

KOPFÜBER INS ABENTEUER

DIE MMX-MISSION WIRD DIE MARSMONDE ERKUNDEN



Titelbild

Unser Nachbarplanet Mars ist schon recht gut erforscht. Zahlreiche Sonden und Rover erkundeten und erkunden seine Oberfläche. Ganz anders steht es um seine Monde Phobos und Deimos. Insbesondere ihre Herkunft ist bislang noch ein Rätsel. Die Mission MMX (Martian Moons eXploration) der japanischen Raumfahrtagentur JAXA, die voraussichtlich 2024 starten wird, soll die Lösung liefern. Dafür wird sie erstmals einen Rover und ein Probenrückholmodul auf dem Marsmond Phobos absetzen. Der Rover wurde in enger Kooperation des DLR mit der französischen Raumfahrtagentur CNES entwickelt, gebaut und betrieben. Acht DLR-Institute und -Einrichtungen sind daran beteiligt.

Bild: JAXA

Weitere Themen:

- ▶ **MIT ZEDU AUF ZERO**
Das DLR entwickelt das im Betrieb umweltfreundlichste Auto der Welt
- ▶ **RAUS AUS DER BOX!**
Mit Co-Development Flugzeuge kooperativ und schnell entwickeln

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: Andreas Schütz (V.i.S.d.P.), Julia Heil (Redaktionsleitung), Michael Müller

Kommunikation und Presse
Linder Höhe, 51147 Köln
Telefon 02203 601-2116
E-Mail info-DLR@dlr.de
Web DLR.de
Twitter [@DLR_de](https://twitter.com/DLR_de)

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten
Gestaltung: bplust agenturgruppe GmbH, Am Kabellager 11–13, 51063 Köln, bplust.de
ISSN 2190-0094

Online lesen:
DLR.de/dlr-magazin

Onlinebestellung:
DLR.de/magazin-abo

Kontakt:
Magazin@dlr.de

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. Titelbild: JAXA.



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.



IN EIGENER SACHE



Die Campus Collection des DLR

Bestimmt erinnern Sie sich – Ende 2022 hatten wir eine Umfrage initiiert, in der es um Ihre Zufriedenheit mit dem DLRmagazin und um Ihre Verbesserungsvorschläge ging. Die Resonanz war hoch: Insgesamt beteiligten sich über 500 Abonentinnen und Abonnenten. Was uns – neben der regen Beteiligung – besonders gefreut hat: Die große Mehrheit liest fast jede Ausgabe des Magazins. Und ebenso lesen die meisten es in gedruckter Form. Print wirkt also, immer noch!

Darüber hinaus haben Sie Ideen eingebracht, was wir in Zukunft noch besser machen können. Unter anderem wurden neue Rubriken vorgeschlagen: Seiten für Kids, Bilderrätsel, Umfragen, Fun Facts ... Und es kam unter anderem auch der Wunsch auf, mutiger in der Gestaltung zu sein. Wir nehmen Ihre Anregungen gerne auf und planen einen Relaunch für das kommende Jahr. Seien Sie also gespannt, wie sich das DLRmagazin entwickeln wird! Allen Lesenden, die sich die Zeit genommen haben, an der Umfrage teilzunehmen, gilt an dieser Stelle nochmal unser herzlicher Dank. Nur mit diesem wertvollen Feedback können wir am Puls der Zeit bleiben und Sie nicht nur weiter mit spannenden Artikeln zu DLR-Forschungsthemen versorgen, sondern auch die Begeisterung unserer Forschenden einfangen und den Nutzen der wissenschaftlichen Projekte für den Alltag beleuchten.

Übrigens: Aus allen, die an der Umfrage teilgenommen haben, sind zehn glückliche Gewinnerinnen und Gewinner der hiermit verbundenen Verlosung von T-Shirts aus der neuen DLR Campus Collection hervorgegangen. Die Gesellschaft von Freunden des DLR e.V. hat diese Verlosung dankenswerterweise unterstützt. Wir hoffen, Sie bleiben uns weiterhin treu, egal ob Sie das Magazin aus beruflichen oder privaten Gründen lesen, und betrachten den kommenden Relaunch als immateriellen Gewinn!

Liebe Leserinnen und liebe Leser,

Neugier treibt uns Menschen an. Wir wollen wissen, wie Dinge funktionieren, Neues erkunden und geben uns selten mit dem Erreichten zufrieden. Dies gilt naturgemäß besonders für die „forschende Zunft“. Wenn wir ferne Planeten mit wissenschaftlichen Experimenten unter die Lupe nehmen, erfahren wir nicht nur mehr über ihre Entstehung und Entwicklung, sondern auch etwas über die Vergangenheit unserer Erde. Die Mission MMX (Martian Moons eXploration) wird die Marsmonde Phobos und Deimos erforschen. Über das Rätsel, das deren Herkunft der Wissenschaft aufgibt, haben wir bereits in der vergangenen Ausgabe des DLRmagazins berichtet. Dieses Mal ist MMX das Titelthema. Der Grund: Das DLR steuert, gemeinsam mit der französischen Raumfahrtorganisation CNES, einen Rover bei, der auf einem der beiden Monde landen wird, um ihn im Detail zu charakterisieren. Eine Premiere für die Marsforschung! Im Sommer wird der Rover nach Japan verschifft, um für den für 2024 geplanten Start in das „Mutterschiff“ integriert zu werden. Im Januar hatten wir Gelegenheit, ihn in Toulouse zu besuchen, bevor sein Abenteuer beginnt.

