen auf den menschlichen Körper: Muskeln und Knochen werden abgebaut, das Immunsystem wird geschwächt und die erhöhte Strahlung belastet die Gesundheit. Die Strahlung macht auch Mikroben gefährlicher, da diese schneller mutieren können. Um Astronautinnen und Astronauten zu schützen und ihre Gesundheit bestmöglich zu erhalten, müssen also entsprechende Maßnahmen entwickelt werden. Das ist gerade auch im Hinblick auf zukünftige Langzeitmissionen zum Mond oder Mars essenziell. Diese neuen Technologien können wiederum für Therapien, Training und Rehabilitation auf der Erde eingesetzt werden, das gilt auch für Entwicklungen in den Bereichen nicht-invasive Diagnostik, Telemedizin und Wearables.

Matthias Maurer (links) und sein französischer ESA-Astronautenkollege Thomas Pesquet beim gemeinsamen Training im SpaceX-Crew-Dragon-Cockpit in Kalifornien

Bild: ESA

Die ESA-Astronauten Matthias Maurer (links) und Thomas Pesquet in den USA vor einer SpaceX-Rakete

Für ihre Missionen auf der ISS haben sich Matthias Maurer und Thomas Pesquet teilweise gemeinsam vorbereitet und Trainingseinheiten im Astronautenzentrum der ESA in Köln, am Johnson Space Center der NASA in Houston, im SpaceX-Crew-Dragon-Cockpit in Kalifornien sowie in Russland, Japan und Kanada absolviert. Für Pesquet ist es bereits der zweite Aufenthalt auf der Raumstation. Wenn Maurer auf der Station eintrifft, ist der Franzose Kommandant der ISS. Dann werden die beiden Astronauten voraussichtlich eine Woche gemeinsam im All verbringen und dort deutsch-französische Experimente durchführen.

Erde, ISS, Mond und dann …

Als Namen für seine Mission hat Matthias Maurer „Cosmic Kiss“ gewählt. Er ist eine Liebeserklärung an den Weltraum, an die Raumstation als Verbindung zwischen Menschheit und Kosmos und an alles, was die Menschen dort tun und zukünftig tun werden. Im Zentrum des Logos steht die ISS, die über einen menschlichen Herzschlag mit Erde und Mond verbunden ist. Der Herzschlag soll die Leidenschaft und Neugier symbolisieren, die die Menschen bei der Erforschung des Weltalls antreibt, sowie die lebenswissenschaftlichen Experimente, die die Raumstation ermöglicht. „Cosmic Kiss“ steht auch für den Wert der partnerschaftlichen Erkundung des Weltraums mit Blick auf fernere Ziele wie Mond und Mars sowie für einen respektvollen und nachhaltigen Umgang mit unserem Heimatplaneten.

Elke Heinemann ist Redakteurin im Bereich Kommunikation des DLR.

DIE MISSION

Für das Logo der Mission hat sich Matthias Maurer von der Himmelsscheibe von Nebra (die älteste bekannte Darstellung des Nachthimmels) und den Datenträgern der Raumsonden Pioneer und Voyager (mit dem gesammelten Wissen über die Menschheit) inspirieren lassen. Sie stehen für die Faszination der Menschheit für den Weltraum und den Wunsch, mehr über die Entstehung des Lebens und das Universum sowie unseren Platz darin zu erfahren. Das Missions-Patch umfasst außerdem verschiedene kosmische Elemente wie die Erde, den Mond, die Sterngruppe der Plejaden und den Mars.

EDUCATION-PROGRAMM

Zu den Maßnahmen für Schulen gehört unter anderem die Aktion „Hand in Hand um die Welt“. Dabei haben schon im Vorfeld der Mission über 1.000 Grundschulkinder „Klassen-Selfies“ gemalt, die teils zu einem zehn Meter langen Bilderstreifen zusammengefügt, teils in elektronischer Form gespeichert mitfliegen werden. Außerdem wird der KI-Assistent CIMON-2 Fragen von Schulklassen beantworten und junge Zuschauerinnen und Zuschauer zusammen mit Maurer zu einer Besichtigungstour durch die ISS einladen. Beim Schulwettbewerb der Raumfahrtagentur „Beschützer der Erde – Space for Change“ werden kreative Ideen zum Schutz des Klimas gesucht. Schülerinnen und Schüler im Alter von 12 bis 14 Jahren sollen mithilfe von Erdbeobachtungsdaten nachhaltige Projekte zum Schutz der Umwelt entwickeln.

COLUMBUS-KONTROLLZENTRUM

Für alle Experimente, die im europäischen Columbus-Labor auf der Internationalen Raumstation ablaufen, ist das Columbus-Kontrollzentrum (Col-CC) im Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum (German Space Operations Center, GSOC) beim DLR in Oberpfaffenhofen zuständig. Im GSOC arbeiten DLR und ESA eng zusammen und stehen in permanentem Kontakt mit den anderen Kontrollzentren auf der Welt und den Astronautinnen und Astronauten auf der ISS. Lange vor der Mission beginnt hier die Planung und Einbindung neuer Versuche. So bildet es die Nahtstelle zwischen den Columbus-Experimentanlagen auf der ISS sowie den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in den europäischen Nutzerkontrollzentren.

FRAGEN ÜBER FRAGEN

Auf welchen Moment während Ihrer Mission freuen Sie sich am meisten?
: Den Start und die ersten zehn Minuten während des Ritts auf der Powerrakete. Auf der ISS dann auf die ersten 90 Minuten in der Cupola, unserem Weltraumfenster auf der ISS: Eine ganze Weltreise lang möchte ich die Schönheit unseres Planeten voll und ganz in mich aufsaugen und einwirken lassen.

Was bedeutet KI5KFH?
: Dieser Zungenbrecher ist mein Funkername auf der ISS. „Space-Pirate“ wäre mir lieber ;-)

Welches Experiment reizt Sie besonders?
: Als Werkstoffwissenschaftler schlägt mein Herz besonders für die vielen Materialexperimente, die wir im All durchführen. Ob im Schwebeschmelzofen zur Untersuchung des Erstarrungsverhaltens von Metallen und der Gewinnung wichtiger Materialdaten im Übergang von flüssiger Metallschmelze zur festen Legierung. Aber auch die vielen Experimente im Bereich der Medizin: Ziel ist es, die Veränderungen im menschlichen Körper zu verstehen, die in der Schwerelosigkeit auftreten und oft typischen Krankheitsbildern auf der Erde ähneln. Hierdurch können wir viele wichtige Erkenntnisse für die Behandlung von irdischen Krankheiten gewinnen.

Wie geht man sich in einer engen Bude aus dem Weg?
: Die ISS ist eigentlich sehr groß und man kann sich den ganzen Tag alleine beschäftigen, falls dies gewünscht ist. Im Herbst werden zwei russische Module hinzukommen und die Station noch einmal vergrößern.

Was fehlt noch auf der ISS (wenn Platz und Geld keine Rolle spielen)?
: Eine Dusche, eine Waschmaschine, ein ordentlicher Pizza-/Backofen (wir wärmen Essen nur auf 70 Grad Celsius auf), eine Mikrowelle fürs schnelle Aufwärmen von Essen, eine Kaffeemaschine mit Milchschaum, eine Joghurt-Maschine. Langfristig: ein 3D-Drucker für richtig gutes Essen.

Was war der verrückteste Moment während Ihrer Astronautenausbildung?
: Als ich nach zwei Wochen „Überlebenstraining auf See“ in China vor der letzten Übung plötzlich gefragt wurde, ob ich überhaupt schwimmen könne.

Auf welches Jahr würden Sie Ihre Zeitmaschine einstellen und warum?
: 1.000 Jahre vorwärts und dann mal schauen, was bis dahin alles über das Universum verstanden wurde und ob unser Planet Erde noch bewohnbar ist.

Zu welchem Ort im Universum würden Sie gerne reisen?
: Zum nächsten erdähnlichen Exo-Planeten.

Was wären Ihre ersten Worte auf einem neuen Planeten?
: „Wir kommen in Frieden, stellvertretend für die ganze Menschheit.“ (OK, das ist von Apollo 11 geklaut, aber irgendwie zeitlos gültig)

Warum ist es wichtig, dass wir uns um das All kümmern?
: Der Weltraum ist eine wichtige Ressource, ähnlich wie die Hochsee-Meere. Wir benötigen Regeln und Maßnahmen für den Umgang mit ihnen, aber auch zum Schutz dieser Ressource, um den Generationen nach uns den Zugang und die Nutzung zu ermöglichen. Unsere Wirtschaft und unser Alltagsleben sind bereits eng mit dem Einsatz von Weltraum-Systemen verknüpft – sei es durch Telekommunikation, Wetter oder Positionsdaten. Diese satellitenbasierten Systeme sind kritisch für unsere Infrastruktur und müssen geschützt werden.

Regelmäßige Updates zur Mission auch auf den Social-Media-Kanälen des DLR:

@DLRde @germanaerospacecenter @DLR_de

Bild: ESA/N.Fischer/Hintergrund: Sabine Grothues

Matthias Maurer ist seit Juli 2015 Mitglied im Astronautenkorps der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Im September 2018 schloss er die 18-monatige Grundausbildung ab. Im Dezember 2020 wurde er offiziell für seine erste Mission zur ISS nominiert. Seine Mission trägt den Namen „Cosmic Kiss“. Der im saarländischen St. Wendel geborene Maurer ist Werkstoffwissenschaftler und promovierte 2004 über das Thema „Aluminiumschaum-Spritzschichtverbunde für den Leichtbau“.

Bild: Lockheed Martin

REISE IN DAS REICH DER TROJANER

Die höchst ungewöhnliche NASA-Asteroidenmission Lucy

von Ulrich Köhler

Anfang 2021 wurde das Auffächern der beiden Solarpanels von 7,3 Metern Durchmesser unter Weltraumbedingungen getestet.

Wie entstand das Sonnensystem? Wie haben sich die Planeten gebildet, derart vielgestaltig – so unterschiedlich, dass keiner dem anderen gleicht? Auch wenn die Planetenforschung inzwischen durchaus eine Ahnung davon hat, wie sich vor viereinhalb Milliarden Jahren Materie in einer die junge Sonne umkreisenden Scheibe aus Gas und Staub zu ersten Protoplaneten fügte: Es sind noch so viele Fragen offen. Nicht zuletzt jene nach dem Ursprung des Lebens auf der Erde. Woher stammt das Wasser? Wo befanden sich die Bausteine des Lebens? Waren sie von Anfang an auf der Erde vorhanden oder wurden sie von kleinen Körpern, Asteroiden und Kometen, erst dorthin gebracht? Im Oktober wird sich die NASA-Raumsonde Lucy auf eine zwölfjährige Reise machen, um viele dieser Fragen zu beantworten. Das DLR ist mit dabei.

Bild: NASA

Im Labor des Goddard Space Center der NASA in Greenbelt, Maryland, wird an L'Ralph gearbeitet, dem kompliziertesten Instrument der Lucy-Mission. Es besteht aus einer Kamera, die Farbbilder aufnehmen wird, und einem Infrarotspektrometer.

Lucys Ziel sind die sogenannten Trojaner-Asteroiden des Jupiter, des größten Planeten im Sonnensystem. Dabei handelt es sich um kleine Körper von bis zu 250 Kilometer Durchmesser, die in Regionen angesiedelt sind, die auf der Jupiterbahn dem Planeten in einem festen Abstand vorauseilen beziehungsweise nachfolgen. Die Punkte, oder genauer die „Punktwolken", an denen dies möglich ist, werden Lagrange-Punkte genannt. Es sind die Positionen im Raum eines Zweikörpersystems – wie Sonne und Erde oder eben Jupiter –, an denen sich Anziehungs- und Fliehkräfte die Waage halten. Die insgesamt fünf Punkte, von Lagrange-1 (L1) bis Lagrange-5 (L5), sind nach dem italienisch-französischen Astronomen und Mathematiker Joseph-Louis de Lagrange (1736–1813) benannt. Zwei von diesen Lagrange-Punkten, L4 und L5, sind immer stabil und bilden ein gleichschenkliges Dreieck mit 60-Grad-Winkeln zu Sonne und Jupiter. Es ist das erste Mal, dass Körper, die an Lagrange-Punkten entlang einer Planetenbahn um die Sonne kreisen, Besuch von einer Raumsonde bekommen; in der Planetenforschung hatte dieses Ziel seit Jahren höchste Priorität.

Die etwas anderen Asteroiden

Längst sind Asteroiden astronomisches Allgemeingut. Allerdings erfolgte die erste Sichtung erst vor 220 Jahren. Giuseppe Piazzi fiel in der Nacht vom 1. auf den 2. Januar 1801 auf der Suche nach einem Planeten in der ungewöhnlich großen „Lücke" zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter im Sternbild Stier ein „Stern" auf, dessen Position sich in den Folgenächten änderte. Der Leiter der Sternwarte im sizilianischen Palermo hatte den Asteroiden Ceres entdeckt, den größten Körper im weiten Raum zwischen den beiden Planeten.

Bald folgten weitere Entdeckungen. Heute sind im Asteroiden-Hauptgürtel mehr als eine Million von kleinen Körpern bekannt. Sie werden als Überbleibsel der Planetenentstehung interpretiert: Trümmer aus Gestein, Metallen und – in den weiter von der Sonne entfernten Zonen – auch Eis, die sich durch die störende Gravitation Jupiters nicht zu einem Planeten zusammenfügen konnten. Die unzähligen Krater auf Mars, Mond oder Merkur zeigen uns, dass der Riesenplanet, der zweieinhalbmal so viel Masse vereint wie alle anderen Planeten zusammengenommen, immer wieder Körper aus dem Hauptgürtel ins innere Sonnensystem lenkt. Dort kollidieren diese mit den erdähnlichen Planeten und hinterlassen ihre Krater, allerdings vor Milliarden von Jahren viel mehr als heute. Auf der Erde sind diese Spuren übrigens durch die dynamischen Oberflächenprozesse fast alle ausgelöscht. Gleichzeitig zwingt Jupiter das Gros der Asteroiden auf stabile Bahnen, was dem Leben auf der Erde vielleicht sogar das Überleben sicherte.

Die Raumfahrt macht es möglich, Asteroiden aus der Nähe zu beobachten. Die Sonde Galileo passierte auf dem Weg zum Jupiter die Asteroiden Gaspra (1991) und Ida (1993). Zwischen 2011 und 2018 beobachtete der NASA-Orbiter Dawn den Asteroiden Vesta und die inzwischen zu einem Zwergplaneten „beförderte", fast tausend Kilometer große Ceres aus nächster Nähe über viele Monate aus Umlaufbahnen – mit einer vom DLR und der Max-Planck-Gesellschaft entwickelten Kamera. Den beiden japanischen Hayabusa-Sonden gelangen sogar Landungen und Probennahmen auf Asteroiden, gegenwärtig befindet sich die NASA-Sonde OSIRIS-REx mit Staub des Asteroiden Bennu an Bord auf dem Rückweg zur Erde.

Zeitkapseln aus dem äußeren Sonnensystem

Nun also wird Lucy ihre Reise zu den Jupiter-Trojanern antreten. Dafür gibt es einen triftigen wissenschaftlichen Grund: Es wird vermutet, dass diese Trojaner im Gegensatz zu den Hauptgürtel-Asteroiden weniger mit den Körpern des inneren Sonnensystems gemein haben, sondern mehr mit den äußeren Regionen unseres Planetensystems. Mit Jupiter, in fast fünffacher Erdentfernung zur Sonne, beginnt das

Bild: SwRI

Künstlerische Darstellung der Raumsonde Lucy beim Vorbeiflug an einem der Trojaner-Asteroiden

Lucy wird nach zwei Erdvorbeiflügen die „Trojaner“ am Lagrange-Punkt 4 im April 2025 erreichen. Dort werden die Asteroiden Eurybates, Polymele, Leucus und Orus aus der Nähe observiert, ehe es 2029 zurück zur Erde geht. Die Sonde wird dort 2030/31 erneut beschleunigt und zum L5-Punkt fliegen, um 2033 den Asteroiden Patroclus zu untersuchen.

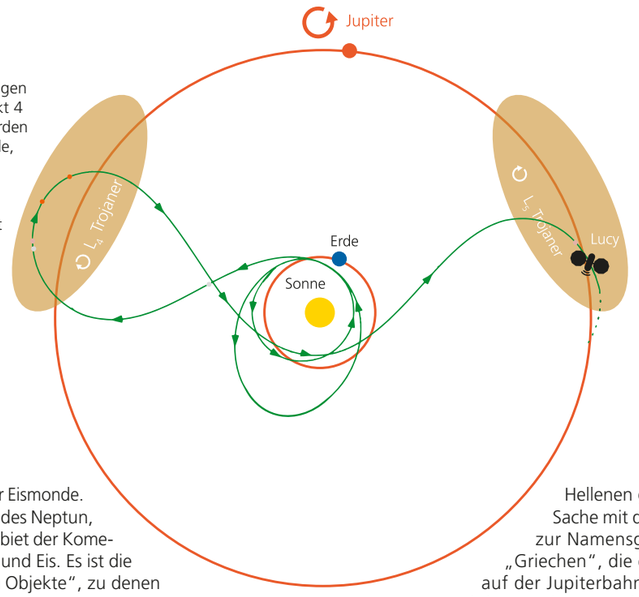


Bild: Southwest Research Institute

Reich der Gasplaneten und ihrer Eismonde. Noch weiter draußen, jenseits des Neptun, erstreckt sich das Ursprungsgebiet der Kometen, jenen Körpern aus Staub und Eis. Es ist die Zone der „transneptunischen Objekte“, zu denen auch Pluto gezählt wird.

So wie die Hauptgürtel-Asteroiden Reste der Bildung der vier erdähnlichen Planeten sind, dürften die Jupiter-Trojaner Überbleibsel des Ausgangsmaterials der äußeren Planeten sein, mit Ursprüngen in ganz unterschiedlichen Sonnenentfernungen. Wie die Kometen sind diese Asteroiden 4,5 Milliarden Jahre alte „Zeitkapseln“ jener Äonen, als alle Planeten entstanden. Möglicherweise enthalten sie sogar organische Moleküle aus Kohlenstoff und Wasserstoff, die von dort ins innere Sonnensystem und dadurch auf die Erde gelangten. Substanzen, die bei der Entstehung von Leben vor fast vier Milliarden Jahren eine wichtige Rolle gespielt haben könnten. Oder „Tholine“, rotbraune organische Stickstoffverbindungen, wie sie auf Pluto und seinem Begleiter Charon gefunden wurden. Bislang wurden die Trojaner nur mit Teleskopen beobachtet. Das ist schon schwer genug, denn sie bestehen aus Material, das schwarz wie Holzkohle ist, und sind dazu noch sehr viel weiter von der Erde entfernt als die Hauptgürtel-Asteroiden. Aber schon diese Untersuchungen zeigten, dass die Gruppe der Trojaner ganz andere Charakteristiken haben muss.

Bis heute sind knapp zehntausend Jupiter-Trojaner bekannt. Allerdings wird vermutet, dass noch viel mehr existieren. Die Zahl der Körper von über einem Kilometer Größe dürfte an die Million und damit an die Menge der Asteroiden im Hauptgürtel heranreichen. Der Heidelberger Astronom Max Wolf (1863–1932) entdeckte 1906 den ersten Trojaner auf der Jupiterbahn. Er benannte ihn nach Achilles, dem vermeintlich unbesiegbaren griechischen Helden aus dem mythischen Kampf der Hellenen gegen Troja (wäre da nicht die Sache mit der Ferse gewesen!). So kam es zur Namensgebung der Trojaner, mit den „Griechen“, die ein „Heerlager“ am L4-Punkt auf der Jupiterbahn bilden und ihm vorauseilen, und den „Trojanern“, deren „zu verteidigende Stadt“ Troja am L5-Punkt liegt. Natürlich stand Homers Epos „Die Ilias“ Pate für die Namensgebungen. Jupiter sorgt durch seine Gravitation für eine gewisse Dynamik in (aber nicht zwischen) beiden Lagern. Dieses Kommen und Gehen ist aber bislang noch nicht gut verstanden.

Reise ins Unbekannte auf einem Zufallskurs

Die NASA wählte Lucy 2017 als Mission der erfolgreichen Discovery-Klasse aus, zusammen mit einer weiteren Asteroidenmission namens Psyche. Letztere wird im August kommenden Jahres auf eine Reise zum 220 Kilometer großen Hauptgürtel-Asteroiden Psyche starten, einem Körper, der fast ausschließlich aus Metall besteht. Auch der Name Lucy ist nicht, wie so oft im NASA-Duktus, eine Abkürzung, sondern bezieht sich auf einen der wichtigsten Funde der Menschheitsforschung: den des als „Vormenschen“ bezeichneten, 3,2 Millionen Jahre alten Teilskeletts des *Australopithecus afarensis* in Äthiopien. Lucys Entdecker Donald Johanson feierte am Abend jenes Novembertages 1974 mit seiner Mannschaft ein ausgelassenes Fest, bei dem der damals wie heute populäre Song der Beatles immer wieder im Kassettenrekorder lief: Lucy in the Sky with Diamonds. Über die Bedeutung der Anfangsbuchstaben der drei Hauptwörter wird bis heute spekuliert; das Skelett jedenfalls hatte seinen Namen weg. Mit ihm wurden die Anfänge der Menschheit entschlüsselt. Auch die Raumsonde dieser NASA-Mission soll im übertragenen Sinne dazu beitragen, die Anfänge des Sonnensystems zu entziffern.