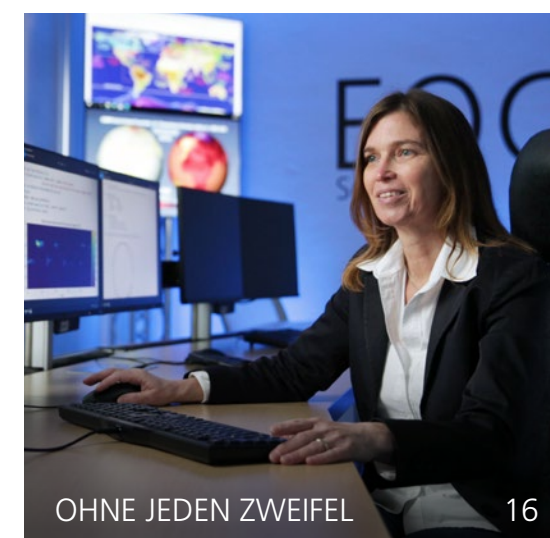
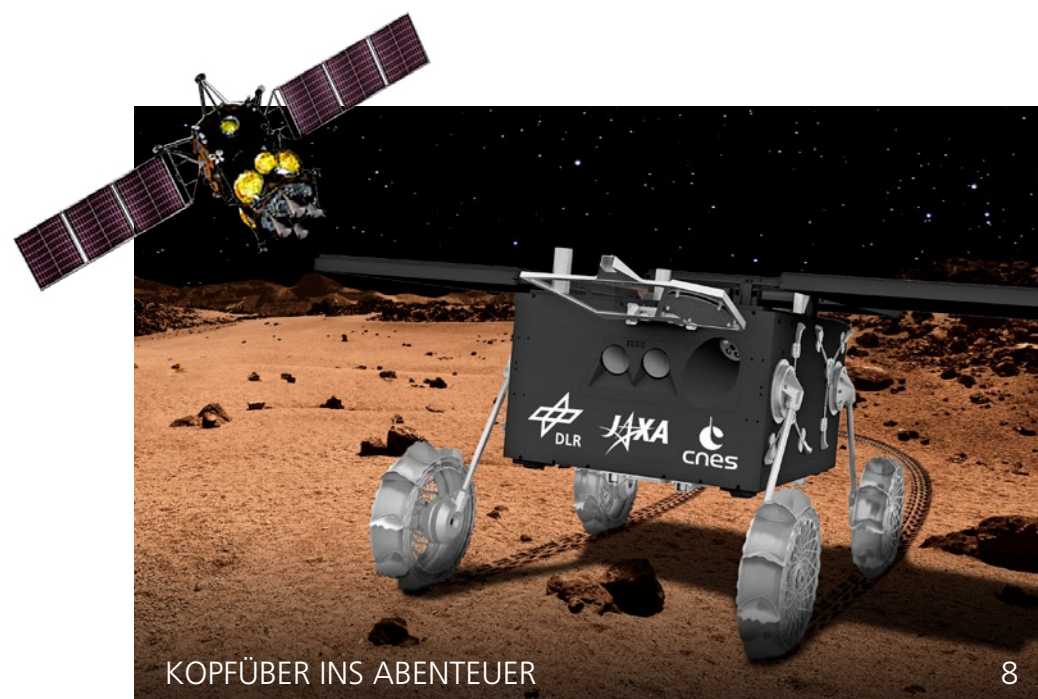
Ebenfalls von unbekanntem Terrain handelt das Interview mit Matthias Geßner, allerdings vor einem viel dringenderen Hintergrund: Der DLR-Wissenschaftler und sein Kollege Jörg Brauchle waren im Februar unmittelbar nach den verheerenden Erdbeben in der Türkei, um die Bergungsarbeiten mit fachlichem Know-how zu unterstützen. Dort kartierten sie die schwer getroffene Stadt Kırkhan aus der Luft. Die Informationen stellten sie internationalen Hilfsorganisationen zur Verfügung. Wie sie ihre Drohne für Kartierungsflüge mit dem DLR-Kamerasystem MACS einsetzten und welche Erfahrungen sie – menschlich wie fachlich – in der Katastrophenregion machten, erfahren Sie im Artikel in eindrucksvoller Weise.

Darüber hinaus in diesem Heft: Fahrversuche mit dem im Betrieb umweltfreundlichsten Auto der Welt, ein Designansatz, bei dem Flugzeuge kooperativ entworfen werden – eine Sache von guter Kommunikation –, ein Bericht über ein System, das Pilzbefall im Weinberg frühzeitig erkennen kann, und vieles mehr ...