Bei der Mission Lucy kommen ungewöhnliche Momente zusammen: Nach dem Start der anderthalb Tonnen schweren Raumsonde wird sie zweimal an der Erde Schwung holen und sich dann auf den Weg zu ihrem ersten Ziel machen: der nach dem Lucy-Entdecker benannte, knapp vier Kilometer große Asteroid 52246 Donaldjohanson im Hauptgürtel. Johanson, Jahrgang 1943, ist noch heute Professor an der Arizona State University. Beim Vorbeiflug werden die Instrumente und Abläufe getestet, aber Donaldjohanson ist auch von wissenschaftlichem Interesse, gehört er doch einer seltenen Klasse von Asteroiden an. Erst nach diesem Besuch wird sich Lucy der Jupiterbahn und dem L4-Punkt mit den „Hellenen“ nähern. Hier sind zwischen 2025 und 2028 fünf nahe Vorbeiflüge geplant, gleich als Erstes an Eurybates, benannt nach dem Herold des Odysseus, und dessen Mond Queta. Danach geht es – ein Novum in der Raumfahrt – von der Jupiterbahn zurück zur Erde zum erneuten Schwungholen für den neuen Kurs. Nun wird Lucy die „Trojaner“ am L5-Punkt besuchen und dort das 122 Kilometer große Binärsystem Patroclus und Menoetius untersuchen.

Danach, 2033, endet die Mission offiziell. Bis dahin wird Lucy dreieinhalb große Schlingen um die Sonne und vier Milliarden Kilometer zwischen den Bahnen von Erde und Jupiter unterwegs gewesen sein. Das Team spricht freimütig von einer „opportunistischen Flugbahn“, die sich anhand der technischen Möglichkeiten so ergeben hat und glücklicherweise Vorbeiflüge an insgesamt sieben der ursprünglichsten Körper des Sonnensystems ermöglichen wird. Das verspricht eine ungemein reiche wissenschaftliche Ausbeute an einer Klasse von Körpern, die entscheidende Antworten auf große Fragen zur Frühzeit der fernen, äußeren Planeten geben könnten, aber auch Erkenntnisse über die Frühgeschichte der Erde liefern dürften.

Ulrich Köhler arbeitet als Planetengeologe am DLR-Institut für Planetenforschung und ist dort auch für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig. In seinen mehr als 30 Jahren beim DLR erlebte er, wie Asteroiden immer wichtiger für die Sonnensystemforschung wurden.

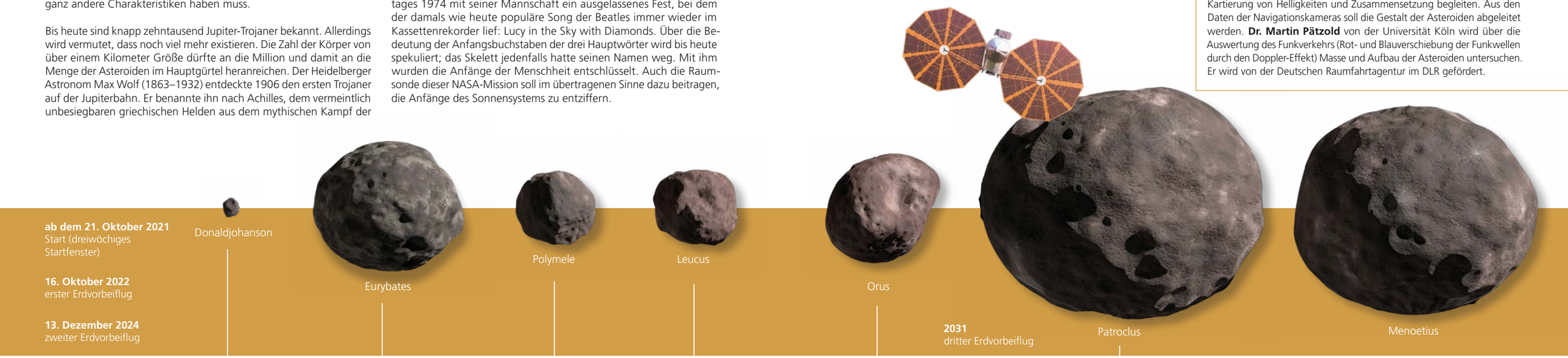
DIE NASA-DISCOVERY-MISSION LUCY

Lucy wird von Lockheed Martin Space in Denver, Colorado, gebaut. Die Startmasse beträgt 1.550 Kilogramm, davon 729 Kilogramm Treibstoff. Trägerrakete wird eine Atlas V 401 sein. Die Energiegewinnung erfolgt durch zwei Solarpanels, die in der größten Sonnenentfernung von etwa 1,4 Milliarden Kilometern noch 504 Watt erzeugen – ein Rekord. Die Mission wird vom Goddard Space Flight Center der NASA gesteuert. Die wissenschaftliche Leitung liegt bei Harold F. Levison vom Southwest Research Institute in Boulder, Colorado. Die wissenschaftliche Nutzlast besteht aus einer hochauflösenden panchromatischen („Schwarz-Weiß“-) Kamera, einer Multispektralkamera, einem abbildenden Infrarotspektrometer sowie einem Spektrometer zur Messung der Wärmeabstrahlung der Asteroiden.

Bild: SWRI/J.Spencer

Mitglieder des Lucy-Science-Teams, darunter auch DLR-Planetenforscher Stefano Mottola (rechts neben dem Pfeiler, hinter Teamleader Harold Levison mit Bart) fanden am 4. Januar 2020 heraus, dass der Zielasteroid Eurybates einen kaum einen Kilometer großen Trabanten hat: Queta.

Das DLR ist mit **Dr. Stefano Mottola** vom Institut für Planetenforschung vertreten. Er ist Mitglied des Wissenschaftsteams von Lucy. Mottola war maßgeblich an den Missionen Rosetta, Dawn und Hayabusa2/MASCOT beteiligt und untersucht die Lichtkurven von Asteroiden intensiv mit erdgestützten Teleskopen. Der Planetenforscher mit Schwerpunkt Asteroiden und Kometen unterstützt Lucy durch Teleskopbeobachtungen der Zielasteroiden zur Optimierung der Vorbeiflüge. Ferner wird er die Mission durch Berechnungen von Körperformen, Bildmosaike, Atlanten und die Kartierung von Helligkeiten und Zusammensetzung begleiten. Aus den Daten der Navigationskameras soll die Gestalt der Asteroiden abgeleitet werden. **Dr. Martin Pätzold** von der Universität Köln wird über die Auswertung des Funkverkehrs (Rot- und Blauverschiebung der Funkwellen durch den Doppler-Effekt) Masse und Aufbau der Asteroiden untersuchen. Er wird von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR gefördert.



(künstlerische Darstellung)

ab dem 21. Oktober 2021
Start (dreiwöchiges Startfenster)

16. Oktober 2022
erster Erdvorbeiflug

13. Dezember 2024
zweiter Erdvorbeiflug

20. April 2025
52246 Donaldjohanson (Ø ~ 4 km)

12. August 2027
3548 Eurybates (Ø ~ 72 km) mit Queta (Ø < 1 km)

15. September 2027
15094 Polymele (Ø ~ 21 km)

18. April 2028
11351 Leucus (Ø ~ 42 km)

11. November 2028
21900 Orus (Ø ~ 51 km)

2031
dritter Erdvorbeiflug

~ 2. März 2033
617 Patroclus (Ø ~ 122 km) und Menoetius

Bei noch vorhandenem Treibstoff wäre 2039 eine Rückkehr in die L4-Asteroidenwolke möglich; ansonsten stabiler sechsjähriger Sonnenorbit zwischen Erdbahn und den Trojanern für 100.000 Jahre

STRATEGIEN FÜR WENIGER DEZIBEL

Kein Fluglärm mehr durch elektrische Flieger – ist das möglich?

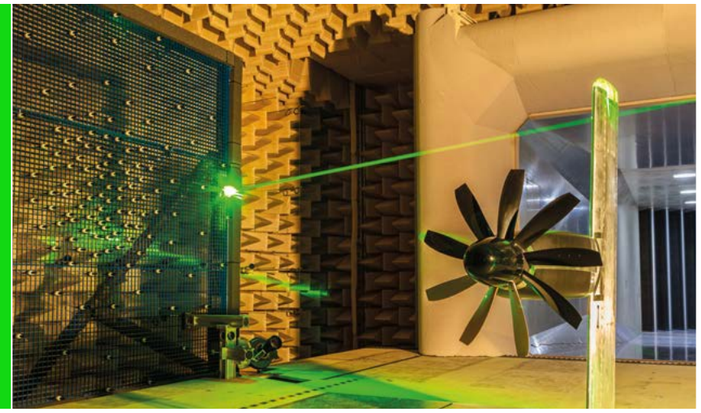
von Yvonne Buchwald

Bild: Žana Lozeljić

Viele Flugplätze kennen das Problem: Die Nachbarschaft beschwert sich über den Fluglärm. Der Krach, den Flugzeuge beim Start und bei der Landung verursachen, führt daher zu hohen Kosten für Lärmschutzmaßnahmen bei Flughafenanrainern, zu Nachtflugverboten und anderen Einschränkungen des Flugbetriebs. Forscherinnen und Forscher am DLR suchen daher nach Lösungen, das Fliegen der Zukunft möglichst leise zu gestalten.

Am Modell eines hybrid-elektrischen Flugzeugs mit verteilten Propeller-Antrieben erklärt Dr. Olaf Brodersen im Akustischen Windkanal Braunschweig, wie künftige Flugzeuge aussehen könnten.

Dr. Olaf Brodersen ist Wissenschaftler und arbeitet am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Braunschweig. Wenn er über die Mobilität der Zukunft visioniert, zählen für ihn Forschungsergebnisse und Fakten: „Beim Thema Lärm brauchen wir uns nichts vorzumachen“, sagt er. „Ein Elektro-Antrieb allein macht ein Fahrzeug – egal ob auf der Straße, in der Luft oder auf der Schiene – nicht vollkommen leise.“ Als Forscher demonstriert er das gleich einmal und fährt mit seinem E-Auto auf die Autobahn.



Um Flugzeuge leiser zu gestalten, werden in Windkanälen wie dem Niedergeschwindigkeitswindkanal Braunschweig Versuche mit aufwändigster Messtechnik durchgeführt.

Bereits ab einer Geschwindigkeit von etwa 60 Kilometern pro Stunde ist der Wagen genauso laut wie jeder andere Pkw: Nun dominiert das Reifengeräusch. Und so geht es weiter. Denn bei über 100 Stundenkilometern produziert – wie bei herkömmlichen Fahrzeugen auch – die umströmende Luft das Außengeräusch.

Je schneller, desto lauter

Im Büro angekommen fährt Brodersen seinen Rechner hoch. „Ein Flugzeug“, beginnt er, „ist natürlich noch deutlich schneller unterwegs als ein Auto.“ Futuristisch anmutende Flugzeugkonfigurationen erscheinen auf dem Bildschirm. „Schadstofffrei, klimaneutral und möglichst leise zu fliegen, sind daher für die Luftfahrt weitaus größere Herausforderungen als für den Straßenverkehr.“ Eine Herausforderung, der sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Institut täglich stellen. Bereits seit einigen Jahren befassen sie sich hier auch mit der Erforschung elektrischer und hybrid-elektrischer Flugzeug-Konzepte.

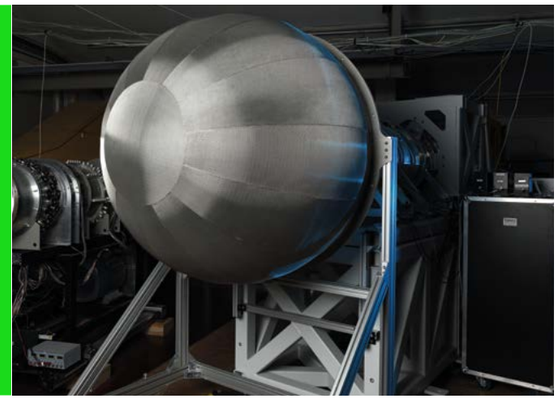
Wie könnte das elektrische oder hybrid-elektrische Flugzeug der Zukunft aussehen? Wie müsste es entworfen werden, um möglichst schadstofffrei, leise, sicher und effizient zu fliegen? „Ein Potenzial dieser Form des Fliegens kann für bestimmte Flugzeuggrößen durchaus vorhanden sein. Im DLR entwickeln wir hierfür zahlreiche neue Technologien“, sagt Olaf Brodersen motiviert. Nicht nur hinsichtlich der Leistung solcher Technologien, sondern auch beim Thema verminderter Fluglärm sind die Erwartungen der Gesellschaft groß. Doch wenn die Geräuschentwicklung beim Fliegen vorwiegend aerodynamisch bedingt ist, wie lässt sich dann beim Lärm überhaupt etwas machen?

Wo der Schall entsteht

Hier kommt Brodersens Kollege Professor Jan Delfs ins Spiel: Er leitet die Abteilung Technische Akustik im Institut. „Schall entsteht an drei wesentlichen Punkten“, erklärt er. „Zum einen am Flugantrieb durch Propeller oder Stahltriebwerke, zum anderen bei der Umströmung der Flugzeugzelle und schließlich bei der aerodynamischen Wechselwirkung von Antrieb und Zelle. Ein Potenzial zur Lärmminderung“, so Delfs, „steckt also vor allem im Entwurf.“ Er wirft einen Blick auf die neuen Konzeptentwürfe aus Brodersens Abteilung. Die meisten Elektro-Flugzeuge wirken filigraner als konventionelle Mittelstreckenflugzeuge. Die Tragflächen sind häufig schmal, lang und leicht. Oft verfügen sie über mehrere verteilte Antriebe. Das kommt Gewicht und Steuerung zugute. Doch die zahlreichen Rotoren können auch in der Summe lauter werden, denn viele kleine Propeller erzeugen ein anderes Geräusch als zwei große. Delfs berät sich mit Brodersen. „Wir arbeiten an vielen neuen Konzepten. So könnte eine radikal andere Anordnung der Antriebe am Flugzeug nicht nur die Abstrahlung Richtung Boden abschirmen, sondern die Integration von leiseren Triebwerken mit größerem Durchmesser erleichtern“, erklärt der Akustik-Experte Delfs.

Entscheidend für die Geräuschbelästigung ist der Fluglärm, der bei Start und Landung in der Nähe von Flughäfen entsteht. In zehn Kilometer Höhe stört er am Boden niemanden mehr. Beim Start verursacht das Triebwerk, wenn es unter Volllast arbeitet, den meisten Lärm. Bei der Landung ist es zusätzlich die Luftströmung an Flügeln, Landeklappen und Fahrwerk, die ein Flugzeug laut werden lässt.

Mit Mikrofon-Arrays wird der Schall, der am Flugzeug oder an einzelnen Flugzeugkomponenten entsteht, genau vermessen.



Am CRAFT-Prüfstand des DLR-Instituts für Antriebstechnik in Berlin können neue Antriebskonzepte schon im Prototypenstadium getestet werden.

NEUE TECHNOLOGIEN FÜR E-FLUGZEUGE

Seit Anfang des Jahres 2020 arbeiten 45 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 20 DLR-Instituten gemeinsam im Projekt **EXACT** (**EX**ploration of Electric **A**ircraft **C**oncepts and **T**echnologies) an der Entwicklung neuer Technologiebausteine für ein ökoeffizientes Verkehrsflugzeug. Das Projekt befasst sich daher auch mit Flugzeugdesign und der Energieeffizienzanalyse von hybrid-elektrischen und auf Wasserstoff basierenden Flugzeugkonfigurationen.

Ziel des Projekts ist es, dass bis 2040 ein ökoeffizientes Flugzeug mit mindestens 70 Sitzen und einer Reichweite von 2.000 Kilometern in Betrieb gehen kann. Das EXACT-Team identifiziert und entwickelt die dazu notwendigen Technologien. Hierfür sollen im ersten Schritt unterschiedliche hybrid-elektrische Antriebskonzepte und mögliche Flugzeugkonfigurationen untersucht werden. Aber auch Wechselwirkungen mit der Flughafeninfrastruktur werden betrachtet, ebenso wie sich neuartige Antriebe auf die Atmosphäre und somit auf das Klima auswirken. Über das Projekt EXACT wurde ein Artikel im DLRmagazin 164 (April 2020) veröffentlicht.

Neben Windkanalversuchen spielen Flugversuche und Simulationen eine wichtige Rolle in der Akustikforschung. So haben DLR-Forscherinnen und -Forscher etwa bei Flugversuchen mit der Do 228 erstmals die Schallabstrahlung von Propellern synchron am Boden und Flugzeug untersucht.

Direktverbindung Braunschweig – Berlin

Mit wenigen Klicks startet Delfs einen Videoanruf, auf dem Bildschirm erscheint sein Berliner Kollege: Professor Lars Enghardt vom DLR-Institut für Antriebstechnik grüßt gut gelaunt in die Kamera. Der Antriebslärmforscher freut sich auf den regelmäßigen Austausch mit seinen Braunschweiger Kollegen und bestätigt: Durch die reine Elektrifizierung – also das Gedankenexperiment des radikalen Austauschs der Verbrennungskomponenten in aktuellen Triebwerken durch Elektromotoren – kann nur sehr wenig für die Fluglärmminderung getan werden. Denn der Großteil des Schubs moderner Turbofantriebwerke, nämlich 90 Prozent, werden von dem ummantelten Propeller vorne direkt im Einlauf erzeugt. Dessen vergleichsweise langsamer Schubstrahl umgibt den heißen Kernstrahl, der ohne Verbrennung zwar verschwinden würde, aber heute nur noch für lediglich zehn Prozent des Vortriebs verantwortlich ist. Folgerichtig sind die Lärmquellen aktueller Triebwerke insbesondere beim Start und auch beim Landeanflug durch den Fan geprägt, der auch in rein elektrischen Antrieben erhalten bliebe, um den Schub zu erzeugen. „So einfach geht es also leider nicht!“, bekräftigt Enghardt die Überlegungen der beiden Kollegen. Auch er sieht die große Chance für den Luftverkehr von morgen im radikalen Umdenken – sowohl beim Design der Flugzeugzelle als auch bei der Installation der Antriebseinheiten.

Für die Landung müssten insbesondere die Hochauftriebshilfen und Fahrwerke sowie deren Anordnung anders gestaltet werden, um ungünstige aerodynamische Beeinflussungen zu vermeiden. „Bei elektrisch angetriebenen Flugzeugen können wir die Anordnung und Verteilung von Triebwerken am Flugzeug ganz neu denken. Das gesamte Flugzeugdesign kann in Verbindung mit vielen kleinen und verteilten elektrischen Antrieben wesentlich freier erfolgen“, erklären Delfs und Brodersen. Und dies könne, bekräftigt Enghardt die Ausführungen der Braunschweiger Wissenschaftler, zur Ausnutzung neuartiger Schallauslöschung zwischen vielen Einheiten führen und als Alternative zu – oder aber in Kombination mit – der geschickten Integration noch größerer, unterstützender Antriebseinheiten mit langsamer drehenden Fanschaufeln für deutlich weniger Lärm sorgen.

So könnte ein hybrid-elektrisches Flugzeugkonzept mit verteilten Antrieben aussehen. Der Entwurf stammt aus dem Forschungsprojekt SynergIE, das durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Luftfahrt-Forschungsprogramms gefördert wird.

Abstecher in die Akustik

Fluglärm ist in Deutschland die Verkehrslärmquelle Nummer zwei – mehr als 40 Prozent der Menschen fühlten sich hier laut einer Umfrage des Umweltbundesamtes in den vergangenen Jahren durch die Geräuschemissionen von Flugzeugen gestört. Doch Lärm ist bekanntlich nicht nur eine physikalische Größe, sondern immer auch eine Empfindungsfrage. Oder wie bereits Kurt Tucholsky sagte: „Der eigene Hund macht keinen Lärm, der bellt nur.“

Beschrieben wird Schall, genauer Schalldruck, als Pegel. Gemessen wird er in einer logarithmischen Skala und ausgedrückt in Dezibel (dB)-Einheiten. Unsere Hörschwelle liegt bei null Dezibel. Doch während der Kühlschrank zu Hause mit rund 40 Dezibel kaum wahrgenommen wird, kann ein tropfender Wasserhahn des Nachts mit gerade einmal 20 Dezibel eine sehr störende Lärmquelle darstellen. So könnte der Schallpegelmesser beim Überflug eines Flugzeugs denselben Wert anzeigen, wie bei der Durchfahrt eines Zuges, und dennoch würden viele Betroffene die Geräusche unterschiedlich bewerten. Erst hierbei wird von „Lärm“ und dessen Belästigung gesprochen. An deutschen Flughäfen wird der sogenannte äquivalente Dauerschallpegel, also die energetisch gleiche, aber mittlere Geräuschbelastung über einen größeren Zeitraum erfasst.

Zum Schutz vor Fluglärm empfehlen Weltgesundheitsorganisation und Bundesumweltamt, einen 24-Stunden-Dauerschallpegel von 45 Dezibel einzuhalten. Und auch die EU-Kommission hat sich ein großes Ziel in der Forschungs- und Innovationsstrategie „Flightpath 2050“ gesetzt: Bis 2050 soll der Fluglärm für jeden Flugzustand um 65 Prozent gesenkt werden. „Bei all dem darf man nicht vergessen, dass wir in den letzten Jahrzehnten viele technische Fortschritte erzielt haben und die meisten Flugzeuge heute die gültigen Lärmgrenzwerte deutlich unterschreiten“, erklärt Delfs. „Flugzeuge der neuesten Generation sind immerhin rund 80 Prozent leiser als noch vor 60 Jahren.“

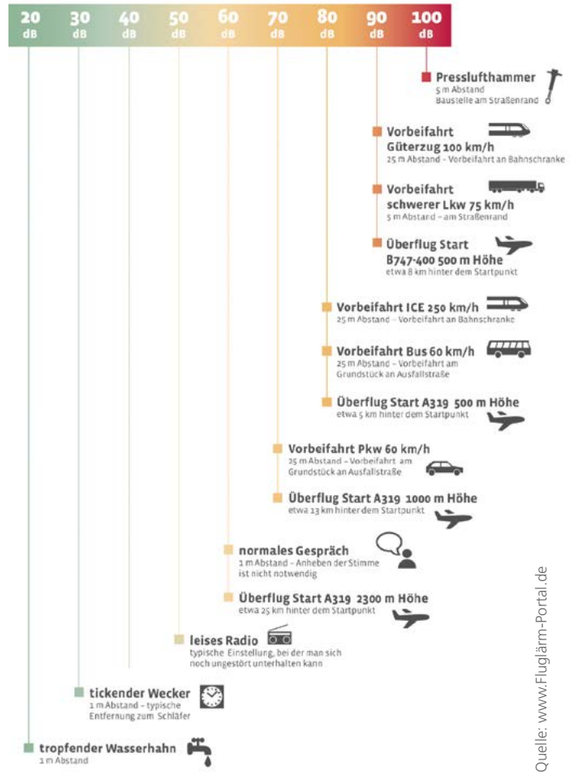
Forschung für rentable E-Flugzeuge

Auf der Suche nach Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung und Lärmminderung und um den sehr hochgesteckten Zielen der EU-Kommission möglichst nahe zu kommen, arbeiten Jan Delfs, Olaf Brodersen und Lars Enghardt im Rahmen mehrerer Projekte mit vielen DLR-Instituten fachübergreifend an neuen Antriebs- und Flugzeugkonzepten. Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge mit elektrischen oder hybrid-elektrischen Antrieben und neuer Flugzeugform könnten also den Mobilitätsansprüchen und steigenden Fluggastzahlen gerecht werden, bei möglichst geringen Auswirkungen auf die Flugkosten. Denn wenn sich Einschränkungen im Nachtflugverbot, der Bau von Lärmschutzmaßnahmen oder Lärmentgelte an den Flughäfen deutlich reduzieren ließen, würden sich womöglich auch die – derzeit noch deutlich kostspieligeren – Elektro-Flugzeuge mit zusätzlichen Betriebsstunden rentieren.

Die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler sind sich sicher: Zukünftige Elektro- oder hybrid-elektrische Flugzeuge könnten durchaus anders aussehen als konventionelle Flugzeuge. Sie werden vermutlich mehrere Antriebe haben, dafür zugleich kleinere Tragflächen, Klappensysteme und Leitwerke. Unter geeigneten Randbedingungen, was die Energieversorgung angeht, werden sie umweltfreundlicher fliegen. Dabei werden neue Konzepte Möglichkeiten eröffnen, dieses auch leiser zu tun – allerdings nicht lautlos.

Yvonne Buchwald ist am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Braunschweig für die Kommunikation zuständig.

SCHALLDRUCKPEGEL VERSCHIEDENER GERÄUSCHE IM VERGLEICH



Quelle: www.Fluglärm-Portal.de

SCHÜTTEL DEIN LEITWERK FÜR MICH

Jedes Flugzeug schwingt im Flug. Doch dabei sollten kritische Werte nicht überschritten werden. Deswegen sind Standschwingungsversuche ein Schlüsselelement, bevor ein neues Luftfahrzeug seine zertifizierte Flugtauglichkeit erlangt. In Braunschweig wurde im Juni das DLR-Forschungsflugzeug Falcon 2000LX ISTAR (In-flight Systems & Technology Airborne Research) auf Herz und Nieren – beziehungsweise auf Tragflächen und Flügel – geprüft.

Für die Versuche wurden unter anderem an das Leitwerk, die Flügel, den Rumpf und die Steuerflächen sogenannte Schwingungserreger angeschlossen. Über 200 Beschleunigungssensoren zeichneten kleinste Bewegungen auf. Mit den Daten aus den Tests wird das Computermodell des ISTAR aktualisiert. Mit ihm können neue Anbauten bereits vor dem Einbau simuliert werden. ISTAR ist das jüngste Mitglied der DLR-Forschungsflotte und kann nach seinem kompletten Ausbau Eigenschaften neuer Flugzeugentwürfe real oder virtuell, bemannt oder unbemannt, unter realen Betriebsbedingungen testen. Für ihn wird das DLR außerdem erstmals einen digitalen Zwilling erschaffen, der ihn sein ganzes Flugzeugleben lang begleiten soll.

Weitere Informationen zu den Schwingungsversuchen unter:

s.DLR.de/rXfj0

Bild: Adobe Stock

WIE VERÄNDERT CORONA UNSERE MOBILITÄT?

Mit einer Reihe von Studien untersucht das DLR die Auswirkungen der Pandemie aufs Mobilsein

von Denise Nüssle

Die Straßen und Autobahnen sind leer, es gibt keine Staumeldungen im Radio und nur vereinzelt wagen sich Menschen in Bus und Bahn. Vor der Corona-Pandemie war ein Szenario wie das aus dem Frühling 2020 undenkbar. Im Interview mit dem DLRmagazin gibt Dr. Claudia Nobis vom DLR-Institut für Verkehrsforschung einen Einblick, wie sich das Mobilitätsverhalten in Deutschland in dieser Zeit verändert hat. In vier Studien von April 2020 bis Mai 2021 hat sie gemeinsam mit ihrem Team jeweils rund 1.000 Personen befragt, welche Verkehrsmittel sie in der Krise nutzten und wie wohl sie sich dabei fühlten. Außerdem ermittelten sie, wie sich das Mobilitätsverhalten in den Lebensbereichen Arbeit, Einkaufen, Freizeit und Reisen verändert hat.

Mobilität in Zeiten von Corona: Weshalb ist das interessant?

: Unser Alltag hat sich durch die Pandemie massiv verändert. Das hat auch Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten. Unsere erste Erhebung startete im April 2020 während des Lockdowns. Zu diesem Zeitpunkt war die Mobilität am weitesten eingeschränkt. Das Verkehrsaufkommen ging um 40 Prozent zurück, wie auch die Auswertung von Mobilfunkdaten zeigte. In der zweiten Erhebung im Sommer erfassten wir die Phase nach dem Lockdown. Wir haben eine gewisse Erholung des Verkehrsaufkommens und erste längerfristige Veränderungen im Mobilitätsverhalten feststellen können. Diese Trends hatten sich in der dritten Erhebung vor Weihnachten 2020 und in der vierten im Mai 2021 verstetigt.

Was sind die zentralen Ergebnisse? Was ändert sich?

: Vor der Krise nutzte rund die Hälfte der erwachsenen Bevölkerung im Alltag vor allem das Auto. Dieser Anteil ist in der ersten Befragung auf zwei Drittel hochgeschnellt. In der dritten und vierten Erhebung hat er sich bei rund 60 Prozent eingependelt. Die einseitige Ausrichtung auf das Auto scheint sich zu stabilisieren. Die Zahl derer, die im Alltag unterschiedliche Verkehrsmittel nutzen, hat demgegenüber deutlich abgenommen. Die öffentlichen Verkehrsmittel gehören hingegen zu den großen Verlierern. Dieser Trend scheint sich durchzusetzen. Egal ob im Flugzeug, der Bahn oder dem Nahverkehr – etwas mehr als die Hälfte fühlt sich in den Öffentlichen unwohler und meidet sie deshalb. 15 Prozent aller Personen, die vor Corona über eine Zeitkarte oder ein Abo für den öffentlichen Nahverkehr verfügten, haben diese abgeschafft.

Was passiert nach dem Ende der Corona-Pandemie? Wird alles wieder wie zuvor?

: Die seit einem Jahr andauernde, komplett neue Situation hat neue Mobilitätsroutinen entstehen und sich festigen lassen: die stärkere Ausrichtung auf als sicher wahrgenommene Verkehrsmittel wie private Pkw und Fahrräder. Letztere können zum Beispiel durch eine bessere Radinfrastruktur gefördert werden. Der öffentliche Verkehr wird an der für ihn sehr negativen Entwicklung noch länger zu knabbern haben. Corona hat die Verkehrswende ein Stück weit ausgebremst. Die Menschen haben Reisen und Ausflüge sehr vermisst. Hier rechnen wir mit einem gewissen Nachholeffekt. Allerdings wird eher das Auto das Mittel der Wahl sein als die Öffis.

Wie können die öffentlichen Verkehrsmittel wieder gestärkt werden?

: Vor allem gilt es, das Vertrauen wiederherzustellen: Die Menschen müssen wieder mit einem guten Gefühl in den Öffentlichen sitzen. Längerfristig lässt sich der Autoverkehr nur verringern, wenn man gute Alternativen hat. Generell ist das Thema Hygiene sehr wichtig und die Angst vor Ansteckung präsent. Diese Bedenken muss man ernst nehmen. Gleichzeitig ist gute Kommunikation entscheidend, zum Beispiel zu den regelmäßigen Reinigungsmaßnahmen. Auch spezielle Angebote und Tarife können einen Anreiz für den erneuten Umstieg auf die Öffentlichen schaffen.

Hat die Corona-Pandemie auch positive Entwicklungen im Mobilitätsbereich angestoßen?

: Die Krise hat gezeigt, dass Homeoffice für viele Beschäftigte gut funktioniert. Viele wünschen sich, auch langfristig einen Teil ihrer Arbeitszeit zu Hause zu verbringen. Digitale Treffen haben viele Dienstreisen ersetzt. Deshalb stehen die Chancen gut, dass sich bei der Arbeitsmobilität grundlegend etwas ändern kann. In großen Städten und Metropolregionen könnten die Pendelspitzen dadurch abflachen – auf den Straßen und im öffentlichen Verkehr.

Auch unser Einkaufsverhalten hat sich massiv verändert: Vor der Krise hat weniger als die Hälfte der Befragten in den letzten vier Wochen online eingekauft. Während der Krise ist diese Zahl auf konstant über 80 Prozent gestiegen. Der Lieferverkehr hat entsprechend zugenommen und ist nach wie vor sehr hoch. Bleibt das weiterhin so, wird das deutliche Konsequenzen für den Einzelhandel, die Struktur der Innenstädte und unsere Mobilität haben. Das ist eine spannende Entwicklung, die wir sicher auch in zukünftigen Projekten am Institut erforschen werden.

Das Interview führte **Denise Nüssle.** Sie ist Presseredakteurin im DLR.

Während der Pandemie wechselten viele auf das Fahrrad.

Die öffentlichen Verkehrsmittel gehören zu den Verlierern der Pandemie. Der Trend, den privaten Pkw zu nutzen, scheint sich zu verstetigen.

Bild: DLR

Zur Person: Dr. Claudia Nobis

... studierte Ökologie und Umweltbildung und untersuchte für ihre Magisterarbeit das Mobilitätsverhalten von Kindern und Jugendlichen. Danach war sie unter anderem zuständig für den Bereich Mobilität beim Aufbau des autofreien Wohngeländes Vauban in Freiburg. Seit 2013 leitet sie die Gruppe Mobilitätsverhalten am DLR-Institut für Verkehrsforschung in Berlin. Gemeinsam mit ihrem Team untersucht sie neue Trends sowie Einstellungen und Verhaltensweisen der Menschen, um so die Mobilität der Zukunft nachhaltiger zu gestalten. Privat ist sie am liebsten mit dem Fahrrad unterwegs – aus praktischen wie sportlichen Gründen.

VERKEHR ANDERS GEDACHT

Wenn Straßen-, Schienen-, Wasser- und Luftverkehr enger zusammenwachsen, ist gute Kommunikation essenziell

von Anika Lobig und Jasmin Begli

Fußgänger, Autos, Züge, Schiffe, Paketdrohnen und Lufttaxis – in Zukunft müssen sich Verkehrsträger am Boden und in der Luft einen gemeinsamen Raum teilen. Doch wie geht das am besten und was können sie voneinander „lernen"? Fest steht: Die Interaktion zwischen den Verkehrsteilnehmenden am Boden und in der Luft wird dadurch komplexer. Je mehr die Räume von Straßenfahrzeugen, Schienen-, Wasser- und Luftverkehr miteinander verschmelzen, desto dringender müssen die einzelnen Domänen untereinander intelligent verknüpft werden. Das Querschnittsprojekt Verkehr 5.0 des DLR nutzt dessen Know-how aus seinen drei großen Programmbereichen Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie, um Koordination, Kooperation und Kommunikation der unterschiedlichen Verkehrsträger zu erforschen und zu verbessern.

Kommunikation ist alles

Die Zusammenführung neuer und alter Technologien birgt auch Herausforderungen. (Fracht-)Drohnen und Lufttaxis müssten beispielsweise in Notfällen jederzeit kontrolliert auf der Straße landen können. Die enge Vernetzung der Verkehrsträger bringt viele Vorteile mit sich. So profitieren beispielsweise Rettungshubschrauber – und damit jede und jeder Einzelne von uns –, wenn alle Beteiligten direkt miteinander kommunizieren: Die Pilotinnen und Piloten hätten bei schweren Unfällen dann die Möglichkeit, mit den Autos auf der Straße einen Landeplatz abzustimmen. So sind sie am Einsatzort schneller handlungsfähig und verlieren weniger Zeit beim Landen und Starten. Fahrzeuge auf der Straße und Schiene können an beschrankten Bahnübergängen zuverlässig miteinander kommunizieren und dadurch Wartezeiten reduzieren, den Komfort erhöhen und ein gefahrloses Überqueren gewährleisten. Bei allen Szenarien steht immer die Sicherheit an oberster Stelle.

Die zunehmende Digitalisierung spielt den Forschenden auch beim Projekt Verkehr 5.0 in die Hände. In Kombination mit automatisierten und vernetzten Straßen- und Schienenfahrzeugen, Schiffen und Fluggeräten ermöglicht sie neue Lösungen im Bereich der Mobilität für den zukünftigen Verkehr. Zwölf DLR-Institute erforschen gemeinsam diesen domänenübergreifenden, vernetzten Verkehr, der kooperativ, selbstorganisiert und resilient ablaufen muss. In konkreten Anwendungsfällen untersuchen und erproben sie die technische Machbarkeit fachübergreifender Kommunikation und Kooperation.

LANDEPLATZ FÜR SCHNELLEN RETTUNGSEINSATZ

Im Jahr 2018 gab es laut der ADAC-Luftrettung rund 54.000 Einsätze. Etwa elf Prozent dieser Einsätze fanden aufgrund von Verkehrsunfällen statt. Häufig war die Luftrettung vor Ort, bevor eine Unfallstelle ausreichend am Boden abgesichert oder Landezonen abgesperrt werden konnten. Da die Rettungshubschrauber bei schweren Unfällen oft auf der Fahrbahn landen müssen, müssen sie so lange in der Luft warten, bis sich im Verkehr eine Lücke auftut, die groß genug ist, um dort zu landen. Das kostet (lebens-)wichtige Zeit.

Im Projekt Verkehr 5.0 verknüpfen DLR-Forscherinnen und -Forscher die aktuell noch inkompatiblen Kommunikationsnetzwerke in der Luft und am Boden, indem sie die jeweiligen Informationsprotokolle so übersetzen, dass sie für alle Verkehrsträger „verständlich" werden. Für erste Tests im Projekt simulierte das Team den Helikopter durch eine Drohne. Diese forderte eine Landezone an. Vernetzte Fahrzeuge, die auf dem DLR-Testgelände unterwegs waren, empfingen die entsprechenden Informationen, stoppten vor der Zone und sperrten so auch die Fahrbahn für den nachfolgenden Verkehr. Sobald die Drohne ihren Einsatz beendet und wieder abgehoben hatte, gaben auch die Fahrzeuge den abgesperrten Bereich wieder frei. Mit dieser Methode haben relativ wenige Fahrzeuge, die entsprechend vernetzt ausgerüstet sind, einen hohen Mehrwert für Menschen in Not. Nach diesen ersten Tests und weiterer Forschung plant das Team Versuche mit realen Helikoptern.

AUS DER LUFT ALLES IM BLICK

Für die Interaktion von Drohnen und Fahrzeugen in der Stadt ist es erforderlich, dass die Kommunikation zwischen beiden Objekten reibungslos funktioniert. In das Projekt Verkehr 5.0 flossen deshalb auch Ergebnisse aus anderen Forschungsprojekten ein, die diese Thematik untersuchten. Ein Beispiel ist das Projekt AUTOPILOT. Darin testeten die Forschenden einen automatisierten, drohnengestützten Parkvorgang. Hierbei stellten die Fahrerinnen und Fahrer das Fahrzeug am Parkplatzeingang ab. Dann wurde es über eine App auf dem Smartphone aufgefordert, selbstständig einzuparken. Eine Drohne überflog den Parkplatz und erkannte freie Stellplätze oder Hindernisse. Diese Informationen stellte sie dem Fahrzeug über eine Plattform zur Verfügung. Auch das Fahrzeug interagierte mit der Plattform und bekam eine Nachricht, auf welchen freien Stellplatz es einparken sollte. Anschließend ermittelte es die Route, fuhr dorthin und parkte selbstständig ein.

AUTO SPRICHT MIT SCHRANKE

In weiteren Versuchen erforschten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit einem Konsortium, in dem unter anderem die Siemens Mobility GmbH beteiligt war, den Informationsaustausch an einem beschrankten Bahnübergang. Dort kommt es nicht selten zu schweren Unfällen. Diese werden überwiegend von den Straßenverkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern verursacht. Hier setzt die DLR-Technologie Rail2X an. Die Grundidee: Bahninfrastruktur und Straßenverkehrsteilnehmende müssen miteinander kommunizieren. Manche wenig genutzte Übergänge sind derzeit durch Anrufschranken gesichert. Diese liegen häufig abseits, sodass die zuständigen Schrankenwärter oder Fahrdienstleiter sie nicht einsehen können, wenn sie bei Bedarf geöffnet werden müssen.

Mit Rail2X könnte das Personal zukünftig durch eine automatisierte An- und Abmeldung und eine Räumungserkennung entlastet werden. Hierbei tauschen Schranke und Fahrzeug Informationen darüber aus, ob eine Überquerung möglich ist. Die Fahrerinnen und Fahrer müssen nicht mehr vor der Schranke anhalten, um den Überquerungswunsch mitzuteilen. Stattdessen kann sich das Kfz schon 500 Meter vor der Schranke anmelden und das System gestattet automatisch die Überquerung. Dadurch wird der Verkehrsbetrieb flüssiger und Wartezeiten werden verringert. Das System erhöht neben dem Komfort auch die Wirtschaftlichkeit der Schranke. Die Rail2X-Technologie wurde bereits erfolgreich bei Markersbach im Erzgebirge getestet.

Eine solche Kommunikation zwischen Straßen- und Schienenverkehr bietet auch großes Potenzial für weitere Anwendungsfälle. Beispielsweise könnte das System Rettungsfahrzeuge bei der Überquerung gegenüber Zügen priorisieren, damit diese schneller zum Einsatzort gelangen oder die Passage würde direkt in die Routenplanung von Fahrzeugen miteinbezogen, sodass schon zu Beginn der Fahrt ein Überquerungswunsch für den errechneten Ankunftszeitpunkt am Bahnübergang angemeldet wird.

Zu Wasser, zu Lande und in der Luft – so geht es weiter

Die Forschungen, die das Projekt Verkehr 5.0 angestoßen hat, gehen auch in Zukunft weiter: Neben den dargestellten Anwendungsfällen und deren Weiterentwicklung arbeitet das DLR gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Behörden bereits an dem Aufbau eines digitalen Testfelds für autonome Binnenschiffe an der Spree-Oder-Wasserstraße. Dort wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter anderem den Einsatz autonomer Binnenschiffe für den urbanen Gütertransport untersuchen. Digitale Assistenzsysteme sollen dann dazu beitragen, die Fahrweise energie- und ressourceneffizient anzupassen und Unfallrisiken weiter zu minimieren.

Auch die fachübergreifende Rettungsmobilität hat noch viel Potenzial, das weiter untersucht werden muss. So wäre die Festlegung gemeinsamer Kommunikationsstandards notwendig. Die rechtlichen Grundlagen, die beispielsweise die Fahrzeuge ermächtigen, eine Fahrbahn im Auftrag der Rettungskräfte in der Luft zu blockieren, müssen erlassen werden. Auch hier sind nach Projektabschluss weitere Aktivitäten des DLR gemeinsam mit Akteuren aus dem Rettungsbereich geplant.

Anika Lobig arbeitet im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik und koordiniert das Querschnittsprojekt Verkehr 5.0. **Jasmin Begli** ist Kommunikatorin der DLR-Standorte Braunschweig, Cochstedt, Stade und Trauen.

DAS QUERSCHNITTSPROJEKT VERKEHR 5.0

Laufzeit:
1.1.2018 – 31.12.2021

Gesamtbudget:
Circa 12,6 Mio. € (über die komplette Projektlaufzeit)

Beteiligte DLR-Institute und -Einrichtungen:

- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Fahrzeugkonzepte
- Institut für Flugführung
- Institut für Kommunikation und Navigation
- Institut für Lufttransportsysteme
- Institut für Optische Sensorsysteme
- Institut für Robotik und Mechatronik
- Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Verkehrsforschung
- Institut für Verkehrssystemtechnik
- Raumflugbetrieb und Astronautentraining

Rotorblätter, die vom DLR entwickelt wurden, beim Test auf dem Forschungscampus des National Renewable Energy Laboratory (NREL) in Denver, Colorado

AUFWIND FÜR DIE ENERGIEWENDE

Mit dem Forschungspark Windenergie Krummendeich will das DLR das volle Potenzial von Windkraft nutzbar machen

von Denise Nüssle

Auf den Feldern nahe der kleinen Gemeinde Krummendeich in Niedersachsen tut sich etwas Ungewöhnliches: Seit Mai 2021 laufen dort die Bauarbeiten für eine Forschungsinfrastruktur, die ihresgleichen sucht. Gemeinsam mit Partnern aus dem Forschungsverbund Windenergie (FVWE) errichtet das DLR in unmittelbarer Nähe zur Elbe den Forschungspark Windenergie Krummendeich. Das Ziel ist es, die Kosten für Strom aus Wind bis 2035 um ein Viertel zu senken. Dazu braucht es Anlagen, die wesentlich effizienter sind und die den Stromnetzen mehr Flexibilität ermöglichen. Leichtere und robustere Materialien, bessere Aerodynamik und eine intelligente Steuerung sind weitere Faktoren, um die Technologie voranzubringen. Gleichzeitig soll der Einfluss auf Menschen und Umwelt möglichst gering sein. Auch auf diesem Gebiet werden die DLR-Forschenden neue Lösungsansätze erarbeiten.