Viel Vergnügen wünscht

Ihre Redaktion





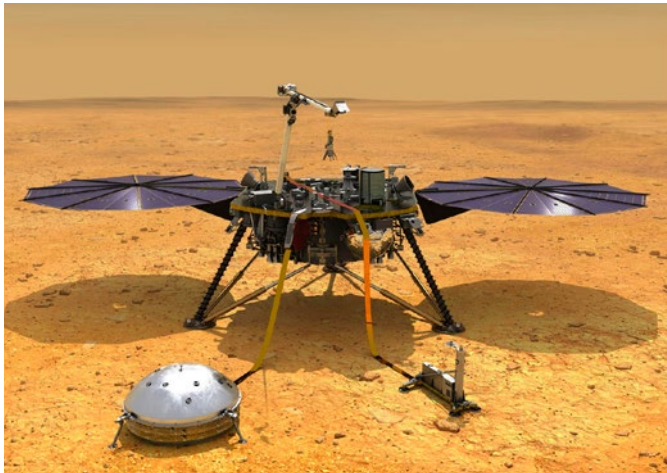
MELDUNGEN	6
► KOPFÜBER INS ABENTEUER Die Mission MMX erforscht die Marsmonde	8
KUH IST NICHT GLEICH KUH Das DLR untersucht globale Methanquellen	12
OHNE JEDEN ZWEIFEL Prof. Dr. Veronika Eyring entwickelt Klimamodelle	16
EINBLICK Willkommen im Candyland ...	20
AUF SCHNUPPERTOUR AM FLUGHAFEN Beeinflussen nachhaltige Kraftstoffe die Luftqualität?	22
► RAUS AUS DER BOX! Flugzeugkonzepte kooperativ entwerfen	24
WIR VERSTEHEN UNS Spracherkennungssoftware verbessert die Flugregelung	28
FLIEGENDER ALLROUNDER Der Forschungspilot Jens Heider	32
MEHRGLEISIG UNTERWEGS Infografik zu alternativen Antrieben im Schienenverkehr	34
► MIT ZEDU AUF ZERO Das umweltfreundlichste Auto der Welt	36
EIN AUSSERGEWÖHNLICHER EINSATZ Interview zu den Rettungsarbeiten in der Türkei	42
ALLES IM BLICK Lagebilder zum Schutz maritimer Infrastrukturen	44
DER PILZSUCHER Ein System detektiert Pilzbefall im Weinberg	48
WIE WISSENSCHAFT WIRKT Der DLR Projektträger bringt Ideen auf die Straße	50
GRÄFELFING, BITTE KOMMEN Die Geschichte der DVG	52
SCHWARMINTELLIGENZ UND EXZELLENZCLUSTER Unterwegs im Humboldt Labor Berlin	54
FEUILLETON	56

► = Titelthemen

MELDUNGEN

MARS-MISSION INSIGHT IST BEENDET

Nach über vier Jahren erklärte die amerikanische Weltraumagentur NASA im Dezember 2022 das Ende der geophysikalischen Mission InSight auf dem Mars. Die Mission lieferte Daten zu seinem Wärmehaushalt und seiner seismischen Aktivität im Inneren. Das Ziel war es, Informationen über den Aufbau und die thermische Entwicklung zu erhalten. Die Hauptinstrumente für die Messungen waren das Seismometer SEIS (Seismic Experiment for Interior Structures) der französischen Weltraumorganisation CNES und das Wärmeflussexperiment HP³ (Heatflow and Physical Properties Package) des DLR. Auch wenn HP³ nicht wie geplant mehrere Meter tief in den Marsboden hämmern konnte, sammelte das Experiment Daten über die mechanischen und thermischen Eigenschaften des Marsbodens. Die Aufzeichnungen von SEIS zeigten unter anderem, dass der Mars noch immer tektonisch aktiv ist, wenn auch in etwas geringerem Ausmaß als vor InSight angenommen. Weitere Ergebnisse sind, dass der Marskern größer und die Marskruste dünner ist als erwartet. Diese Erkenntnisse sind für die Planetenforschung von enormem wissenschaftlichem Wert.

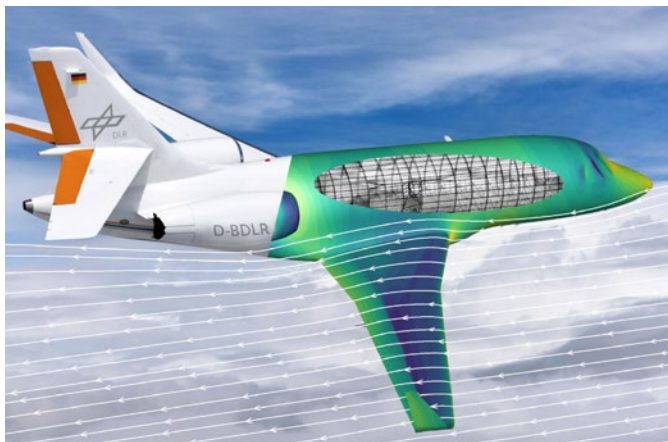


NASA/JPL-Caltech

Illustration der Mars-Landesonde InSight an ihrem Einsatzort in der Ebene Elysium Planitia

WIE STRÖMUNGSSIMULATIONEN FLUGZEUGE VERBESSERN

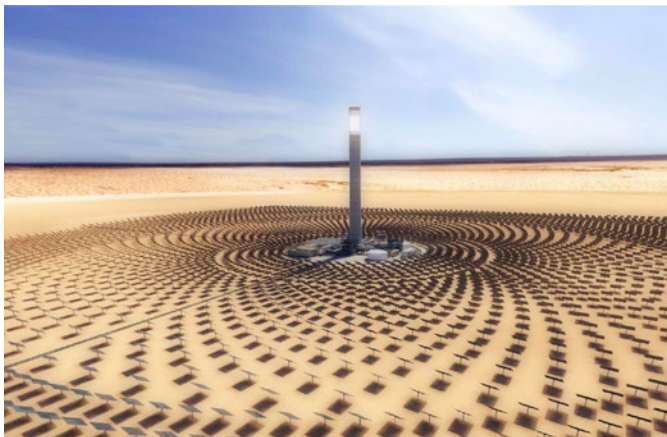
Die numerische Strömungsmechanik (engl. Computational Fluid Dynamics, CFD) verbindet angewandte Mathematik, Physik und Hochleistungsrechnen. Sie trägt dazu bei, besser zu verstehen, wie sich Luft über komplexe Strukturen bewegt. Gemeinsam erforschen Airbus, das DLR sowie die französische ONERA, wie Hochleistungsrechnen das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Aerodynamik und Flugzeugeffizienz verbessern kann. In der Vergangenheit arbeiteten die Forschungspartner mit ihren eigenen Computercodes, die das Fundament der CFD-Simulationen bilden. Obwohl die Codes effektiv waren, fand nur eine begrenzte Kommunikation zwischen den verschiedenen Entwicklungsteams statt. In Zukunft wollen die Fachleute die Codes auf aktuelle und künftige Forschungsprojekte ausweiten und sie gemeinsam weiterentwickeln.



Das DLR-Forschungsflugzeug ISTAR in der Strömungssimulation

KRAFTSTOFFE AUS NORDAFRIKA UND DEM NAHEN OSTEN

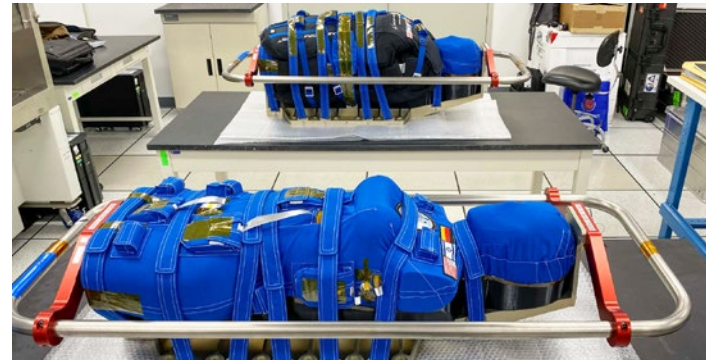
Der Nahe Osten und Nordafrika besitzen enormes Potenzial, Deutschland und Europa mit Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen aus erneuerbaren Ressourcen zu versorgen. Dies zeigt die MENA-Fuels-Studie des DLR, des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie sowie des Instituts für Zukunftsenergie- und Stoffstromsysteme (IZES). Das Potenzial zur Erzeugung von erneuerbaren Energien liegt in der MENA-Region (englisch: Middle East and North Africa) bei mehr als 400.000 Terrawattstunden pro Jahr. Besonders vielversprechend ist die Nutzung von Solarenergie in Form von Fotovoltaik und konzentrierender Solarthermie. Nahezu alle Länder könnten synthetische Kraftstoffe preiswert produzieren. An den günstigsten Standorten könnten die Kosten hierfür im Jahr 2030 zwischen 1,92 und 2,65 Euro pro Liter liegen – und im Jahr 2050 zwischen 1,22 und 1,65 Euro pro Liter.



SENER

Das solarthermische Turm-Kraftwerk NOORo III in Marokko

MONDFAHRERINNEN ZURÜCK AUF DER ERDE



In den Messpuppen verteilt befinden sich 34 aktive Strahlungsmessgeräte sowie über 12.000 Kristalle, die als passive Detektoren dienen.

Helga und Zohar sind wieder in den Händen des DLR. Die beiden Messpuppen des DLR und der israelischen Raumfahrtagentur ISA flogen im Rahmen der NASA-Mission ARTEMIS I an Bord des Orion-Raumschiffs zum Mond. Insgesamt war Orion 25 Tage unterwegs, davon zwei Wochen im Orbit des Erdtrabanten. Die sogenannten Phantome der MARE-Mission des DLR ahmen das Gewebe des weiblichen Körpers inklusive der Organe nach. Die gesammelten Daten geben Einblicke in die auf den weiblichen Körper bei einem Mondflug einwirkende Strahlungsdosis, das daraus entstehende Krebsrisiko und wirksame Gegenmaßnahmen. Zu diesem Zweck trug Zohar eine Strahlenschutzweste. Die Datenlage hinsichtlich des Krebsrisikos bei Männern ist bereits besser erforscht. Bei MARE liegt der Fokus nun auf Astronautinnen und darauf, die „Gender Data Gap“ zu verkleinern.

NEUES DLR-INSTITUT FORSCHT AN AUTONOMEM FAHREN



Im niedersächsischen Oldenburg eröffnete das DLR-Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität.

Bevor hochautomatisierte und autonome Verkehrsmittel zugelassen werden, muss gewährleistet sein, dass sie sicher und vertrauenswürdig sind. Das DLR-Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität in Oldenburg erforscht die Vertrauenswürdigkeit von IT-Systemen für das hochautomatisierte und autonome Fahren. Es wurde am 31. Januar eröffnet. Dabei fokussieren sich die Forschenden nicht nur auf den Straßenverkehr, sondern auch auf Schiffs- und Bahnverkehr sowie Luftfahrt. Hinter dem abstrakten Begriff „Systems Engineering“ steht die Fähigkeit, komplexe Produkte wie Schiffe oder Flugzeuge effizient und fehlerfrei zu entwickeln. Viele Bestandteile solcher Produkte nutzen maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz. Oft existieren allerdings keine Möglichkeiten, Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit nachzuweisen. Das DLR-Institut arbeitet an Methoden, komplexe Systeme effizient zu entwickeln und zu erproben. Unternehmen, Testeinrichtungen und Zulassungsbehörden benötigen diese Methoden dringend, um ihre Produkte für das hochautomatisierte und autonome Fahren sicherer zu machen und zuzulassen.