Windkraft als Pfeiler einer zukunftsweisenden Energieversorgung

In Deutschland leistet die Windenergie schon jetzt den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Sie wird auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Denn bei der nachhaltigen Umgestaltung des Energie- und Verkehrssektors wird der Bedarf an Strom aus regenerativen Quellen weiter steigen, zum Beispiel für die Elektromobilität oder die Herstellung von „grünem“ Wasserstoff als vielseitig einsetzbarem Energieträger. Heutige Windenergieanlagen bringen 20 Mal mehr Leistung als ihre Vorgänger aus dem Jahr 1990. Eine moderne Anlage mit einer Leistung von rund drei Megawatt erzeugt Strom für etwa 2.000 Haushalte. Die Wissenschaft geht davon aus, dass in Zukunft Anlagen mit bis zu 20 Megawatt möglich sind.

„Windkraft hat ein riesiges Potenzial, das es zu erschließen gilt. Im Zuge der Energiewende hat sie eine ganz andere Größenordnung und Bedeutung erreicht, als es in den Anfängen für möglich gehalten wurde. In vielen Bereichen ist noch eine deutliche technologische Lernkurve möglich“, ist sich Dr. Jan Tessmer sicher. Er leitet die Einrichtung Windenergieexperimente am DLR, die den Aufbau und Betrieb des Forschungsparks verantwortet. Hier wird zudem die Windenergieforschung im DLR koordiniert, zu der eine Vielzahl an Instituten über die einzelnen Disziplinen hinweg Beiträge leisten. „Gleichzeitig sind die Kosten für Windstrom in den letzten Jahren weiter gesunken, als wir es in den kühnsten Träumen erwarten konnten. An diese Entwicklung wollen wir anknüpfen“, erläutert DLR-Forscher Tessmer weiter. Im „windstarken“ Krummendeich findet sein Team dazu die besten Bedingungen.

Glücksfall für die Wissenschaft: Forschen im Originalmaßstab

Im fertigen Forschungspark werden zwei hochmoderne Windenergieanlagen hintereinander stehen, ausgerichtet in die Hauptwindrichtung Westsüdwest. So lässt sich zum Beispiel am besten untersuchen, wie sich die beiden Anlagen beeinflussen. Der von ihnen produzierte Strom soll zu großen Teilen ins Netz eingespeist werden. Eine dritte, etwas kleinere Windenergieanlage ist modular aufgebaut. Mit dieser modularen Turbine wollen die DLR-Forschenden auch grundlegenden Fragen auf die Spur gehen wie beispielsweise dem aeroelastischen Rotorverhalten. Fünf Messmasten tragen und positionieren eine Vielzahl an Sensoren. Diese analysieren unter anderem die Windgeschwindigkeit und Windrichtung, die Temperatur und Luftfeuchtigkeit, den Druck und Schall. Alle Informationen laufen in der Leitwarte in unmittelbarer Nähe der Windenergieanlagen zusammen.

„Windkraft hat ein riesiges Potenzial, das es zu erschließen gilt. Im Zuge der Energiewende hat sie eine ganz andere Größenordnung und Bedeutung erreicht, als es in den Anfängen für möglich gehalten wurde.“

Dr. Jan Tessmer

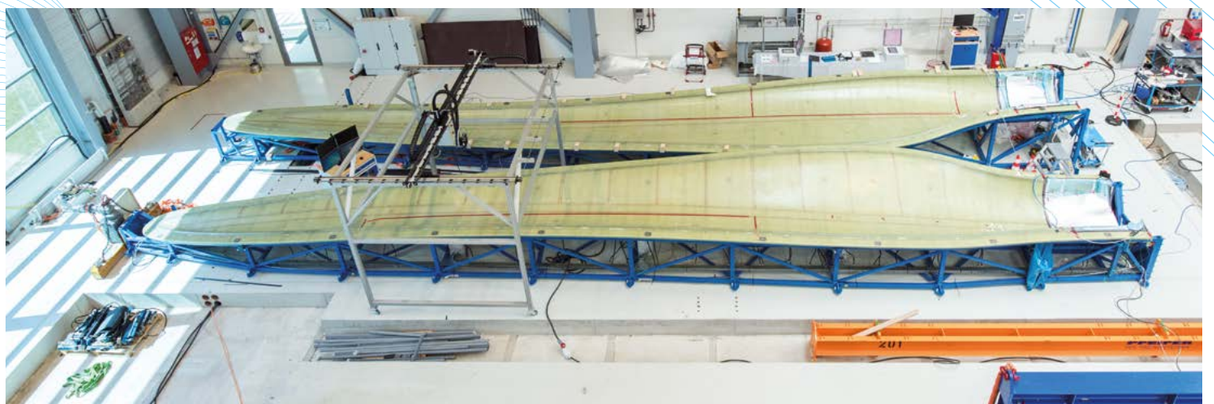
„Mit diesem Set-up steht uns eine einmalige Infrastruktur zur Verfügung. Wir können die ganze Breite technologischer Fragen zur Windenergie untersuchen. Wir schauen gezielt, welche Aspekte wir weiterentwickeln müssen. So kann die Windkraft noch effizienter, kostengünstiger und leiser werden“, fasst DLR-Wissenschaftler Jan Tessmer zusammen. „Der Forschungspark steht auch der Wissenschafts-Community als Testgelände zur Verfügung.“ Ob Rotorblätter mit neuer Struktur, Form und Bauweise sowie aus anderen Materialien, die optimale Steuerung und Betriebsweise von Windenergieanlagen oder Untersuchungen zur Schallminderung – die Liste spannender Fragestellungen ist lang. Mithilfe der umfangreichen Daten aus dem Betrieb des Forschungsparks können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihre Modelle und Simulationen am Computer bestätigen und immer weiter verbessern, um dann in die nächste Runde praktischer Tests zu starten. Entsprechend motiviert ist das Team, möglichst bald loszulegen. Läuft alles nach Plan, kann der Probebetrieb in der zweiten Jahreshälfte 2022 beginnen.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR.

GROWIANS ERFOLGREICHE ERBEN

Mit der Versuchsanlage Growian (Große Windenergieanlage) machte Deutschland in den 1980er Jahren die ersten Schritte in der Windenergienutzung. Das Projekt war mit vielen technologischen Hürden und wenig Erfolg verbunden. Mit dem Stromeinspeisungsgesetz und dem Erneuerbare-Energien-Gesetz in den 1990er und 2000er Jahren wendet sich das Blatt. Die Windenergie wurde breit gefördert und zügig ausgebaut. Im Bereich Forschung, Entwicklung und Anlagenbau gehört Deutschland zu den führenden Nationen weltweit.

Das DLR und seine Vorgängerorganisationen trugen immer wieder zum technologischen Fortschritt der Windkraft bei: Albert Betz, Physiker und Leiter der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen, schuf 1920 die wissenschaftliche Basis für Windkraftanlagen. Ein weiteres Beispiel ist der Bau von Rotorblättern aus Faserverbundwerkstoffen bereits Ende der 1970er Jahre. Diese waren rund 40 Prozent leichter und kostengünstiger als bisherige Rotorblätter.

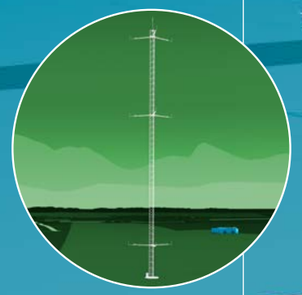


Im DLR-Standort Stade werden intelligente Rotorblätter für Windenergieanlagen entwickelt. Sie können sich an die jeweiligen Windgegebenheiten anpassen.

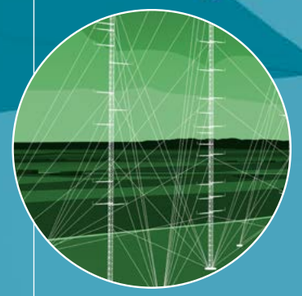
WEA 3
Diese Windenergieanlage ist für Forschungsexperimente angepasst und modifizierbar. Sie besitzt eigens entwickelte Rotorblätter, hat eine Nennleistung von 500 Kilowatt und eine Nabenhöhe von 50 Metern.

LEITWARTE
In diesem Gebäude laufen alle Informationen des Forschungsparks zusammen. Die Daten der Sensorik werden hier aufbereitet und weiterverarbeitet. Die Leitwarte bildet die Zentrale für Arbeiten vor Ort – ob im Büro, der Werkstatt oder im Labor.

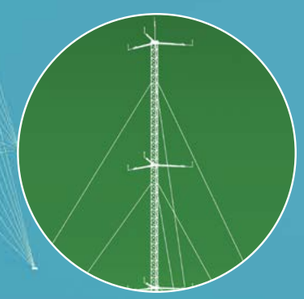
Bei WEA 1 und WEA 2
handelt es sich um baugleiche Windenergieanlagen mit jeweils einer Gesamthöhe von 150 Metern und einem Rotordurchmesser von 116 Metern. Die Anlagen sind jedoch unterschiedlich instrumentiert.



MESSMAST 5
Um die lokalen Windverhältnisse an der WEA 3 zu kennen, hat diese einen eigenen, 70 Meter hohen Messmast. Dieser erfasst ein breites Spektrum meteorologischer Messgrößen.



MESSMASTEN-ARRAY
Drei Messmasten, die mit umfangreicher meteorologischer Sensorik ausgestattet sind. Die äußeren beiden sind 100 Meter hoch und der mittlere 150 Meter hoch. Durch die spezielle Konfiguration der Ausleger und Instrumente auf diesen drei Masten können besonders gut die durch die WEA 1 erzeugten Turbulenzen gemessen werden. Diese Turbulenzen erfassen maßgeblich die Anströmung von WEA 2.



MESSMAST 1
Der IECplus-Messmast ist mit Technik ausgerüstet, um Zertifizierungsmessungen nach der Norm IEC 61400 vornehmen zu können. Darüber hinaus ist er mit umfangreicher Zusatzinstrumentierung ausgestattet, um das zur WEA 1 einströmende Windfeld vom Boden bis zur Rotorblattspitze in einer Höhe von 150 Metern vermessen zu können.

FORSCHUNGSPARK WINDENERGIE KRUMMENDEICH

In der niedersächsischen Samtgemeinde Nordkehdingen im Landkreis Stade zwischen den Gemeinden Krummendeich, Oederquart und Freiburg (Elbe) entsteht der Forschungspark Windenergie (WiValdi) des DLR. WiValdi steht für Wind-Validation und ist kein gewöhnlicher Windpark. Das lassen schon die bis zu 150 Meter hohen meteorologischen Messmasten erahnen. Darüber hinaus sind die Windenergieanlagen selbst mit umfangreicher Sensorik ausgestattet und einige Messgeräte im Feld installiert. Diese Sensorik ist das Herzstück des Forschungsparks – sie unterscheidet ihn von Windparks zur reinen Stromerzeugung. Hier sollen Technologien im Originalmaßstab untersucht werden, um Effizienz und Wirtschaftlichkeit von Windenergieanlagen sowie die Akzeptanz von Windenergie zu erhöhen. Der Probebetrieb soll in der zweiten Jahreshälfte 2022 beginnen. Mehrere Institute und Einrichtungen des DLR sowie die Partner aus dem Forschungsverbund Windenergie sind daran beteiligt. Gefördert wird der Forschungspark Windenergie Krummendeich durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur.

forschungspark-windenergie.de

HIERHER WEHT DER WIND

An der Elbe entsteht eine DLR-Forschungsinfrastruktur, auf der Windenergieanlagen untersucht werden

AUF DER SONNENSEITE

Zehn Jahre DLR-Institut für Solarforschung

von Michel Winand

Am DLR-Standort Jülich betreibt das Institut ein solarthermisches Turmkraftwerk (links) und seit 2020 den Multifokusturm (rechts), in dem neue Solartechnologien getestet werden können.

Bild: DLR

Prof. Dr. Robert Pitz-Paal (links) und Prof. Dr. Bernhard Hoffschmidt leiten gemeinsam das DLR-Institut für Solarforschung.

Energie im Überfluss, keine klimaschädlichen Emissionen, beinahe überall auf der Welt verfügbar! – Zu schön, um wahr zu sein. Die Sonne hätte die Kraft diese Verheißungen zu erfüllen. Doch zuvor muss es gelingen, Technologien zu entwickeln, die dieses Potenzial ausschöpfen können. Die Professoren Bernhard Hoffschmidt und Robert Pitz-Paal leiten seit zehn Jahren gemeinsam das DLR-Institut für Solarforschung und haben sich ein motiviertes Team aufgebaut, das sich dieser Aufgabe widmet. Seit der Gründung des Instituts hat auch die Frage nach unserer zukünftigen Energieversorgung stark an Bedeutung gewonnen. Eine gute Gelegenheit für ein kurzes Gespräch über gestern, heute und morgen.

Wo liegen die Anfänge der Solarforschung im DLR?

Pitz-Paal: Das DLR untersuchte bereits in den 1970er Jahren an den Standorten Stuttgart und Köln, wie sich Sonnenenergie zur Stromgewinnung nutzen lässt. Die internationale Energieagentur übertrug dem DLR die Projektleitung zur Entwicklung und Errichtung einer ersten Versuchsanlage zur solarthermischen Stromerzeugung. Mit Beteiligung von insgesamt neun Nationen entstand die Plataforma Solar de Almería (PSA) in Südspanien. Seit 1984 arbeiten hier Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR und des spanischen Forschungszentrums CIEMAT zusammen.

Hoffschmidt: 2002 wurden die Solarforschungsaktivitäten des DLR in eine Abteilung des Instituts für Technische Thermodynamik zusammengefasst. Dass seit 2007 die kommerzielle Verbreitung der solarthermischen Technologien in Europa Fahrt aufgenommen hatte, bot den Anlass, die Abteilung in ein eigenes Institut zu überführen. Dann folgte eine spannende Zeit, in der wir in Jülich einen neuen DLR-Standort aufgebaut und ein kommerzielles Demonstrationskraftwerk zu einer großen Versuchsanlage umgerüstet haben.

Hat sich das Portfolio des Instituts seit der Gründung verändert?

Pitz-Paal: In den Anfängen lag unser Fokus eher auf der Parabolrinnen-Technologie. Dieser verschob sich allerdings, nachdem sich zeigte, dass die technische Reife von Turmtechnologien damals niedriger und ihr Kostensenkungspotenzial höher eingeschätzt wurde. Erst letztes Jahr haben wir in Jülich mit dem Multifokusturm eine neue Anlage eröffnet, mit der wir auf mehreren Ebenen neue Technologien zur Nutzung konzentrierter Sonnenstrahlung testen können.

Hoffschmidt: Darüber hinaus hat sich aus einer unserer Abteilungen ein neues Institut gegründet: Future Fuels. Hier dreht sich alles um klimaneutrale Brennstoffe.

LICHT WIRD ZU STROM

Das Institut für Solarforschung erforscht und entwickelt seit seiner Gründung im Jahr 2011 konzentrierende Solarsysteme (engl. Concentrated Solar Power, CSP) für solarthermische Kraftwerke, die Sonnenenergie in Wärme, Strom und Brennstoffe umwandeln. Dazu gehören die Parabolrinnentechnik, Fresnel-Kollektoren und die Erforschung von Solarturmsystemen. Bei der Parabolrinnentechnologie bündelt ein konkav gewölbter Spiegel die Sonnenstrahlung. Im Brennpunkt befindet sich eine Rinne oder ein Rohr mit einer Flüssigkeit, die durch die gebündelten Sonnenstrahlen erhitzt wird und verdampft. Der Dampf wird genutzt, um Turbinen anzutreiben. Fresnel-Kollektoren ähneln den Parabolrinnenkollektoren, sind allerdings plan geschliffen. In einem Solarturmkraftwerk sind mehrere hundert Spiegel auf einen Empfänger in der Turmspitze gerichtet. Dadurch können Temperaturen bis zu 1.000 Grad Celsius erzeugt werden, mit denen Wasser verdampft wird.

Weitere Forschungsthemen des Instituts sind die Entwicklung neuer Wärmeträgermaterialien sowie die Messung und Bewertung von Komponenten für solarthermische Kraftwerke. Darüber hinaus forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch in verwandten Themenbereichen: Die im Institut entwickelte Sensortechnik wird beispielsweise genutzt, um den energetischen Sanierungsbedarf von Gebäuden zu bestimmen. Die Arbeitsgruppe Energiemeteorologie entwickelt Systeme, die den Betrieb von Solarkraftwerken sowie von Fotovoltaik-Anlagen optimieren. Ziel der Forschung am Institut ist es, die Wirkungsgrade der solaren Energie- und Wärmegewinnung zu steigern und damit die Produktionskosten zu senken. An den Standorten Köln, Jülich, Stuttgart und Almería (Spanien) betreibt das Institut dazu verschiedene Großanlagen und kann dadurch das gesamte Spektrum vom Labor bis zur industriellen Anwendung abdecken.

Pitz-Paal: Aber auch das allgemeine Interesse ist gewachsen: Wir erhalten immer mehr Anfragen von Studierenden, die in unserem Institut mitarbeiten wollen. Es gibt auch vermehrt Medienanfragen, wie beispielsweise von der „Sendung mit der Maus".

Sie arbeiten eng mit der Wirtschaft zusammen und haben diverse Ausgründungen als eigenständige Unternehmen an den Markt gebracht. Wie fördern Sie solche Schritte?

Hoffschmidt: Wir sind sehr stolz darauf, dass wir es geschafft haben, viele unserer Ergebnisse in die direkte Anwendung zu bringen. In 90 Prozent der weltweit installierten Anlagen kommen Kollektoren oder Messverfahren zum Einsatz, die von uns mitentwickelt wurden. Die Initiative geht in der Regel von den Mitarbeitenden aus. Sie wollen ihre Themen und Ideen selbst kommerzialisieren. Dafür muss das Institut natürlich den richtigen Nährboden bereitstellen. Wir haben die Erfahrung gemacht, dass erfolgreiche Ausgründungen die beste Motivation für andere sind.

Das Thema Energie wird mit Sicherheit eines der dominierenden Themen des kommenden Jahrzehnts sein. Wie wird das Institut für Solarforschung dem begegnen?

Pitz-Paal: Wir sehen hier große Herausforderungen, dem Klimawandel rechtzeitig und mit rasch umsetzbaren Technologien zu begegnen. Neben dem Ausbau der solarthermischen Kraftwerke zur Stromerzeugung wird auch die Bereitstellung von industrieller Prozesswärme an Bedeutung gewinnen. Auch die Kombination von Fotovoltaik und solarthermischen Technologien wird uns stärker beschäftigen. Gemeinsam leisten die beiden Technologien einen essenziellen Beitrag für eine zuverlässige und günstige Energieversorgung. Schließlich werden wir unsere Kompetenzen im Bereich der berührungslosen Messtechnik auch in andere Anwendungsbereiche wie die Gebäudetechnik oder die Fotovoltaik transferieren.

Das Interview führte **Michel Winand.** Er ist für die Kommunikation an den Standorten Köln, Bonn, Jülich, Rheinbach und St. Augustin verantwortlich.

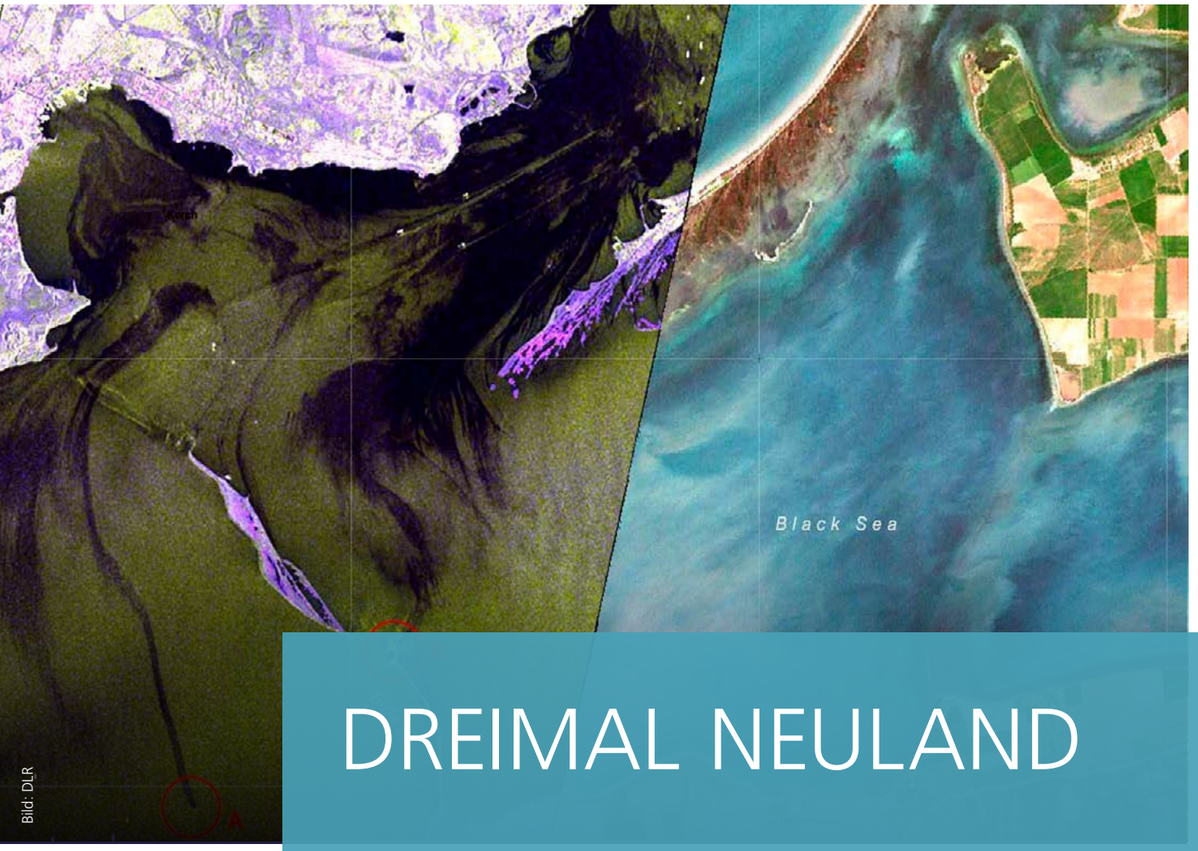


Bild: DLR

DREIMAL NEULAND

Ob Batterien im Weltraum oder Drohnen für den Katastrophenschutz – im DLR entstehen neue Ideen für den technologischen Fortschritt

von Iris Werner und Silvia Oster

Oftmals bremsen die schwerfälligen Namen von Forschungsinstituten die Vorstellungskraft, was die Menschen in ihren Laboren tatsächlich untersuchen. „Forscherin am Institut für Technische Thermodynamik“? „Wissenschaftler am Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik“? Oder „Leiterin eines Innovation Labs am Institut für Optische Sensorsysteme“? Da winken die meisten bereits ab. Was ist aber mit einer Mathematikerin, die Batterien für den Weltraum testet? Einem Werkstoffingenieur, der Virtual Reality anwendet, oder einer Geoinformatikerin, die Drohnen fliegen lässt? Das klingt doch deutlich spannender, aufschlussreicher – und doch grundverschieden.