REGIONALMELDUNGEN:

BRAUNSCHWEIG: Das DLR wird zukünftig im Bereich automatisiertes und vernetztes Fahren enger mit der Autobahn GmbH des Bundes zusammenarbeiten. Ein Thema ist beispielsweise die Vernetzung von automatisierten Fahrzeugen untereinander und mit der Verkehrsinfrastruktur. Nur so können sie miteinander kommunizieren.

BERLIN: Im Projekt Vernetzte Mobilität für lebenswerte Orte (VMO4Orte) entwickelt und erprobt das DLR unter Leitung des Instituts für Verkehrsforschung Lösungsbausteine für einen zukunftsweisenden Wandel des Verkehrssystems. Dazu entwickeln die Forschenden neue Mobilitätskonzepte. Diese sollen klimaverträglich, wettbewerbsfähig, bedarfsorientiert und nah an den Menschen vor Ort sein.

COCHSTEDT: Zukünftig wird es mehr Drohnen im Luftraum geben. Um eine große Anzahl von ihnen sicher und effizient in das bestehende Flugverkehrsmanagementsystem zu integrieren, arbeiten Forschung und Industrie an einem einheitlichen EU-Konzept für einen Drohnenluftraum, dem sogenannten U-space. Das DLR richtet am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme einen U-space-Luftraum für Drohnen in Form eines Reallabors ein.

COTTBUS: Am 2. März eröffnete das DLR gemeinsam mit der BTU Cottbus-Senftenberg ein DLR_School_Lab. Hier können Schülerinnen und Schüler selbst Experimente durchführen. Diese setzen sich mit den Themen Aerodynamik, Strömungsdynamik, Raumfahrt, Energie, elektrifizierte Luftfahrtantriebe und CO₂-arme Industrieprozesse auseinander.

HAMBURG: Am ZAL TechCenter arbeiten auf 26.000 Quadratmetern aktuell über 30 Partner aus Industrie und Wissenschaft unter einem Dach – darunter die DLR-Institute für Systemarchitekturen in der Luftfahrt sowie für Instandhaltung und Modifikation, Airbus, Lufthansa Technik, Diehl, Dassault Systèmes, Fraunhofer und die Hamburger Hochschulen. Bis 2024 soll das TechCenter um 8.000 Quadratmeter erweitert werden.

KÖLN: Gemeinsam mit der Luftwaffe der Bundeswehr hat das DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin am 26. Januar das Kompetenzzentrum für Luft- und Raumfahrtmedizin eingeweiht. Hier werden beispielsweise die physiologischen und psychologischen Mechanismen erforscht, die als Grundlage für die Anforderungen an das fliegende Personal der Bundeswehr dienen. Umgekehrt erhalten die DLR-Forschenden direkte Rückmeldung aus der Praxis.

MANNHEIM: Von April bis Oktober findet die Bundesgartenschau auf dem ehemaligen Spinelli-Militärgelände in Mannheims Nordosten und im Luisenpark statt. Das DLR präsentiert dort das autonome, elektrische Fahrzeugkonzept U-Shift.

DLR.DE: MELDUNGEN AUF UNSERER WEBSITE

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

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

KOPFÜBER INS ABENTEUER

Der MMX-Rover wird den Marsmond Phobos erforschen

von Falk Dambowsky

Phobos und Deimos, die beiden Monde des Mars, geben noch viele Rätsel auf. Die Mission MMX (Marian Moons eXploration) der japanischen Raumfahrtagentur JAXA wird in der zweiten Hälfte der 2020er Jahre die beiden Trabanten erkunden, um insbesondere ihre Herkunft zu entschlüsseln. Mit an Bord führt sie einen deutsch-französischen Rover, der in enger Kooperation des DLR mit der französischen Raumfahrtagentur CNES entwickelt, gebaut und betrieben wird. Der MMX-Rover wird sich nach einer Landung im freien Fall auf Phobos, dem größeren der beiden Monde, selbstständig aufrichten. Ist das geschafft, wird er der erste Rover sein, der auf einem kleinen Körper unter extrem geringer Schwerkraft rollt. Die Tests und Vorbereitungen dafür laufen jetzt auf der Erde.

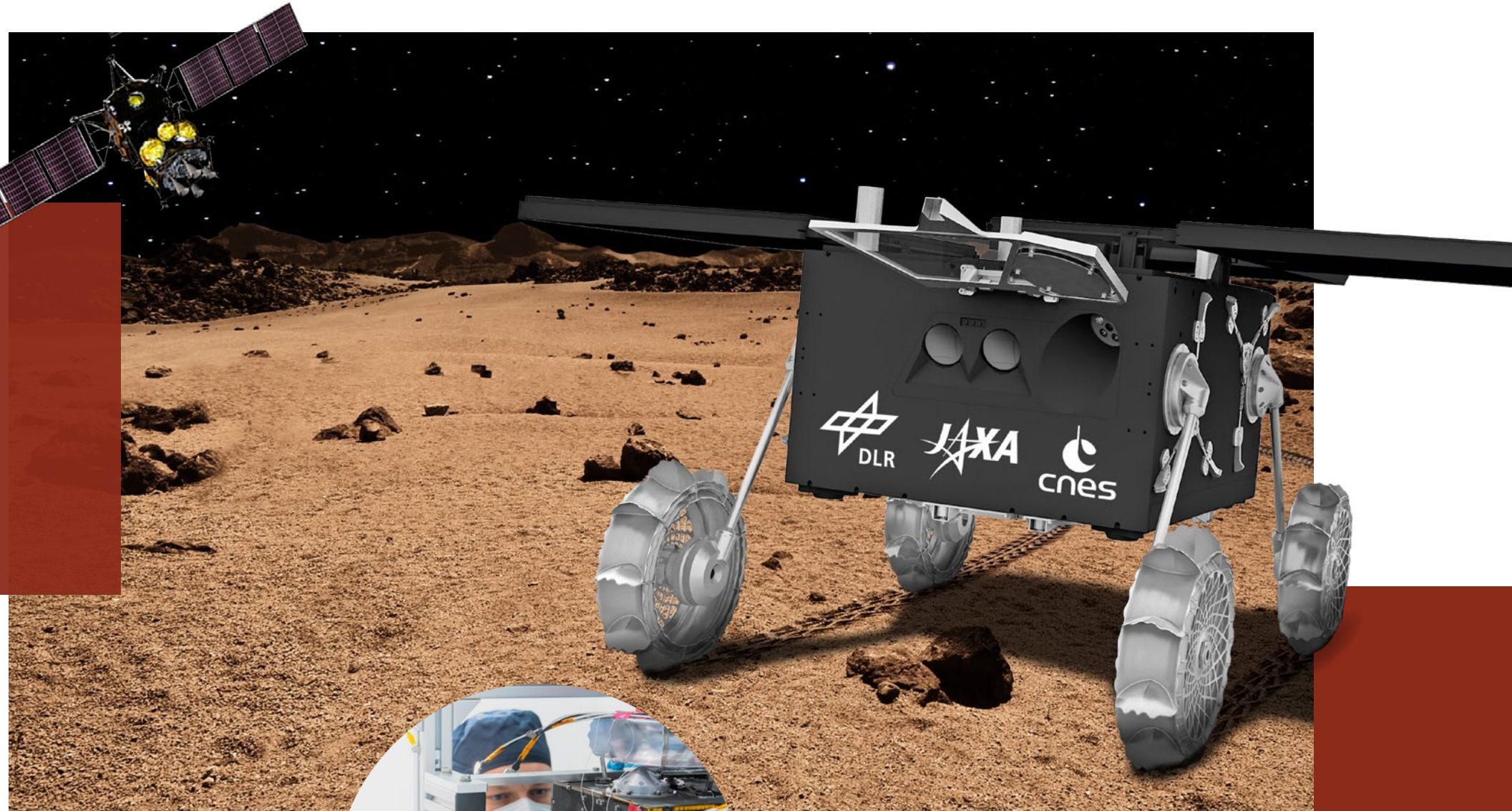
Eine Glasscheibe ähnlich der Größe eines riesigen Flachbildfernsehers gibt den Blick in den Reinraum beim CNES (Centre national d'études spatiales) in Toulouse frei. In der Mitte aufgebaut und umsorgt liegt der gerade einmal 25 Kilogramm leichte MMX-Rover. Noch ohne Solarpanels ist er etwa so groß wie eine Getränkekiste. Die vier filigranen Beine mit den – vergleichsweise großen – Schaufelrädern von sich gestreckt, sieht er schon jetzt, Ende Januar, fast fertiggestellt aus. In den Tagen zuvor wurden die Räder bereits auf ihre Beweglichkeit getestet, ebenso das korrekte Ausklappen der Beine. Zusammen bilden sie das Fortbewegungssystem. Es soll dem Rover später auf dem Marsmond Phobos ermöglichen, sich nach der Landung aus 40 bis 100 Meter freiem Fall in die korrekte Position aufzurichten, egal in welcher

Lage die Landung zunächst endet. Auch für die weitere Mission spielt das System eine große Rolle, da es auch das Ausrichten der Solarpanels zur Sonne und die Absenkung des Rovers für wissenschaftliche Messungen ermöglicht.

Alle Beine in der Luft

Für den irdischen Check seines Bewegungssystems musste der Rover allerdings keine Teststrecke entlangfahren oder sich am Boden aus den verschiedensten Positionen aufrichten. Im Gegenteil – er wurde im Reinraum aufgebockt. Die vier Beine mit ihren Rädern schwebten in der Luft. So wurden diese nicht unnötig belastet. Denn die Schwerkraft der Erde wäre viel zu stark für die filigrane Leichtbaukonstruktion, die am Robotik- und Mechatronikzentrum des DLR für die extrem geringe Gravitation von lediglich einem Zweitausendstel der Erdanziehung auf Phobos erdacht und ausgelegt wurde. Bei den Tests drehten sich die Räder einzeln in der Luft. Die Beine, an deren Ende die Räder sitzen, rotierten jeweils um 400 Grad. Geprüft wurde ebenfalls die Sequenz der Beinbewegungen, die sicherstellt, dass sich der Rover von allein aus jeder Ausgangslage aufrichten kann. Ebenso die Sequenz, die die korrekte Ausrichtung der Solarpanels zur Sonne sicherstellt. Alles klappte – die Bewegungsabläufe, die zuvor bereits simuliert worden waren, funktionierten einwandfrei.