Eines verbindet diese drei Personen: Klar, sie arbeiten für das DLR. Doch darüber hinaus verfolgen sie auch eine gemeinsame Mission, weil sie verantwortungsvolle Pionierarbeit leisten. Sie forschen an Lösungen für langlebige Batteriespeicher, vereinfachen und vergünstigen mittels Digitalisierung die Produktion im Flugzeugbau und stellen durch Drohnenaufklärung schnelle Hilfe in Krisensituationen sicher. Kurz gesagt, Linda Bolay, Sven Torstrick-von der Lieth und Julia Gonschorek setzen ihr Wissen für die Zukunft ein. Unter dem Motto „Mein Wissen bewegt“ stellen sie ihre Forschung hier ausführlicher vor.

Bild: DLR/Sebastian Berger

„Ich beschleunige die Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien für die Raumfahrt.“
Linda Bolay

Wer heute von A nach B gelangen möchte, kommt an Satelliten nicht vorbei. Sie steuern Systeme für Navigation und Erdbeobachtung. Ebenso ist die präzise Positionsbestimmung wichtig für Technologien von der Landvermessung bis hin zum autonomen Fahren. Satelliten-Monitoring macht globale Veränderungsprozesse verständlich und gezieltes Handeln erst möglich.

Doch wie so oft geht es hier nicht ohne Energie: Bei ihrem Flug durch das All benötigen sie zuverlässige Batterien, die vor dem Start im Labor oder an Prüfständen getestet werden – oft über mehrere Jahre. Gerade Satellitenbatterien müssen extrem sicher sein und zuverlässig funktionieren. Einmal im Weltraum, sind sie nicht austauschbar und zugleich extremen Temperaturen ausgesetzt. Linda Bolays Antwort auf diese Herausforderung: ein Modell zu entwickeln, das chemische und physikalische Prozesse in der Batterie exakt simuliert und diese langwierigen Tests weniger aufwändig machen soll.

Linda Bolay ist Mathematikerin und arbeitet mit ihrem Team am DLR-Institut für Technische Thermodynamik in Ulm daran, diese Batterietests und -experimente mit theoriebasierten Modellen zu beschleunigen. Ihr programmiertes Modell soll allein anhand von Temperatur-, Spannungs- und Strom-Messdaten den Lade- und Gesundheitszustand einer Batterie ermitteln. Bestenfalls sind dann anstelle von mehrjährigen Tests nur noch wenige Experimente nötig. Im Idealfall können die Modelle sogar die Lebensdauer der Batterien beeinflussen.

Bild: DLR/Ingo Boelter

„Meine Vision von der Fertigungsanlage der Zukunft? Einen flexibleren, unkomplizierteren und kostengünstigeren Flugzeugbau schaffen.“
Sven Torstrick-von der Lieth

Wer Virtual Reality in erster Linie mit digitalen Spielwelten in Verbindung bringt, sollte **Sven Torstrick-von der Lieth** genauer über die Schulter schauen. Mit seinem interdisziplinären Team aus den Fachrichtungen Maschinenbau, Luft- und Raumfahrttechnik und Informatik untersucht er die Herstellung von Flugzeugstrukturen und beschäftigt sich mit ihren Produktionsprozessen.

Das Besondere an seinem „Labor“: Im Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in Stade betreibt das DLR eine komplette Produktionsstraße für den Fertigungsprozess von Flugzeugen. Das heißt, hier werden vollautomatisiert komplette Flügelschalen, Flugzeugrümpfe und andere Bauteile gefertigt. Mit dieser Infrastruktur erzielt das Team von Torstrick-von der Lieth realistische Ergebnisse und macht Probleme sofort sichtbar. Statt fertige Bauteile auf Schäden zu überprüfen, optimieren die Forschenden die gesamte Produktion dahingehend, dass Fehler im Endprodukt nahezu ausgeschlossen sind. Und sie gehen sogar noch weiter: Mit Virtual-Reality-Anwendungen machen sie automatische Produktionsprozesse transparent und optimieren sie. Sie vernetzen also die physische und virtuelle Anlage.

Wie das geht? Fehlermeldungen einer Maschine empfangen die Werker auf dem Smartphone. Anhand eines in der Datenbrille abgespielten Tutorials können sie im Idealfall die Panne sofort beheben. In schwierigeren Fällen fordern sie Hilfe vom Hersteller an, der per Virtual Reality aus der Ferne auf die Anlage zugreift. Klingt easy …

Drohnen erobern unseren Luftraum, sind flexibel einsetzbar und übernehmen deshalb inzwischen vielfältige Aufgaben. **Julia Gonschorek** setzt sie im Zivil- und Katastrophenschutz ein und verbindet optische Technologien mit Geodaten und On-Board-Datenverarbeitung. Durch diese aktuelle und zuverlässige Lageaufklärung können Einsatzkräfte am Boden besser koordiniert werden.

Julia Gonschorek und ihr Team haben ein gemeinsames Ziel: Sie bringen die Bedürfnisse von Anwenderinnen und Anwendern sowie die der Industrie zusammen, wenn es um die präzise Klärung einer wenig übersichtlichen Lage geht. Mit optischen Technologien wollen sie bei Katastrophen, Polizeieinsätzen oder Großveranstaltungen die Situation genau erfassen und Behörden und Einsatzkräfte unterstützen. Die Technologien dafür umfassen komplexe Kamerasysteme und arbeiten an Bord bemannter und unbemannter Luftfahrzeuge.

Basis ist eine besondere Kamera zur luftgestützten Bilddatenaufnahme und -verarbeitung, die Gonschorek und ihr Team am DLR-Institut für Optische Sensorsysteme entwickelt haben. Gemeinsam mit der Berufsfeuerwehr Duisburg testen sie derzeit das System unter realistischen Bedingungen. Im Einsatzfall fliegt ein Fluggerät automatisch zur Einsatzstelle und liefert sofort hochauflösende Luftbilder und Karten in Echtzeit an die Leitstelle. Die Einsatzkräfte gewinnen so wertvolle Zeit, die Leben retten kann.

„In unserem Lab entwickeln wir neue optische Technologien zur Situationserfassung.“
Julia Gonschorek

Bild: DLR

Iris Werner arbeitet im Bereich Personalmarketing und **Silvia Oster** ist beim DLR Projektträger tätig.

Vielfältige wissenschaftliche Einstiegs- und Karrierechancen für den Weg ins DLR gibt es unter

DLR.de/jobs

SCHNELL INS ALL

Unter dem Namen IRAS entsteht eine Entwicklungsplattform für günstige Satelliten

von Maike Busch

Die Fertigung von Satelliten gleicht heutzutage noch immer einer Manufaktur: Es sind individuelle Einzelstücke, deren Bestandteile nicht auf dem kommerziellen Markt verfügbar sind. Das macht sie recht teuer. Dr. Tina Stäbler arbeitet im DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart. Zusammen mit ihrem Team erforscht sie im Projekt IRAS (Integrated Digital Research Platform for Affordable Satellites), wie Satelliten in Zukunft kostengünstiger produziert werden können. Dazu untersucht das IRAS-Team Technologien zur vereinfachten Fertigung und entwickelt eine Kollaborationsplattform. Letztere soll es potenziell konkurrierenden Unternehmen oder Forschungseinrichtungen ermöglichen, gemeinsam an einem Satellitenentwurf zu arbeiten – alle Beteiligten an ihrem eigenen Computer.

Voraussetzung dafür ist der zunehmende Einzug der Digitalisierung in die Raumfahrtbranche – sie verändert deren Gesicht: Zum einen greift sie in Entwicklung, Produktion und Betrieb von Satelliten ein, zum anderen können die gewonnenen Daten mit neuen Programmen besser verwertet werden. „Wenn alle Informationen digital, durchgängig und von Maschinen lesbar vorlägen, dann würde das alle Schritte von der Auslegung bis zur Fertigung deutlich beschleunigen“, beschreibt Stäbler eine mögliche Zukunftsvision. Wenn Prozessketten digitalisiert werden, sind nur noch wenige Handgriffe vonnöten.

Die digitale Plattform, an der das DLR-Team arbeitet, bildet das Grundgerüst des IRAS-Projekts. Hier sollen alle Parteien zusammen einen kompletten Satelliten entwickeln. Die notwendigen Programme – wie Software zum Entwurf einer Satellitenkonstellation und zur Optimierung von Raumfahrzeugen – können über spezielle Schnittstellen eingebunden werden. Damit firmeninterne Software nie das Haus verlässt, ist der Datenfluss reglementiert. Dadurch wird es einfacher, Konsortien und gemeinsame Projekte zu initiieren. Aktuell befindet sich die Plattform noch im Aufbau. 2022 soll ein erster Prototyp fertiggestellt sein.

Eine keramische Düsenstruktur direkt aus dem 3D-Drucker. Solche Fertigungsmethoden, bei denen das Material Schicht für Schicht präzise aufgetragen wird, sparen Volumen.

Neue Fertigungsmethoden sparen Zeit und Material

Jedes Gramm Nutzlast, das in den Weltraum befördert wird, benötigt ein Vielfaches seiner Masse an Treibstoff. Je weniger Material für den Bau eines Satelliten verwendet werden muss, desto günstiger und nachhaltiger wird er. Die DLR-Forscherinnen und -Forscher sehen die Lösung in der sogenannten additiven Fertigung. Dabei wird Material Schicht für Schicht aufgetragen, sodass dreidimensionale Gegenstände entstehen. Dieses Verfahren vereint gleich mehrere Vorteile: Mit ihm lassen sich ohne großen Mehraufwand individualisierte Einzelstücke herstellen, außerdem ermöglicht es optimierte Designs, die mit herkömmlicher Produktion nicht umsetzbar wären. Das spart nicht nur Strukturgewicht, sondern auch Volumen. Kabel, Anschlüsse oder Elektronik können häufig direkt in das Bauteil integriert werden. Für Tina Stäbler eröffnet sich dadurch eine vielversprechende Perspektive: „Die Kombination aus den neuen Fertigungsmethoden und der digitalen Plattform, die alles zusammenbringt, rückt das Ziel einer günstigen Satellitenherstellung in greifbare Nähe.“

Das Team hat bei seiner Arbeit aber auch die Nachhaltigkeit im Blick. „Zusammen mit dem Institut für Raumfahrtsysteme der Universität Stuttgart forschen wir an elektrischen und wasserbasierten Antriebssystemen für Satelliten, die ohne giftige, umweltgefährdende Treibstoffe auskommen“, ergänzt Tina Stäbler. Diese sollen zudem dank additiver Fertigung effizienter und flexibler werden. Ein Konstellationsentwurfstool, das ebenfalls in der Arbeitsgruppe entwickelt wurde, bezieht außerdem direkt mögliche Konzepte mit ein, damit Satelliten erst gar nicht zu Weltraumschrott werden. Hierzu soll am DLR auch eine Forschungsgruppe gegründet werden, die sich damit befasst, wie Bauteile aussehen müssen, damit sie beim Wiedereintritt vollständig verglühen. Weitere Technologien sollen es durch Strahlungsschutz ermöglichen, dass herkömmliche Elektronik im Weltraum eingesetzt werden kann. Sie wurden am DLR im Bereich der additiven Fertigung in Kooperation mit dem Institut für Produktionstechnik und Automatisierung der Fraunhofer-Gesellschaft entwickelt.

Bild: DLR

Dr. Tina Stäbler schloss 2014 ihr Studium der Luft- und Raumfahrttechnik an der Universität Stuttgart ab und promovierte anschließend mit einer am DLR angefertigten Dissertation über die Zustandsüberwachung von Hitzeschilden in der Raumfahrt. Seit 2018 ist sie Projektleiterin von IRAS.

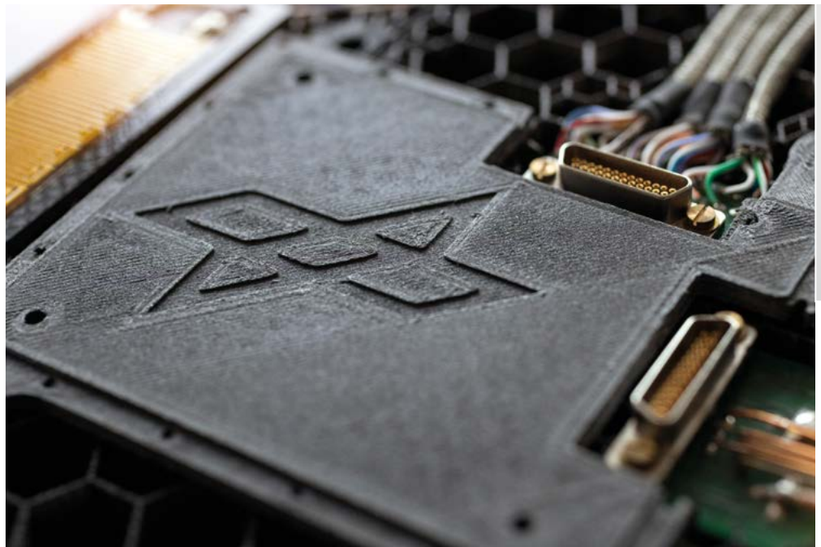
Auf dem Weg zum Erstflug

Das erste Mal werden IRAS-Technologien bei dem Satelliten SOURCE (Stuttgart Operated University Research Cubesat for Education and Evaluation) zum Einsatz kommen. Gebaut wird dieser von der Universität Stuttgart und der studentischen Kleinsatellitengruppe KSat. Das DLR-Team entwickelt als Nutzlast unter anderem eine additiv gefertigte multifunktionale Struktur, die ein Experiment mit geschirmter und nicht geschirmter Elektronik enthält: Während des Fluges wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Schirmungstechniken zum Schutz gegen Weltraumstrahlung an handelsüblicher und damit kostengünstiger Elektronik testen.

SOURCE soll 2022 starten. Dass sich die Investition in IRAS lohnen wird, davon ist Stäbler überzeugt: „Führende Marktforschungsunternehmen prognostizieren, dass die Raumfahrtbranche bis 2040 ein Marktvolumen erreichen wird, welches das der heutigen Automobilbranche übersteigt. Wir stehen also vor einem enormen Wachstumspotenzial und müssen international marktfähig bleiben. Hier ist besonders die unabhängige Forschung gefragt.“

Maike Busch kümmert sich am DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie um die Kommunikation.

Diese multifunktionale Satellitenstruktur wurde am DLR-Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie gefertigt. In sie ist kostengünstige Automobilelektronik integriert.



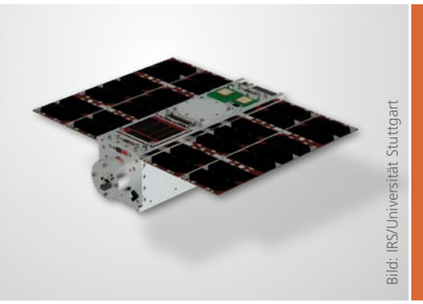
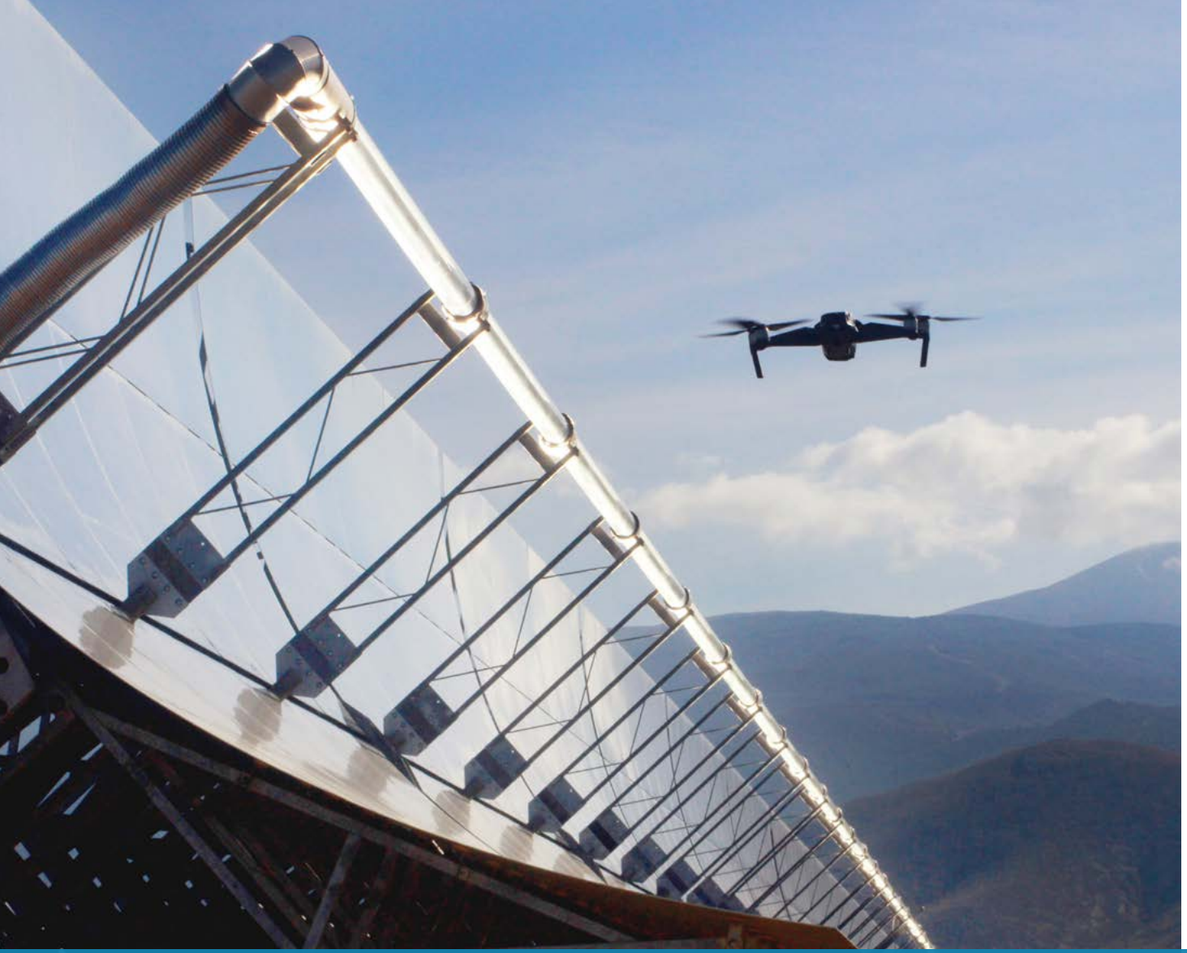


Bild: IRS/Universität Stuttgart

Der Satellit SOURCE (Stuttgart Operated University Research Cubesat for Education and Evaluation) wird von der Universität Stuttgart und der studentischen Kleinsatellitengruppe KSat gebaut.



VISITE VON OBEN

Eine DLR-Technik erfasst automatisiert den Zustand von Solarkraftwerken

von Verena Müller

Strom aus Solarenergie wird oft in quadratkilometergroßen Kraftwerken erzeugt. Diese industriellen Anlagen liegen meist in Wüstengebieten. Die Betreiberfirmen müssen ständig über den Zustand ihrer Anlagen informiert sein: Sind Komponenten defekt? Müssen Teile gewartet werden? Informationen zu diesen Fragen sind bedeutsam, denn schon leichte Schäden oder Teilausfälle können erhebliche Kosten verursachen. Die DLR-Ausgründung Volateq GmbH entwickelt und vertreibt ein Software-Tool, das den Zustand von Solarfeldern überwacht. Dabei werden Drohnen genutzt, welche in wenigen Stunden die relevanten Daten sammeln. Mit den Resultaten können Betreiberfirmen sowohl Betriebs- und Wartungsaufgaben planen als auch die Leistung der Anlage optimieren und die Sicherheit erhöhen.

„Im Vergleich zur konventionellen Zustandsüberwachung muss man mit unserem System nicht mehr selbst rausfahren und die Anlagen prüfen. Das spart Zeit und Kosten“, sagt Anne Schlierbach. Sie hat zusammen mit Christoph Prahl und Wolfgang Reinalter 2020 das Unternehmen Volateq gegründet. Zuvor haben die drei mehr als zehn Jahre gemeinsam am DLR-Institut für Solarforschung am Standort Almería in Andalusien geforscht. Für Anne Schlierbach ist das eine wichtige Grundvoraussetzung für die Ausgründung: „Wir ergänzen uns fachlich und charakterlich und haben einen offenen und respektvollen Umgang. Jetzt wachsen wir zusammen mit unseren Aufgaben und freuen uns, so eine tolle Technologie auf den Markt bringen zu können.“

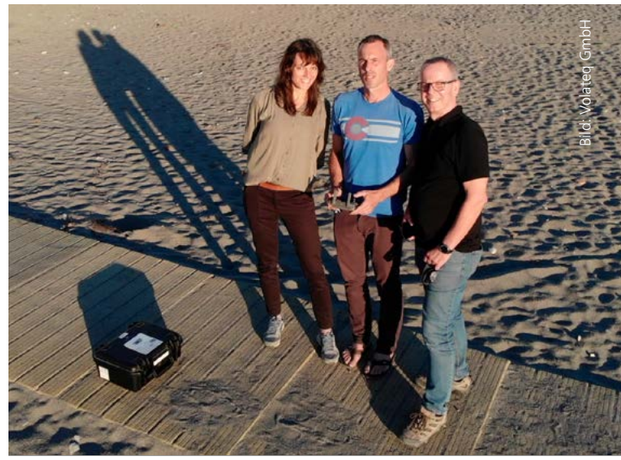


Bild: Volateq GmbH

Anne Schlierbach, die „Netzwerkerin“, kümmert sich um Marketing und Sales, sie arbeitet seit 2008 in Projekten konzentrierender Solarenergie; Dr. Christoph Prahl, der „Tech-Nerd“ für Technologie und Software, beschäftigt sich seit 2008 mit der Optimierung solarthermischer Anwendungen; Wolfgang Reinalter, der „Ausgleichende“ mit dem Zuständigkeitsbereich Finanzen und Softwareentwicklung, ist internationaler Experte für Sonnenenergie und Projektmanager (von links).

Die Drohne als idealer Helfer

Während der Zeit im Institut entwickelte das Team zusammen mit DLR-Kolleginnen und -Kollegen die sogenannte QFly-Technologie. Sie ist das Herzstück der Volateq-Software und erstellt auf Basis von drohnengestützten Aufnahmen des Solarfeldes hochgenaue Daten zur Geometrie und Nachführung der Kollektoren. Sie geben Aufschluss über Anomalien, die für Performanceverluste in solarthermischen Kraftwerken (Concentrated Solar Power, CSP) verantwortlich sind. Um den Zustand der Anlage zu erfassen, fliegt das Betriebspersonal ein komplettes Solarkraftwerk mit einer Drohne auf einer vorgegebenen Flugroute in wenigen Stunden ab. Die Kameras des Fluggeräts erfassen Daten im visuellen und Infrarot-Bereich. Die Bilddaten werden in eine Cloud geladen und dort automatisiert ausgewertet.

Das Analysetool ist so konzipiert, dass es sich einfach in die Betriebsroutine einbinden lässt. Messungen werden automatisiert und regelmäßig durchgeführt. Die Drohnen sind für Wolfgang Reinalter „das ideale Hilfswerkzeug, um effizient zu erkennen, wo Schwachstellen in der Anlage vorliegen, und um Maßnahmen zur Verbesserung zu planen“.

Bild: DJI

Nachdem QFly bei Anwenderfirmen auf großes Interesse gestoßen war, beschloss das Team, sich selbstständig zu machen. Mit Unterstützung durch das DLR-Technologiemarketing entwickelte es die Technologie so weit, dass diese 2020 als cloud-basiertes Angebot auf den Markt gebracht werden konnte. Aktuell liegt der Fokus des Systems noch auf CSP-Kraftwerken. Das Team hat die Messtechnik bereits auch auf Fotovoltaik-Kraftwerke erweitert, um alle Solartechnologien einschließlich Hybrid-Kraftwerken abdecken zu können. Darüber hinaus arbeitet das Team an einem „Drone in the box“-Konzept, einem komplett automatisierten System, das per Knopfdruck losfliegt und die Messungen durchführt, ohne dass Piloten den Flug überwachen müssen.

Zu Hause in Andalusien und NRW

Neben Köln planen die drei auch Almería als Standort für ihr neu gegründetes Unternehmen. Dafür sprachen langjährige Forschungskooperationen, beispielsweise mit der Plataforma Solar de Almería (PSA), einem Zentrum zur Erforschung der solaren Energienutzung. In Andalusien wurden auch die ersten europäischen Solarkraftwerke errichtet. Darüber hinaus besitzt Spanien etwa ein Drittel der weltweiten Kapazitäten von CSP-Kraftwerken. Während der Zeit im DLR-Institut konnte das Gründungsteam bereits gute Kontakte zu spanischen Partnerfirmen aufbauen. „Wir haben sehr viel positives Feedback zu unserer Technologie erhalten“, freut sich Christoph Prahl und ergänzt: „Wir sind überzeugt von Nachhaltigkeit und erneuerbaren Energien. Indem wir unsere Forschung in die Anwendung bringen, können wir das Potenzial von Sonnenenergie ausschöpfen und ‚grüne‘ Technologien vorantreiben. Das entspricht unseren Werten. Unser Ziel war es, sowohl etwas Eigenes zu machen als auch etwas zu verbessern.“

Verena Müller ist Koordinatorin im Technologiemarketing des DLR.

Volateq GmbH

… wurde im Jahr 2020 aus dem DLR-Institut für Solarforschung am Standort Almería gegründet. Das Unternehmen bietet eine benutzerfreundliche Software für die automatisierte Zustandserfassung von Solarkraftwerken an. Hier werden die wichtigsten Zustandsgrößen mithilfe von Drohnen erfasst. Dazu wird die im DLR entwickelte und von Volateq lizenzierte QFly-Technologie erweitert und als „Software-as-a-Service“ vermarktet. Volateq unterstützt damit Betreiber von Solarkraftwerken bei der Umsetzung einer nachhaltigen und effizienten Betriebsführung.

volateq.de

DIE IDEENJÄGER

Wie das DLR Innovationen in die Wirtschaft bringt

Die erste digitale Luftbildkamera, ein Solarreceiver für Hochtemperaturanwendungen, modulare Brennstoffzellensysteme für Lastenräder oder eine Heizmethode, mit der Faserverbundwerkstoffe repariert werden können. Dies sind nur einige Beispiele von DLR-Technologien, die in den letzten Jahrzehnten in die Anwendung gekommen sind. Welche Rolle Innovationen heute für das DLR spielen, darüber spricht Prof. Karsten Lemmer. Er ist im Vorstand des DLR und seit März 2021 verantwortlich für das neue Ressort Innovation, Transfer und wissenschaftliche Infrastrukturen.

Herr Lemmer, was bedeutet Technologietransfer für Sie?

: Wir wollen die Wirtschaft durch Wissenschaft erfolgreich machen. In unseren Forschungsschwerpunkten Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr kennen wir uns am besten aus. Entsprechend können wir hier die größte Wirkung erzielen. Beispielsweise entwickelt das DLR Prototypen für Fahr- und Flugzeuge, wie das modulare autonome Fahrzeug U-Shift oder das Propellerflugzeug Dornier 228, das gemeinsam mit Industriepartnern zu einem Wasserstoff-Brennstoffzellen-Flugzeug umgebaut wird. Aber das ist nicht alles: Transfer, wie ich ihn verstehe, spielt sich auf fast allen Ebenen ab. Im Mittelpunkt stehen unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die bei ihrer Forschung direkten oder zukünftigen Transfer mitdenken. Dafür schaffen wir aktivierende Mechanismen, finanziell genauso wie kommunikativ. Zur Unterstützung gibt es im DLR engagierte, professionelle Kolleginnen und Kollegen, die zu Transferchancen persönlich beraten und begleiten.

Welchen Stellenwert hat Technologietransfer für das DLR?

: Im DLR setzen wir jetzt schon täglich Transfer um. Damit meine ich nicht nur unsere Ausgründungen, obwohl wir die natürlich haben, beispielsweise sechs im Jahr 2020. Wir haben ein großartiges Netzwerk, Preise und Formate zur frühphasigen Ideenfindung, ebenso wie leistungsstarke IT-Tools zur Trendanalyse. Die Kolleginnen und Kollegen in den Instituten werben stetig Drittmittel verschiedenster Auftraggeber ein und generieren außerdem programmübergreifend aus der Grundfinanzierung Forschungsprojekte. Dabei denken die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler schon von Beginn an darüber nach, welchen Mehrwert ihre Forschungsergebnisse für Wirtschaft und Gesellschaft bewirken können.

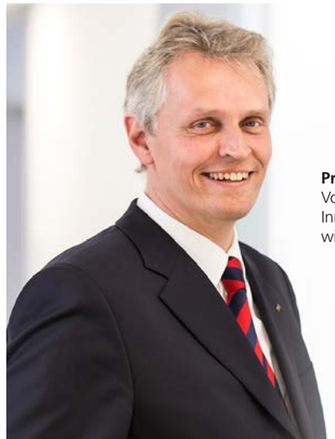
Und welche Rolle spielen die DLR-Infrastrukturen dabei, wissenschaftliche Erkenntnisse in die Anwendung zu bringen?

: Unsere Windkanäle, unsere Fahrzeug- und Flugzeugflotte, Testfelder und Simulatoren oder der neue Forschungspark Windenergie bieten Möglichkeiten, um Technologie zu skalieren. Sie sind wichtig für unsere Partner aus Wissenschaft und Industrie – gerade die kleineren, die es sich nicht leisten können, solche Infrastrukturen zu unterhalten und zu betreiben. Technologien vom Labormaßstab zur Marktreife zu bringen, erfordert viele Tests, für die man genau solche Forschungsanlagen braucht. Hier arbeiten Forschung und Wirtschaft Hand in Hand zusammen: ein wesentliches Element für das Verständnis von Anforderungen und Marktbedarfen.

Was wollen Sie mit dem neuen Vorstandsbereich bewirken?

: Wichtig ist letztlich, dass die gesamte Palette an Transferaktivitäten ausgeschöpft wird: von Keimzellen für innovative Ideen über Großforschungsanlagen und Begleitforschung bei Reallaboren bis hin zu Prototypen, Ausgründungen und Start-up-Förderung, Schutzrechten und dem Ausbilden einer Entrepreneurship-Kultur und starken Netzwerken. Dies alles muss zusammenwachsen für eine lebendige Innovationskultur im DLR, von den Instituten über die Administration bis ins gesamte DLR. Nur so kann die „Innovationspipeline" auch langfristig gefüllt werden – dafür macht sich das DLR stark.

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



Prof. Karsten Lemmer,
Vorstand für das neue Ressort Innovation, Transfer und wissenschaftliche Infrastrukturen

NACHGEFRAGT

Hier beantworten unsere Forscherinnen und Forscher Fragen aus der Community

Wer Fragen stellt, versteht, warum etwas geschieht und warum Dinge in einer bestimmten Weise funktionieren. Besonders in der Wissenschaft ist eine solch neugierige Herangehensweise unverzichtbar, denn nur so lassen sich komplexe Themen durchdringen und können verstanden werden. Regelmäßig erreichen uns Fragen zu den verschiedensten wissenschaftlichen Themen über unsere Social-Media-Kanäle, per Brief oder E-Mail. Wenn auch Ihnen eine Frage unter den Nägeln brennt, schreiben Sie uns unter magazin@dlr.de.

Frage von Stefan via Facebook:

„Angenommen, man fliegt mit einer Rakete immer nur geradeaus, endet der Weltraum irgendwann? Oder wird man irgendwann gegen eine Wand stoßen?"

Die Frage nach dem Ende des Universums ist eine der ältesten Fragen der Philosophie. Wir wissen heute: Das Universum existiert erst seit endlicher Zeit und dehnt sich permanent aus. Alle Galaxien bewegen sich stets voneinander weg und dies umso schneller, je weiter sie entfernt sind. Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie besagt, dass es dabei zu einer Dehnung der Zeit kommt. Das macht sich als Verschiebung der Wellenlänge des sichtbaren Lichts hin zu größeren Wellenlängen (also Richtung Infrarot) bemerkbar. Dann ist da noch der Urknall: Das Licht hatte seit Entstehung des Universums etwa 13 Milliarden Jahre Zeit, sich auszubreiten. Egal, wo wir uns im Universum befinden, wir können nicht mehr sehen als das, was weniger als 13 Milliarden Lichtjahre entfernt ist. Das bedeutet allerdings nicht, dass das Universum nur diesen Durchmesser hat, denn die Erde befindet sich nicht in seinem Mittelpunkt. Dann wird es allerdings kompliziert, denn es existieren konkurrierende Theorien darüber, ob das Universum „offen" oder „geschlossen" ist. Wenn die Gesamtmasse des Universums groß genug ist, hat es eine Grenze, die nicht überschritten werden kann – ähnlich wie ein Schwarzes Loch. Die Grenze ist allerdings keine „Wand", sondern eine Krümmung des Raums: „Geradeaus" ist nicht mehr das, was wir aus dem Alltag kennen. In der Allgemeinen Relativitätstheorie wird das mit der Krümmung der vierdimensionalen Raumzeit beschrieben. In manchen Horrorfilmen gibt es Szenarien, in denen die Charaktere Richtung Westen aus einer Stadt fliehen, nur um von Osten kommend wieder in sie hineinzugeraten: Diese Stadt ist ein geschlossenes Universum, hat aber keine Wände. Kurz gesagt: Ihr könnt euren Raketenantrieb brennen lassen – ohne Sorge, gegen eine Außenwand zu prallen. Ihr solltet nur darauf achten, nicht mit Sternen, Planeten oder den Raketen der anderen Neugierigen zu kollidieren!

Dr. Martin Knapmeyer, DLR-Institut für Planetenforschung, Berlin

Frage von Admir via Instagram:

„Wäre es möglich, Luft vor einem Flugzeug zu komprimieren und hinten wieder auszustoßen, um den Rückstoß als Antrieb zu nutzen?"

Tatsächlich ist das Rückstoß-Prinzip seit Beginn der Luftfahrt der Mechanismus, der für den Antrieb beziehungsweise Vortrieb von motorisierten Flugzeugen genutzt wird. Zuerst wurden Propeller an die Flugzeugnase, später an die Tragflächen der Flugzeuge montiert. Die drehenden Rotorblätter komprimieren und beschleunigen die Luft, sodass ein Vortrieb entsteht. Er erzeugt in Verbindung mit der besonderen Form der Tragflügel den Auftrieb. Im Laufe der Entwicklung wurden die Propeller durch leistungsfähigere Strahltriebwerke mit entsprechend großen Fan-Stufen am Eintritt ersetzt. Sie sorgen heute für den nötigen Schub der großen Reiseflugzeuge. Der hinten am Triebwerk austretende Strahl des Kerntriebwerks erzeugt dabei nach wie vor den nötigen Antrieb, indem er das Rückstoß-Prinzip ausnutzt. Bei militärischen Flugzeugen ist das Strahltriebwerk sogar komplett in den Rumpf des Flugzeugs integriert, um durch die aerodynamische Form höhere Fluggeschwindigkeiten erreichen zu können. Bei all diesen Antriebsformen würde es nun aber technisch keinen Vorteil bieten, das Komprimieren der Luft für den Vortrieb noch weiter vor das Flugzeug zu verlegen.

Dr. Melanie Voges, DLR-Institut für Antriebstechnik, Köln

Der Projektträger Luftfahrtforschung im DLR unterstützt die Bundesregierung dabei, die Luftfahrt von morgen zu gestalten

von Dr. Anne Lohoff

Der Traum vom Fliegen hat die Menschheit seit Jahrtausenden fasziniert. Bereits vor mehr als hundert Jahren konnte sie ihn schließlich verwirklichen. Seitdem ist viel passiert. Vor allem in den letzten Jahrzehnten begleiten uns die Vorstellungen von einer unbemannten Luftfahrt, von sicheren Fluggeräten oder vom emissionsarmen Fliegen. Viele Unternehmen und Forschungseinrichtungen wagten und wagen den Schritt und starten Forschungsprojekte und Missionen, um diese Vorstellungen zu verwirklichen. All diesen Pionieren steht der Projektträger Luftfahrtforschung zur Seite. Er unterstützt und berät die Fachleute, Forschende sowie die nationalen Bundes- und Landesministerien im Bereich der Luftfahrt.

Kaum überhörbar sind die Rufe nach einer Verkehrswende in der Luftfahrt, unabhängig von Interessengruppen, Alter oder Branche. Doch darüber, wie diese Wende gestaltet werden soll, wird heftig diskutiert. Die Meinungen hierzu sind so facettenreich, die Technologien so komplex und die Rahmenbedingungen so einzigartig, dass es schwer ist, die richtigen Entscheidungen zu treffen. Um die Bundesregierung bei dieser Entscheidungsfindung zu unterstützen, wurde bereits 1994 der Projektträger Luftfahrtforschung gegründet. Hier bündelt sich die administrative und fachtechnische Expertise zu Luftfahrtthemen, sodass der Projektträger Luftfahrtforschung den Ministerien neutral beratend zur Seite stehen kann.

Regelmäßig schreiben Bundes- oder Landesministerien Förderprogramme für den Bereich Luftfahrt aus. Diese sollen Unternehmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen dazu motivieren, die Luftfahrtstrategie der Bundesregierung zu unterstützen. Der Projektträger Luftfahrtfahrtforschung tritt in diesem Zusammenhang als Verwaltungshelfer auf, der die Ausschreibungen bündelt und koordiniert.

Den Überblick behalten

Forschende, die einmal in diesem Bereich gearbeitet haben, bestätigen immer wieder: Die Luftfahrt ist sehr speziell. Kaum vergleichbar mit anderen Branchen sind beispielsweise die Vielzahl an Regularien für das Zulassungsverfahren, die Länge der Entwicklungszeiten oder die Struktur der Zulieferketten. Zugleich steht der Bereich vor großen Herausforderungen, beispielsweise die Sicherheit für die Bevölkerung zu gewährleisten und den ökologischen Fußabdruck zu optimieren.

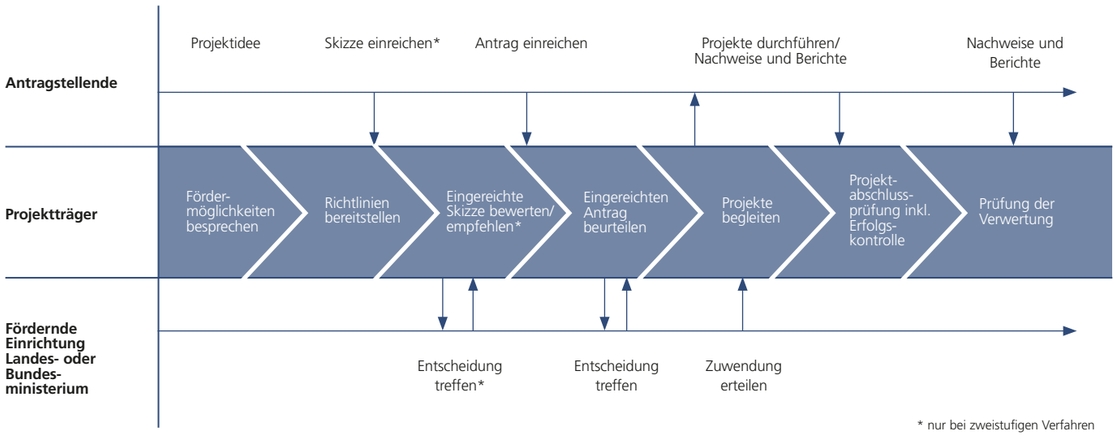
Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Projektträgers Luftfahrtforschung, denn sie müssen im Dschungel aus Regularien und Vorschriften den Überblick behalten und die Förderprogramme der Bundesregierung in der Branche bekannt machen. Die Ingenieurinnen und Ingenieure aus dem Team beurteilen die eingereichten Projektbeschreibungen für die von ihnen verantworteten Bereiche sowohl technologisch als auch in Bezug auf die Luftfahrtziele Deutschlands.

Transparenz und Unabhängigkeit

Um die Bundes- und Landesregierungen unabhängig zu beraten und den Förderprozess transparent zu gestalten, hat der Projektträger Luftfahrtforschung einen Pool von externen Gutachterinnen und Gutachtern aufgebaut, die in einem standardisierten Bewertungsprozess Förderempfehlungen ermitteln und aussprechen. Es sind Luftfahrtexpertinnen und -experten aus Hochschulen oder Industrie, die jedoch nicht aktiv am Forschungsgeschehen der Förderprogramme beteiligt sein dürfen. Bewerbungen für Gutachterkandidaturen werden stetig entgegengenommen. Der Begutachtungsprozess wird von einer weiteren unabhängigen Person begleitet und ihr Prüfbericht veröffentlicht.

Gemeinsam in Europa

Auch die internationale Zusammenarbeit spielt eine wichtige Rolle – sowohl mit der Europäischen Kommission als auch mit Ministerien und Luftfahrt-Projektträgern anderer Länder. Ein Beispiel hierfür ist die internationale Kooperation im Netzwerk GARTEUR (Group for Aeronautical Research and Technology in Europe). Hierbei handelt es sich um eine Organisation für die wissenschaftliche Zusammenarbeit in Europa im Bereich der Luftfahrt. In GARTEUR unterstützt der Projektträger Luftfahrtforschung sowohl das Bundeswirtschafts- als auch das Bundesverteidigungsministerium mit dem Ziel, die europäische Zusammenarbeit zu intensivieren und die nationalen Forschungsstrategien in Europa im Bereich der Luftfahrt zu koordinieren. Auch im europäischen Rahmenprogramm „Horizont Europa“ sind die Expertinnen und Experten des Projektträgers zentrale Ansprechpartner im Bereich der Luftfahrt. Hier bilden sie die Nationale Kontaktstelle KEM, Bereich Luftfahrt. Deren Aufgabe ist es, über das Rahmenprogramm zu informieren und in allen Phasen einer Antragstellung zu unterstützen – von der Einordnung einer Idee über die Gestaltung des Antrags und die Einreichung bis zur Durchführung des Projekts. Weiterhin unterstützt der Projektträger Luftfahrtforschung das Bundesverkehrsministerium und das Bundeswirtschaftsministerium im Bereich der Partnerschaften „Single European Sky“ und „Clean Aviation“.