Der MMX-Rover im Reinraum der französischen Raumfahrtagentur CNES in Toulouse. Die Beine samt Rädern sind in der Startkonfiguration eng an den Rover angeschmiegt und sicher verriegelt.



Der MMX-Rover ist ein deutsch-französisches Gemeinschaftsprojekt im Rahmen der japanischen Mission Martian Moons eXploration (MMX). An seinem Ziel, auf dem Marsmond Phobos, soll er unter extrem geringer Schwerkraft rollen.



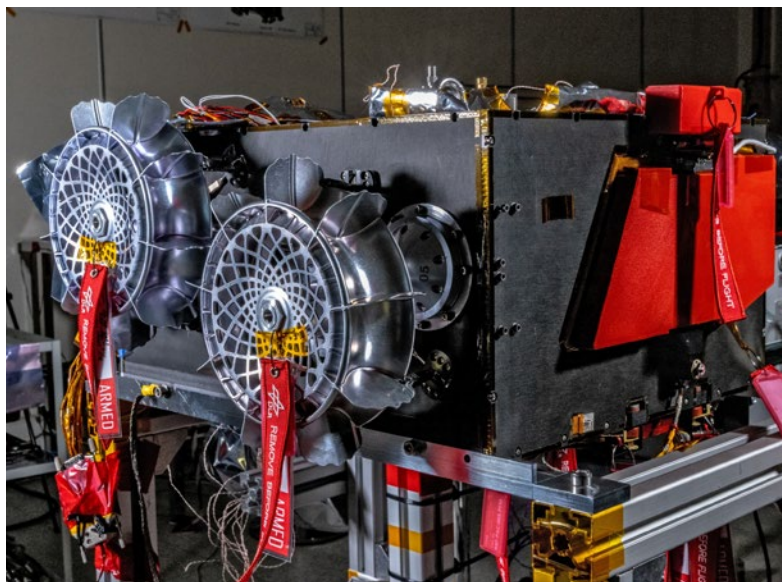
An diesem Freitagnachmittag laufen in Toulouse zudem ganz besondere Tests, zu denen kein Besuch im Reinraum zugelassen ist. Mit speziellen LED-Leuchten erkunden die Ingenieurinnen und Ingenieure die verschiedenen „Shutter“ am Rover – klappbare Scheiben, die die einzelnen Kameras und Instrumente bei der Landung schützen. Nach geplanter Landung sollen sich diese „Schutzfenster“ öffnen. Unmittelbar nach der Landung wird durch eine solche mit Staub verschmutzte Schutzscheibe ein Bild von der Phobos-Oberfläche als Landebestätigung aufgenommen. Wenn sich der Staub gelegt hat, werden die Schutzfenster geöffnet.

Vor dem ersten Bild und bevor der MMX-Rover die ersten Zentimeter auf Phobos zurücklegen kann, wird er bei der Landung sein ganzes Können zeigen müssen: Das MMX-Mutterschiff wird den Rover in einer Höhe von etwa 50 Metern ausklinken. Im langsamen freien Fall schwebt der Rover Phobos entgegen. Die Eigenschaften der Mondoberfläche sind im Detail noch unbekannt, aber es ist wahrscheinlich, dass der Rover mehrmals vom Boden abprallt und sich überschlägt, bevor er schließlich liegenbleibt. Egal in welcher Position dies sein wird, er ist so konstruiert, dass er sich mit den Beinen seines Fortbewegungs-

systems autonom mit der korrekten Seite nach oben aufrichtet. Dies ist entscheidend, damit er danach seine Solarpanels entfalten, diese zur Sonne hin ausrichten und seine Batterie aufladen kann. Dann kann die Erkundung des Marsmondes Phobos beginnen.

Die Bilder, die uns dann erwarten, werden von insgesamt vier Kameraköpfen bereitgestellt. Zwei Navigationskameras blicken nach vorne und erlauben eine 3D-Darstellung des Terrains vor dem Rover. Mit diesen Bildern können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Hindernisse erkennen und die Fahrtroute detailliert planen. Anhand der 3D-Daten soll der Rover vollautonom vor Hindernissen stoppen oder diese sogar umfahren. Außerdem eignen sich die räumlich hochaufgelösten Bilder sehr gut für geologische Analysen. Die anderen beiden Kameras, genannt „Wheelcams“, befinden sich unter dem Rover. Diese blicken auf die Kontaktbereiche der beiden linken Räder und erfassen Spurtiefe, Profilabdruck und wie beim Fahren das Bodenmaterial bewegt wird. Das erlaubt Rückschlüsse auf die Bodenbeschaffenheit. Die beiden Radkameras können kurze Filmsequenzen aufnehmen, um das Fahrverhalten genau zu analysieren.