FÜR DIE VERKEHRSWENDE IN DER LUFT

Interview mit Jan E. Bode,
Leiter des Projektträgers Luftfahrtforschung

Bild: DLR-PT-LF

Jan E. Bode leitet seit 2019 den Projektträger Luftfahrtforschung.

Welche Rolle wird der deutschen Luftfahrtforschung in Zukunft zukommen?

: Die Luftfahrt befindet sich in einem bisher nie dagewesenen Umbruch. Sowohl die Auswirkungen der Corona-Pandemie als auch die Folgen des Klimawandels stellen die Branche vor epochale Herausforderungen. Gleichzeitig verändern und beschleunigen sich die Prozesse in der Luftfahrt. Das liegt auch an vielen Start-ups, die in diesem Bereich entstehen.

Jetzt gilt es daher, durch die Erforschung und Entwicklung zukunftsweisender Technologien und durch die Einbindung neuer Geschäftsmodelle die Akzeptanz in der Bevölkerung für den Luftverkehr zu erhalten und auszubauen. Die einzigartigen Möglichkeiten von Flugreisen sollten uneingeschränkt auch den kommenden Generationen zur Verfügung stehen. Nehmen wir beispielsweise die Vorteile, die der Austausch der Kulturen mit sich bringt, sowohl für jeden Menschen als auch für den globalen Zusammenhalt. Entsprechend muss diese Form des Reisens zukünftig nachhaltig sein. Dafür forcieren wir, analog zu anderen Verkehrsbereichen, die Elektrifizierung der Antriebsstränge.

Was dürfen wir dabei nicht aus dem Blick verlieren?

: Zum einen ist das die ganzheitliche Wertschöpfungskette: Wir müssen den kompletten Produktlebenszyklus betrachten, also vom Engineering über Fertigung und Betrieb bis hin zum Recycling. Wichtig ist aber auch, sich nicht nur auf die Technik zu fokussieren, sondern genauso die Effekte für den Menschen und die Wirtschaftlichkeit im Blick zu haben. Mit Menschen meine ich hier die Passagiere im Flugzeug – wie können sie sich auch nach der Pandemie wohl fühlen? Die Menschen im Cockpit – wie kann die Menge an Informationen, wie Wetterbedingungen, Funkverkehr oder zur Luftraumüberwachung, bestmöglich verarbeitet werden? Und die Menschen am Boden – wie werden diese durch Fluglärm beeinflusst? Solche Fragestellungen werden bei uns technologieoffen bewertet.

Welche Aufgabe hat der Projektträger Luftfahrtforschung dabei?

: Unsere Aufgabe – hier beim Projektträger Luftfahrtforschung – liegt darin, als maßgebliche Betreuungsinstanz des nationalen Luftfahrtforschungsprogramms der Bundesregierung die beschriebene Transformation umzusetzen, indem wir Technologien fördern, die dieses Potenzial haben.

Unsere 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter stehen im direkten Austausch mit den Zuwendungsempfangenden aus Industrie und Forschung. So gesehen ist Deutschland mit seiner Wissenschaftsstruktur gut aufgestellt, sprich seitens Industrie, Forschungseinrichtungen und Universitäten. Damit das so bleibt und wir auch in Zukunft wettbewerbsfähig sind, plädieren wir dafür, auch den Ausbau von kleinen und mittelständischen Unternehmen zu fördern. Hier beraten wir und unterstützen die Vernetzung der Akteure. Neben dem klassischen Projektträgergeschäft sind wir folglich der zentrale Ansprechpartner der Bundes- und Landesministerien bei luftfahrtrelevanten Themen. Wir arbeiten hauptsächlich für das Wirtschaftsministerium, tauschen uns aber auch mit weiteren Ressorts wie dem Verkehrs-, dem Umwelt- und dem Verteidigungsministerium aus und beraten die EU-Kommission. Zusammengefasst arbeiten alle beim Projektträger Luftfahrtforschung daran, die Verkehrswende in der Luftfahrt umzusetzen.

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

- Forschungsförderung seit 27 Jahren
- Administrative und fachliche Betreuung der Landes- und Bundesprogramme
- Über 3.000 Vorhaben insgesamt, davon circa 1.000 aktuell laufend
- Nationale Kontaktstelle im Bereich Luftfahrtforschung für „Horizont Europa“
- Koordinierung auf internationaler und nationaler Ebene (Bund- und Länderbereich)
- Projektlaufzeit i. d. R. 3 ¼ Jahre

Stets im Wandel

Seit der Gründung haben die Verantwortlichen des Projektträgers Luftfahrtforschung über 3.000 Forschungsvorhaben betreut. Jedes von ihnen dauerte durchschnittlich dreieinviertel Jahre. Aktuell laufen über 1.000 parallel. Die Forschungsdisziplinen und Programmlinien wurden dabei stets an die aktuellen Entwicklungen in der Branche und Forschung angepasst und immer weiterentwickelt. So kamen in den letzten Jahren auch neue Technologiezweige wie Digitalisierung, die sogenannte Industrie 4.0, künstliche Intelligenz (KI) und emissionsarme Antriebskonzepte hinzu. Zusätzlich wurden eigenständige Programmlinien für Hochschulen sowie kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) etabliert. Ihr Ziel ist es einerseits, die Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs gezielt zu fördern und anderseits, Studierende langfristig an die Industrie heranzuführen. Auch für kleinere und mittlere Unternehmen wurde ein geschützter Bereich innerhalb des Forschungsprogramms erschaffen, in denen diese auch unabhängig von der Großindustrie ihre Ideen entwickeln können.

Die aktuelle Fördersystematik des Projektträgers Luftfahrtforschung besteht neben diesen Programmlinien inzwischen aus den wesentlichen sechs Fachdisziplinen der Luftfahrt, die sich an den wirtschaftlichen Betätigungsfeldern innerhalb der Luftfahrtbranche orientieren: Kabine, Antriebe, Strukturen und Bauweisen, Systeme, Flugphysik und Luftfahrtprozesse wie die Flugführung und -sicherung. Aus ihnen leitet sich eine Matrixorganisation der verschiedenen Vorhaben ab. Diese ist jedoch keineswegs starr, sondern wird sich auch künftig mit jedem neuen Aufruf an den aktuellen Trends und förderpolitischen Zielen orientieren und ausrichten.

Dr. Anne Lohoff leitet den Bereich Kommunikation/Öffentlichkeitsarbeit und Europäische Programme des Projektträgers Luftfahrtforschung.

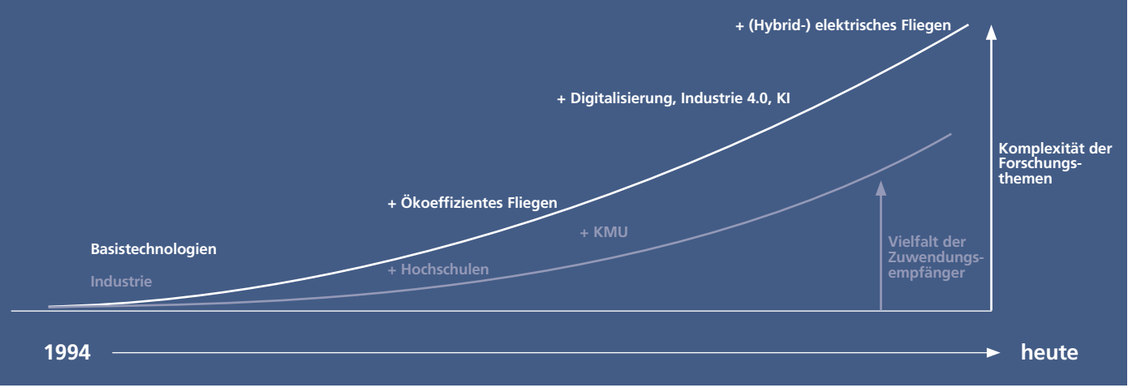
Weiterführende Informationen und
Kontaktmöglichkeiten finden Sie auf

www.luftfahrtforschungsprogramm.de

Bild: DLR-PT-LF

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter prüfen und beraten bei Luftfahrtforschungsprojekten von der ersten Idee über die Durchführung bis hin zum Abschluss der Vorhaben.

Der Projektträger Luftfahrtforschung hat seinen Standort in Bonn-Oberkassel.



AUS DEM ARCHIV

Im Zentralen Archiv des DLR lagern über 50.000 Dokumente. Darunter sind einige Schätze vergraben. Diese Rubrik begibt sich auf Spurensuche mitten hinein in die Flut von Bildern, Schriftstücken, Urkunden und Texten, um diese zu heben. Die erste Folge handelt von jungen Frauen, ohne die ein reibungsloser Forschungsbetrieb nicht möglich gewesen wäre.

Bild: Archiv DLR

Anfang der 1950er Jahre hielten große Rechenmaschinen wie die G2 von Heinz Billing Einzug in die Forschungseinrichtung. Sie wurden von technischen Rechnerinnen und Rechnern bedient.

RECHNEN UND RECHNEN LASSEN

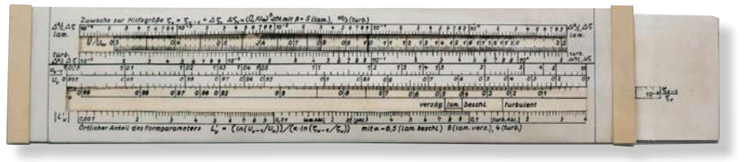
In Zeiten ohne Computer hielten technische Rechnerinnen die Forschung am Laufen

von Dr. Jessika Wichner

Heute erledigen Computer einen Großteil unserer Rechenarbeiten. Doch wie haben Forschungseinrichtungen eigentlich gerechnet, als der Computer noch in den Kinderschuhen steckte? Damals beschäftigte man sogenannte technische Rechnerinnen und Rechner, die in mühevoller Kleinarbeit Messdaten aufbereiteten und auswerteten. Vor einigen Jahren erschien in den USA das Buch „Hidden Figures" und kurze Zeit später der gleichnamige Kinofilm. Im Zentrum stehen darin die technischen Rechnerinnen des National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), die spätere amerikanische Weltraumagentur NASA. Aber auch in den Vorgängerorganisationen des DLR waren zahlreiche technische Rechnerinnen angestellt.

Echte Handarbeit

1907 wurde in Göttingen die erste Vorgängerorganisation des DLR, die sogenannte Modellversuchsanstalt der Motorluftschiff-Studiengesellschaft (MVA), gegründet. Hier entstand unter Leitung von Ludwig Prandtl der erste Windkanal Göttinger Bauart mit einem geschlossenen Strömungskreislauf. Solange die MVA nur über einen Windkanal verfügte, konnten die Messergebnisse noch von den angestellten Wissenschaftlern selbst ausgewertet werden. Nach und nach wuchs die seit 1918 in AVA (Aerodynamische Versuchsanstalt) umbenannte Forschungseinrichtung. Entsprechend stieg auch die Menge an Messdaten, die aufbereitet und ausgewertet werden mussten. Für diese Arbeiten stellte die AVA eine Reihe von technischen Rechnerinnen ein. Es handelte sich dabei vornehmlich um junge Frauen, die direkt von der Schule kamen und die Auswertungen von Windkanalmessungen vornahmen. Die technischen Rechnerinnen arbeiteten zu zweit, rechneten immer parallel und verglichen nach jedem Rechenschritt ihre Ergebnisse, damit sich keine Fehler in ihre Arbeiten einschlichen. Als Hilfsmittel verwendeten sie Rechenschieber und Rechenmaschinen, die ihnen die Arbeiten erleichterten. Da sich die klassischen Rechenschieber nicht für jede Art der Auswertung eigneten, entwarfen sie selbst auch neuartige Rechenschieber, mit deren Hilfe sie schnell und komfortabel komplizierte Gleichungen lösen konnten.



Für die aerodynamischen Berechnungen entwarfen die Rechnerinnen auch Rechenschieber mit Skalen, die im Fachhandel so nicht beschafft werden konnten.

Neben den technischen Rechnerinnen gab es in der AVA auch eine geringe Anzahl an technischen Rechnern. Hierbei handelte es sich größtenteils um Mathematikstudenten, die während der Semesterferien in der Forschungseinrichtung arbeiteten. Während des Zweiten Weltkriegs stieg die Zahl technischer Rechnerinnen in der AVA stark an. Die Gründe hierfür sind vielschichtig: So wurden die Versuchsanlagen in Göttingen in dieser Zeit um mehrere Hochgeschwindigkeitswindkanäle ergänzt sowie der Betrieb der Anlagen vom Zweischicht- auf ein Dreischichtsystem umgestellt, damit die Windkanäle rund um die Uhr laufen konnten. Die AVA übernahm ferner die Leitung verschiedener Außenstellen in den besetzten Gebieten, in die teilweise auch Fachkräfte aus Göttingen abgeordnet wurden. Insgesamt waren in der AVA im Jahr 1944 über 90 technische Rechnerinnen beschäftigt. Wie viele in den anderen Vorgängerorganisationen des DLR zur selben Zeit angestellt waren, lässt sich aufgrund fehlender Quellen nicht rekonstruieren, da von dort keine Personalakten aus dieser Zeit überliefert sind. Vergütet wurden sie ähnlich wie technische Zeichner oder technische Assistenten, die Messergebnisse notierten und dabei halfen, Modelle in Windkanälen zu platzieren.

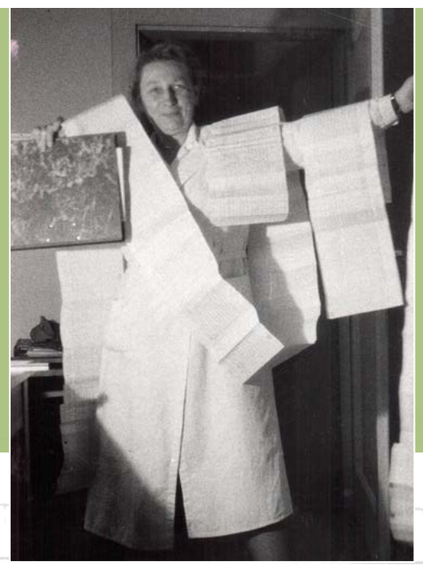


Bild: Archiv DLR

Maria Otto arbeitete von 1927 bis 1961 in der Aerodynamischen Versuchsanstalt, einer Vorgängerorganisation des DLR in Göttingen.

Unterricht in Mathematik, Physik und Flugmechanik

Um die angehenden Rechnerinnen möglichst schnell in ihr Arbeitsgebiet einzuführen, wurde in der AVA ein spezieller Schulungskurs angeboten. Die Teilnehmerinnen wurden sowohl im Bereich der Mathematik als auch in physikalischen Grundlagen und speziell auf dem Gebiet der Flugmechanik geschult, um ihnen ein umfassendes Verständnis für ihre künftige Arbeit zu vermitteln.

Insbesondere in den späten 1940er und frühen 1950er Jahren waren die Fortschritte bei den elektronischen Rechenmaschinen rasant, bald schon übertraf die Rechenleistung der von Konrad Zuse und Heinz Billing entwickelten Maschinen die Rechenkapazität der technischen Rechnerinnen bei Weitem. Damit einhergehend wandelte sich auch ihr Berufsbild. Sie führten nun nicht mehr die eigentlichen Rechenoperationen aus, sondern schrieben die „Software" für die elektronischen Rechenmaschinen und sorgten dafür, dass diese störungsfrei liefen.

Die technischen Rechnerinnen aus den Vorgängerorganisationen des DLR haben, anders als ihre Kolleginnen in der NACA und späteren NASA, nicht den Weg für die bemannte Raumfahrt geebnet. Über sie gibt es auch keinen Hollywood-Film. Dennoch waren sie ein essenzieller Bestandteil des Forschungsalltags, und ohne sie hätten unsere Wissenschaftler ziemlich alt ausgesehen. Durch ihre Ausdauer und Genauigkeit in der Auswertung von Messdaten bildeten sie das Rückgrat der Forschung. Das oftmals zitierte Vorurteil, Frauen seien in Mathematik deutlich schlechter als Männer, hatte also schon damals nur wenig mit der Realität zu tun.

Dr. Jessika Wichner leitet das Zentrale Archiv des DLR in Göttingen.

AUF DEM PILOTENSITZ

Das Nationalmuseum der U.S. Air Force

von Joshua Tapley

Bild: U.S. Air Force, Ken LaRock

In der Nähe von Dayton, Ohio, der Heimatstadt der Gebrüder Wright, steht das Nationalmuseum der U.S. Air Force. Es ist das größte militärische Luftfahrtmuseum der Welt und stellt über 300 Flug- und Fahrzeuge sowie Tausende einzigartige Artefakte aus. Das Museum präsentiert die Geschichte des Fliegens in den Vereinigten Staaten, speziell die der militärischen Luftfahrt, vom Doppeldecker bis zum Spionagesatelliten. Noch beeindruckender ist allerdings, dass interessierte Besucherinnen und Besucher heute nicht mehr in die USA reisen müssen, um die Exponate zu bestaunen. Sie können sich einfach auf eine selbstgeführte, virtuelle Tour begeben.

Schon der Einstieg ist spektakulär: Zu Beginn des virtuellen Besuchs landet man wie mit einem Fallschirm mitten auf dem Flugfeld vor dem Museum und steht vor seinen vier riesigen Hangars. Der erste widmet sich der Frühzeit des Fliegens, von den ersten Aktivitäten der Gebrüder Wright bis zum Zweiten Weltkrieg. Er enthält die größte Vielfalt an Flugzeugformen, bevor die effizientesten Konstruktionen identifiziert und immer weiter optimiert wurden: Ballons, Luftschiffe, Doppeldecker aus Stoff und Holz, offene Kabinen, farbenfrohe Lackierungen – alles präzise nachgebildet und mit der Möglichkeit, bis ins kleinste Detail heranzuzoomen. Sogar ein früher Hubschrauberentwurf ist dort zu sehen: der Kellett K-2/K-3 Autogiro. Vor dem Zweiten Weltkrieg hatten sich Luftfahrtingenieure das Ziel gesetzt, ein Flugzeug zu bauen, das sowohl kurze Starts

SAM 26000 (Air Force One) im Air-Force-Museum. Die Boeing 707 wurde speziell für die Präsidenten der Vereinigten Staaten gebaut.

Das National Museum of the United States Air Force liegt am Rande der Wright-Patterson Air Force Base in Dayton im U.S.-Bundesstaat Ohio.

Bilder: U.S. Air Force, Ken LaRock

und Landungen durchführen als auch sehr langsam fliegen konnte. Diese Bemühungen führten schließlich zum Hubschrauber. Der Autogiro ist ein alternativer Designvorschlag aus dieser Zeit.

Die anderen Hangars zeigen die Geschichte der U.S.-Militärluftfahrt. Es ist schwer zu übersehen, wie schnell diese sich weiterentwickelt hat – nicht nur im Aussehen der Flugzeuge. In 360°-Bildern erhalten Besucherinnen und Besucher einen kompletten Überblick vom Pilotensitz. Die rasche Zunahme von Anzeigen, Lichtern, Messgeräten und Hebeln veranschaulicht, wie herausfordernd es für Pilotinnen und Piloten der Luftwaffe gewesen sein muss, seit den 1900er Jahren mit der rasanten Entwicklung mitzuhalten.

Der letzte Flug der Valkyrie

Das unverkennbare Markenzeichen des Museums ist die futuristische XB-70A Valkyrie. Mit beinahe sechzig Metern Länge ist das Flugzeug fast doppelt so lang wie der legendäre erste Flug der Gebrüder Wright in Kitty Hawk. Ursprünglich sollte die Valkyrie Nuklearschläge mit Überschallgeschwindigkeit durchführen. Doch etwa zehn Jahre später, in den frühen 1960er Jahren, erkannte man, dass Langstreckenraketen ein zuverlässigeres und kostengünstigeres Mittel für diese Aufgabe waren, und strich 1961 das teure B-70-Bomberprogramm.

Um das Potenzial von Überschallflugzeugen weiter zu erforschen, kaufte die U.S. Air Force zwei XB-70A Valkyries. Die erste ist im Museum ausgestellt. Sie wurde für die Erprobung der Aerodynamik, des Antriebs und anderer Eigenschaften von großen Überschallflugzeugen eingesetzt. Ihren Erstflug absolvierte sie im September 1964 und erreichte im Oktober 1965 Mach 3 (dreifache Schallgeschwindigkeit). Die zweite Valkyrie wurde im Juni 1966 nach einem Unfall in der Luft zerstört. Die einzige verbliebene Valkyrie wurde ins Museum geflogen, nachdem sie über vier Jahre lang wertvolle wissenschaftliche Testdaten geliefert hatte. Seit Oktober 2015 ist sie dort im vierten Hangar zu besichtigen.

SAM 26000 oder Air Force One

Jedes Flugzeug der Air Force, bei dem der Präsident der Vereinigten Staaten an Bord ist, trägt das Rufzeichen Air Force One. So ist gewährleistet, dass sein Aufenthaltsort unzweifelhaft feststeht. SAM 26000, eine Boeing VC-137C, ist das erste Düsenflugzeug, das speziell für den Einsatz eines U.S.-Staatschefs gebaut wurde. Während der 36-jährigen Flugkarriere beförderte es acht Präsidenten und unzählige Staatsoberhäupter, Diplomatinnen und Beamte aus aller Welt auf Reisen, die als Special Air Missions (SAM) bekannt sind. Im Nationalmuseum steht die Maschine, die Präsident Kennedy im Juni 1963 nach West-Berlin flog, wo er seine berühmte Rede mit dem Zitat „Ich bin ein Berliner" hielt. Nach mehr als 13.000 Stunden am Himmel veranschaulicht die SAM 26000 nun für die Besucherinnen und Besucher des Museums die globale Reichweite der U.S.-amerikanischen politischen Macht während des Kalten Krieges.