Rund 100 Tage soll der Rover auf dem Mond unterwegs sein. Zentimeter für Zentimeter könnte er eine Strecke von bis zu 100 Metern erkunden. Das klingt zunächst nach nicht viel, ist aber aufgrund der durch die Schwerkraft limitierten Fahrgeschwindigkeit eine enorme Herausforderung für das kleine vierrädrige Gefährt. Sicher werden

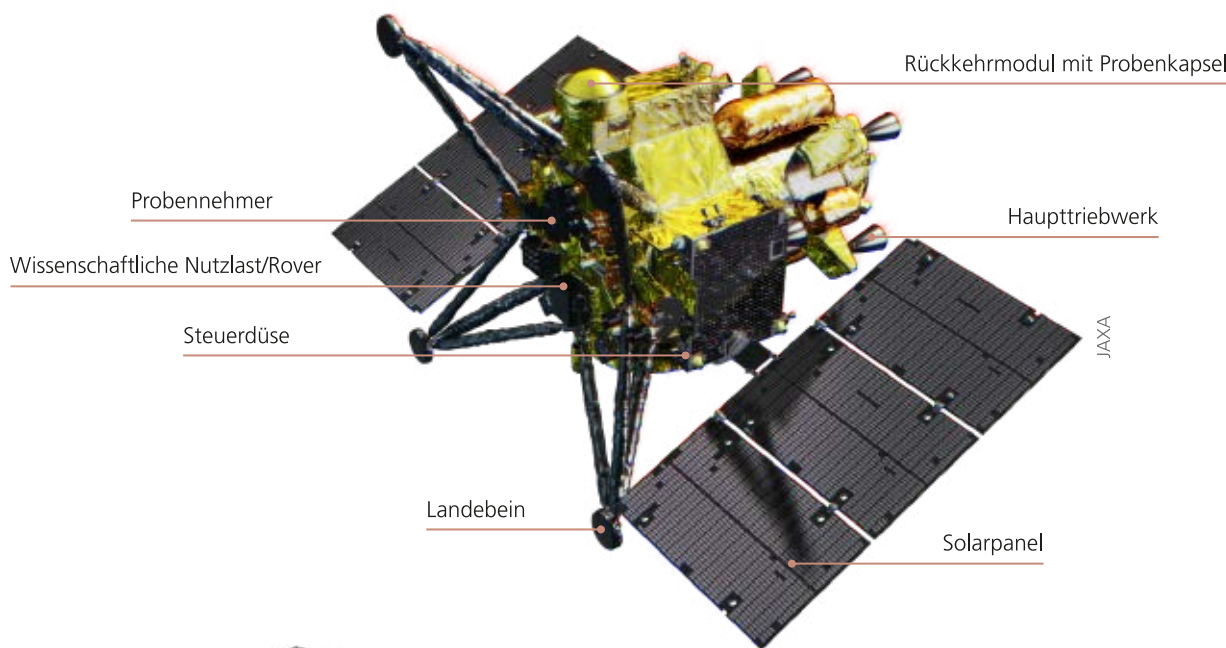




Der MMX-Rover im Reinraum des DLR in Bremen vor der Auslieferung zur weiteren Integration in Toulouse



Besprechung im Reinraum des DLR in Bremen. Acht DLR-Institute und -Einrichtungen sind am Bau des Rovers beteiligt.



Zur Animation
im Web:



s.dlr.de/
MMX-rover-animation

Der Rover wird aus einer Höhe von etwa 50 Metern vom Explorationsmodul abgekoppelt und fällt dann langsam zur Oberfläche. Dort angekommen wird er bei der Landung unbeschadet mehrere „Purzelbäume“ schlagen und in unvorhersagbarer Lage zum Liegen kommen.

Steine in der Landeumgebung liegen, die aufwändig umfahren werden müssen. Aufgrund der extrem geringen Gravitation wird dies zum Balanceakt. Jedes zu schwungvolle Manöver könnte den Rover abheben lassen – mit unkalkulierbaren Folgen.

In Millimetern pro Sekunde über den Marsmond

So wird die Fahrgeschwindigkeit am Anfang weniger als einen Millimeter pro Sekunde betragen, kann aber bei wachsender Erfahrung mit dem Terrain auf rund einen Millimeter pro Sekunde gesteigert werden. Mögliche Bodeneigenschaften und ihre jeweiligen Auswirkungen auf das Fahrverhalten wurden am DLR-Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik durch eine eigens entwickelte Physiks simulation vorab analysiert.

Zusätzliche Schwierigkeiten stellen die große Entfernung zum Mars und der komplexe Funkweg über das Mutterschiff dar. Die Signallaufzeit vom Rover über das Mutterschiff zur Erde und zurück wird rund zwei Tage betragen. Entsprechend müssen die Forschungsteams in den beiden Kontrollzentren beim CNES in Toulouse und beim DLR in Köln (am Microgravity User Support Center – MUSC) jeweils Fahrsequenzen programmieren, die der Rover selbstständig ausführen kann. Klappt alles, wird er der weltweit erste Rover auf einem kleinen Körper mit geringer Schwerkraft sein, der zudem eine längere Strecke erkundet. Hinzu kommen andere widrige Bedingungen: Während eines „Phobos-Tages“ von knapp acht Stunden schwankt die Temperatur am Rover zwischen –150 und +50 Grad Celsius. Dieser Temperaturwechsel geschieht dazu noch sehr schnell, denn drei Tage auf Phobos entsprechen einem Tag auf der Erde. Deshalb muss der Rover so konstruiert sein, dass die Temperatur in seinem Inneren in einem verträglichen Bereich gehalten wird, damit die Elektronik geschützt wird.

Zwei DLR-Instrumente vermessen die Oberfläche

Neben den Kameras befinden sich auch das am DLR-Institut für Optische Sensorsysteme entwickelte Raman-Spektrometer RAX und das Radiometer miniRAD, das am DLR-Institut für Planetenforschung entwickelt

MMX – MARTIAN MOONS EXPLORATION

MMX ist eine Mission der japanischen JAXA mit Beiträgen von NASA, ESA, CNES und DLR – Start: voraussichtlich September 2024, dann Ankunft beim Mars: August 2025. Sie hat die Aufgabe, die