Allein im Museum

Ohne die Menschen, die um dieses oder jenes Exponat herumlaufen, ist es in den Hangars jedoch gespenstisch still. Museen sind von Natur aus soziale Räume. Sie bieten Bildungsangebote und Führungen an und sind oft auf Spenden oder die Einnahmen vor Ort angewiesen. Der Audioguide und die in den Ausstellungsgalerien eingestreuten Videos durchbrechen zwar die Ruhe, können aber nicht die Atmosphäre eines Raumes einfangen, der normalerweise voll mit Publikum ist. Dennoch übertrifft das virtuelle Erlebnis die Erwartungen bei Weitem. In Zeiten der Pandemie haben das Air-Force-Museum und viele andere große Anstrengungen unternommen, um den Geist der Ausstellungen am Leben zu erhalten und ihre Bildungsangebote auf neue Zielgruppen auszuweiten. Ihre Bemühungen bieten eine überraschend ansprechende Möglichkeit, Museen auf der ganzen Welt bequem von zu Hause aus zu besuchen.

Joshua Tapley ist Redakteur für das englische DLRmagazin bei EJR-Quartz.

National Museum of the United States Air Force
Adresse:
1100 Spaatz Street
Wright-Patterson AFB OH 45433
Dayton, Ohio, USA

Preise: Kostenlos, vor Ort und virtuell

www.nationalmuseum.af.mil

nmusafvirtualtour.com

Tipps für den virtuellen Rundgang: Die vielen Optionen und Funktionen lassen zunächst den Eindruck entstehen, man stünde vor den Knöpfen und Hebeln eines Kampfjets. Die Tour bietet mehr, als der erste Blick offenbart. Allerdings sind die verschiedenen Funktionen nicht sonderlich gut eingegliedert, beispielsweise ist die Audiotour nicht in das Fenster der virtuellen Tour selbst integriert. Während der Tour empfiehlt es sich daher, mehrere Webbrowser-Fenster geöffnet zu haben, um den Überblick zu behalten.

UND EINE BOTTLE VOLL MUMM

Die Inventarliste von Thor Heyerdahls Expedition von Peru nach Polynesien auf einem nachgebauten Inka-Floß weist neben Erwartetem wie Proviant, Sextant, Funkempfänger, Harpunen und Schiffsapotheke auch eine Gitarre und einen Papagei aus. Die Journalistin und Weltreisende Nellie Bly nahm zu ihrer Weltumrundung nur eine Ledertasche mit, die neben sparsamer, extra strapazierfähiger Reisekleidung auch einen Tiegel Goldcreme und eine Flasche Mumm-Champagner enthielt. Amelia Earhart hatte auf ihrem Atlantik-Überflug nicht nur Fallschirm und Rettungsboot dabei, sondern auch Dr. C.H. Berry's Salbe gegen Sommersprossen. Sir Robin Knox-Johnston dachte für die erste Solo-Weltumseglung an alles zum Überleben und zur Kommunikation Notwendige, sogar Briefpapier nahm er mit auf sein Teakholzboot, dank dem er mangels Funkkontakt einem vorüberfahrenden Schiff Post an seine Lieben zu Hause mitgeben konnte; Rasierzeug, die Pumpe für die Druckluftharpune und Lötzinn für Reparaturen an der Elektronik hatte er allerdings vergessen …

„Womit Amundsen, Heyerdahl, Messner und Co. ins Unbekannte zogen", so der Untertitel des Bild-Textbandes **Im Rucksack der Entdecker (wbgTHEISS),** konnte über Leben und Tod entscheiden. Ausrüstungsgegenstände, Fotos und jede Menge erstaunlicher Informationen hat der britische Abenteurer Ed Stafford zusammengetragen – und seine Amazonaswanderung von 2008 bis 2010 sowie die Kanufahrt seiner Frau Laura Bingham entlang des Essequibo ganz selbstbewusst und zu Recht mit ins Buch aufgenommen. Er erzählt die Geschichten von wagemutigen Frauen und Männern mit Blick auf das, was diese auf ihre Reisen ins Ungewisse mitnahmen. Das ist einfach gut geschrieben, interessant zusammengestellt und vor allem von Christine Berrie sehr schön illustriert. Die Seiten, auf denen die liebevoll gezeichneten Geräte, Bekleidungsstücke und Accessoires ausgebreitet zu sehen sind, hat Berrie in gedeckten Farben mit leichter Sepia-Tönung gehalten. Sie geben dem Buch einen besonderen Charme. Den entfalten bereits der Umschlag und die Einbandgestaltung in den Farben Petrolblau und Cremeweiß mit den vielen detailverliebten Zeichnungen von Ausrüstungsgegenständen nach Art von Wimmelbildern.

Einmal aufgeschlagen, möchte man das 230-Seiten-Buch gar nicht mehr aus der Hand legen, so spannend sind die Geschichten, so faszinierend die Fotos. Und Kapitel für Kapitel wird eines immer klarer: Egal wie gut die Ausrüstung ist, wie ausgeklügelt die Logistik: Keine Exkursion ins Unbekannte gelingt ohne immensen Enthusiasmus, großes Vertrauen, materielle und moralische Unterstützerinnen und Unterstützer. Vor allem aber nicht ohne sehr viel Mut.

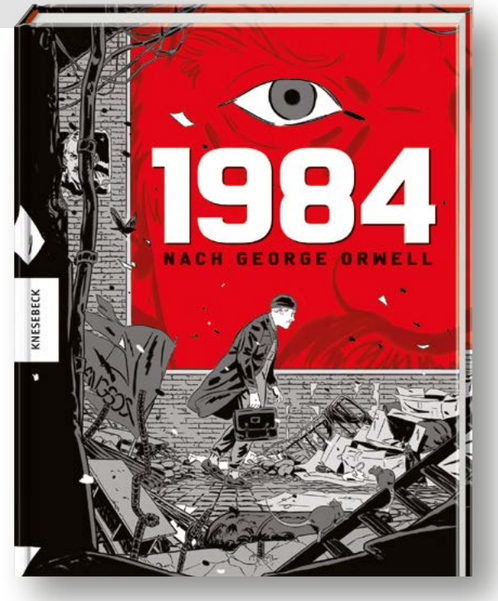
Cordula Tegen

DIE ZUKUNFT IST VERGANGENHEIT IST GEGENWART

George Orwell schrieb seinen pessimistischen Zukunftsroman „1984" kurz nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs. Als das Buch 1949 erschien, lagen die Ereignisse um Winston Smith, einen kleinen Angestellten des „Ministeriums für Wahrheit", 35 Jahre in der Zukunft. Orwells Geschichte um ein Individuum, das beginnt, gegen einen totalitären Überwachungsstaat zu rebellieren, wurde zum modernen Klassiker.

Die düstere Vision bietet sich geradezu an, um in atmosphärischen, hauptsächlich in Schwarz-Weiß gehaltenen Bildern erzählt zu werden. Zusammen mit dem dichten, reduzierten Text entwickelt die Graphic Novel **1984 (Knesebeck Verlag)** ihre Sogwirkung. Im Jahr 2021 liegt die Handlung zwar 37 Jahre in der Vergangenheit. An Aktualität hat sie aber nicht verloren. Motive wie „Big Brother is watching you" oder die Idee vom „Neusprech", um das Denken der Menschen über eine Veränderung der Sprache zu beeinflussen, lassen Parallelen zur Gegenwart erkennen – und das fast 72 Jahre nach Erscheinen des Romans.

Philipp Burtscheidt



CHARMANTE LÜGE

Lernen Sie gerne? Beherrschen, oder mögen Sie wenigstens Mathematik? Sind Sie von ihr jedenfalls fasziniert? Wunderbar. Nichts von alledem? Dann springen Sie bitte zum Schluss. Vorab aber soll der Spoiler in der Überschrift aufgelöst werden: Ein Satz, gleich zu Beginn von Albrecht Beutelspachers **Null, unendlich und die wilde 13 (C.H. Beck)** ist glatt gelogen. Er lautet: „Sie brauchen zur Lektüre dieses Buches keinerlei mathematische Vorkenntnisse."

Albrecht Beutelspacher, emeritierter Professor für Diskrete Mathematik und Gründungsdirektor des Gießener Mathematikums, dürfen wir charmante Absicht unterstellen: Paradoxerweise hat er recht und der Satz ist falsch. In der Mathematik geht vieles. Ihr Reich zählt zu den größten, ziemlich wilden Ozeanen des Menschlichen. Mit Absicht schmückt das Titelbild ein Zahlenozean, auf dem eine Nussschale von einem Piratenschiff, Totenkopf am Bugspriet, hin- und herschwankt. Ist Professor Beutelspacher also ein Freibeuter des Geistes? Uns Lesende jedenfalls führt er unmerklich scheinbar in die Irre, von Kapitel zu Kapitel weit weg vom bedrohlichen Ozean einer „Formel-Mathematik". Er lässt uns bei „Eva, mit der sich alles änderte", beginnen, spricht von Schneekristallen, leuchtenden Sonnenblumen, von Kaninchen und von leckersten Zikaden, die eine wilde Primzahl zu kennen scheinen. Schließlich führt der Autor zum ersten Höhepunkt dieses Buches: einer nie endenden Wahrheit in Stille, die nach dem vielleicht letzten jemals von Johann Sebastian Bach komponierten Ton eintritt …

Mathematik also als Kulturgeschichte, in einem 200 Seiten schmalen Band? Nein. Und ja. Beutelspacher weckt in uns bildkräftig und leichtfüßig Sehnsucht nach dem Ozean der Zahlen: Nach plus/minus fünfzehn Kapiteln wollen wir hinaus auf See – und dort drohen plötzlich die „Opalka-Zahl", „absurde" Zahlen, ein „Hauch von Nichts", „imaginäre" Zahlen, die „geheimnisvolle Transzendente" und der Nachweis, dass es nicht die Unendlichkeit, sondern nur die Unendlichkeiten gibt. Last, ziemlich sicher niemals least, mathematische „Mächtigkeiten", Formeln und der Schein von Wirklichkeit(en). Sie werden von diesen Seiten verzaubert, sofern Sie beim Wort nehmen, was Technik der Mathematik ursprünglich bedeutet: Kunst des Lernens.

Peter Zarth

ANGUS‘ MÜHSAMER WEG ZU HERRN HALLEY

Während der elfjährige Angus als blinder Passagier im Mastkorb hockt und darauf wartet, dass die Berkeley Castle ihre Fahrt von der Insel Sankt Helena im Südatlantik nach England aufnimmt, greifen seine Gedanken in alle Richtungen, wobei ihm einfällt, was man hätte besser machen können (zum Beispiel Vorkehrungen fürs Pissen und die handfesteren Angelegenheiten zu treffen) und er fragt sich, ob man, wenn man weiß, was jetzt ist, aber nicht weiß, was kommt, und das Falsche glaubt, dann noch etwas weiß. Doch alsbald dreht sich das Schiff unterm Wind und Angus sieht seine Mutter winken, kann aber nichts tun als sich im Korb ducken, den wichtigen Brief von Pastor Burch an Herrn Halley an sich drücken und hoffen, nicht entdeckt zu werden.

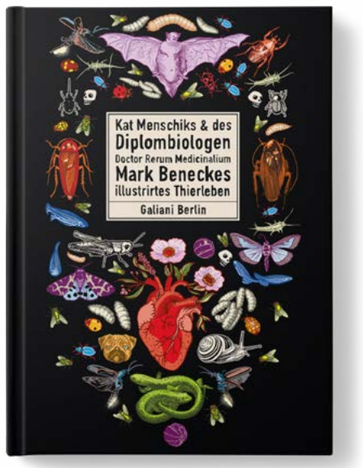
Mag das Lesen zuweilen recht verzwickter Sätze in Olli Jalonens Buch **Die Himmelskugel** zunächst mühselig erscheinen, so entfalten sie nach wenigen Seiten doch den ungeheuren Reiz, teilzuhaben an den Beobachtungen und Erkenntnissen des Sohns vom verstorbenen „Totholz-Steven“, der entgegen allen Gepflogenheiten ausgangs des 17. Jahrhunderts unbedingt lesen und schreiben lernen will. Und zählen. Sterne zum Beispiel. Dafür übt er seine Augen Nacht für Nacht. Er nimmt Demütigungen und Schläge hin, erlebt Qualvolles auf der Überfahrt nach England. Schließlich erreicht er allen Widerständen zum Trotz sein Ziel: Angus von der Totholzebene steht an der Seite des Astronomen und Universalgelehrten Edmond Halley und vernimmt die sein Leben lang ersehnten anerkennenden Worte „Gut Angus, sehr gut“. Das ist direktes Loben, stellt er beglückt fest.

Lob gebührt auch dem finnischen Autor und dem Verlag **mare** für diesen überaus inspirierenden Abenteurerroman, in dem die Menschen die Stars sind: ein wissenshungriger Junge, der ebenso einfache wie verblüffende Fragen stellt, eine liebende Mutter, ein Pastor, der versucht, ihm Antworten zu geben, und ein Gelehrter, dessen Klugheit Ansporn ist. Empfehlenswert!

Cordula Tegen

THIERISCHES LEUCHTFEUER

Was unterscheidet den Alexandersittich (*Psittacula eupatria*) vom Indischen Plaudervogel (*Cracula papperlapappa*)? Ersterer flattert in Scharen laut kreischend wie ein schriller Sidekick des alltäglichen Lebens durch viele Metropolen entlang des Rheins. Der Indische Plaudervogel schwirrt hingegen ausschließlich durch die Köpfe derjenigen, die sich der Welt von Donald und Daisy Duck stark verbunden fühlen. Ihre Gemeinsamkeit: Beide werden in **Kat Menschiks & des Diplombiologen Doctor Rerum Medicinalium Mark Beneckes illustrirtes Thierleben** beschrieben.

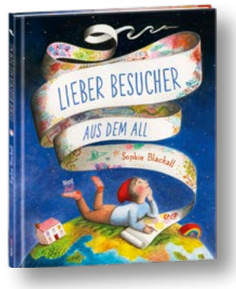


Skurrile Fakten und pointierte Anekdoten sind die Stammwürze des 160 Seiten starken Buchs, das im **Verlag Galiani Berlin** erscheint. Die Texte des populären Kriminalbiologen Dr. Mark Benecke leuchten stilistisch und inhaltlich in ähnlich vielen Farben wie die wunderschönen Illustrationen von Kat Menschik. Zwischen einem Exkurs in die Vererbungslehre anhand der Kreuzung von Wolfspudeln und der Beschreibung blutiger Küsse unter Vampirfledermäusen sind auch Kapitel zu finden, die sich nekrophilen Enten, betrunkenen Elchen und Meerjungfrauen widmen. Stets unter Rückgriff auf historische Beschreibungen aus der Wissenschaft (teils längst) vergangener Zeiten.

Menschiks und Beneckes Thierleben ist ein Buch, das unterhaltend bildet und informierend amüsiert. Ein Buch, das der Anhäufung von spannendem Hintergrundwissen ebenso dienlich ist wie dem Sammeln großartiger Fun-Facts. Und eines, das zudem dazu geeignet ist, die Optik des Bücherregals aufzuwerten.

Simon Neumann

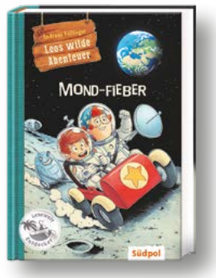
WILLKOMMEN ZU HAUSE



Wie erklärt man einem Außerirdischen, der zu Besuch auf die Erde kommt, unseren Planeten? Quinn, der Erzähler aus Sophie Blackalls Bilderbuch **Lieber Besucher aus dem All (NordSüd)** gibt sich alle Mühe, die Vielfalt seiner Heimat zu zeigen. So schreibt er einen Brief, in dem er nicht nur die irdische Beschaffenheit und ihre Tierwelt beschreibt, sondern auch unser Zusammenleben: den Alltag, die Konflikte, verschiedene Familien und Kulturen. Die in warmen Farben gehaltenen Illustrationen zeigen unsere Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Vor allem aber zeigen sie, dass wir uns alle diesen außergewöhnlichen, bewahrenswerten Planeten teilen. Und das geht am besten, wenn wir uns mit Respekt begegnen.

Julia Heil

LEO UND DIE SUPER-TANTE



„Kann meine Tante wohl mit mir auch so eine Weltraumreise machen?“ Das war die erste Frage meines siebenjährigen Sohnes, nachdem wir **Mond-Fieber (Südpol)** von Andreas Völlinger gelesen hatten. Damit steht nun die eine oder andere Tante ganz schön unter Druck. Agnetha, der Daniel Düsentrieb unter den Tanten, hat sich zum Geburtstag ihres Lieblingsneffen Leo was Besonderes überlegt: mit Raumschiff Amelia und Haushaltsroboter Albert gehts auf zum Mond. Doch als die beiden mit ihrem Mond-Mobil eine Panne haben, müssen sie sich schnell etwas einfallen lassen. Der Sauerstoff ihrer Raumanzüge hält nicht ewig. Doch zum Glück hat Leo eine Idee ... Klar, der Erfindergeist liegt schließlich in der Familie. Ein wunderbar fantasievolles Buch für die ersten Leseerfahrungen, aber auch zum Vorlesen geeignet – für kleinere Abenteurer.

Miriam Poetter

AUSFLUG IN DIE WELT DER ZAHLEN

„Kannst du dir eine Welt ohne Zahlen vorstellen?“ Diese Frage auf den ersten Seiten bestimmt den Ton des Bilderbuchs **Zählen, Rechnen, Messen (Kleine Gestalten).** Bunt, abwechslungsreich und informationsgeladen führt es durch die Kulturgeschichte der Zahlen. Leicht verständliche Texte erklären Themen wie Zeitmessung, Handel, Maßsysteme, Rechenmaschinen oder die Frage nach der Unendlichkeit. Dabei lässt der detaillierte, leichte Stil der Illustratorin Daniela Olejníková immer wieder Neues entdecken. Ein spannendes Sachbuch, das nicht nur Kindern zeigt, welche wichtige Rolle diese universelle Sprache in unserem Alltag spielt.

Julia Heil

ZEITREISE DURCH DIE WELT
earthengine.google.com/timelapse
Bei Google Earth kann man nun nicht nur virtuell durch Straßen schlendern und Höhenkarten des Meeres bestaunen, seit dem jüngsten Update sind auch die Veränderungen der Erde sichtbar. 24 Millionen Satellitenbilder aus den letzten 37 Jahren wurden in die Software eingebettet. Nutzerinnen und Nutzer können sich nun auf eine Zeitreise begeben und Orte im Wandel der Zeit betrachten – manches ist unterhaltsam und informativ wie der Bau des Berliner Flughafens, manches schlicht erschreckend wie die Abnahme des arktischen Eises.

WETTLAUF ZUM MOND
s.DLR.de/wn7NF
“I believe that this nation should commit itself to achieving the goal, before this decade is out, of landing a man on the moon and returning him safely to the earth.“ 60 Jahre sind vergangen, seitdem der amerikanische Präsident John F. Kennedy diese Worte im US-Kongress sprach. Mit ihnen begann der lange Weg, der 1969 in der Mondlandung gipfelte. Dieser Blog beleuchtet die Hintergründe und wirft einen Blick auf dieses spannende Kapitel der Raumfahrtgeschichte.

GEMÜSE AUS DER ANTARKTIS
krautnah.de/episode-16
Der DLR-Raumfahrtingenieur und Antarktis-Gärtner Dr. Paul Zabel war zu Gast beim Pflanzenforschungs-Podcast Krautnah. Dort erzählt er über das EU-Projekt EDEN ISS, bei dem Obst und Gemüse in einem speziellen Container in der Arktis angebaut werden. Ziel des Projekts ist es, Gewächshaussysteme zu entwickeln, mit denen sich Astronautinnen und Astronauten auf mehrjährigen Weltraumexpeditionen selbst versorgen können. Aktuell berichtet die NASA-Wissenschaftlerin Jess Bunchek auf DLR.de/blogs über ihren spannenden Forschungsaufenthalt auf dem kältesten Kontinent der Erde.

CHECK DEIN BUDGET
showyourbudgets.org
Eine Webseite für alle, die wissen möchten, wann das eigene Land klimaneutral sein muss, damit das Pariser Klimaabkommen eingehalten werden kann. Neben einer Übersichtsgrafik für die ganze Welt kann man sich auch den Graphen für das eigene Land anzeigen lassen. Ein detaillierter FAQ-Bereich legt darüber hinaus die Hintergründe und die Faktengrundlage für die Webseite offen.

VIELFÄLTIGES MOSAIK
wir-juden.com
Diese Online-Ausstellung beinhaltet über eintausend Text- und Bildeinträge jüdischer Boxer, Erfinder, Models, Piraten, Schauspielerinnen und Schauspieler, aber auch von Flugpionieren und Raumfahrenden. An der Entwicklung wirkt ein Expertenkreis aus 30 Politologen, Medienexpertinnen, Künstlern und Dozentinnen mit. Die Ausstellung wird beständig erweitert.

Titelbild

Ein Chip kann das Herz eines Quantencomputers bilden. Auf ihm werden einzelne Atome oder Ionen wie in einer Falle gefangen. Diese dienen als Informationsträger und werden als Qubits oder Quantenbits bezeichnet. Quantencomputer haben das Potenzial, Aufgaben zu lösen, an denen klassische Computer scheitern. Innerhalb der nächsten vier Jahre wird das DLR gemeinsam mit Partnern aus Industrie, kleinen und mittleren Unternehmen, Start-ups und Forschung zwei Konsortien aufbauen, um die Voraussetzungen für den Bau eines deutschen Quantencomputers zu schaffen sowie die entsprechende Software und Anwendungen zu entwickeln.

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt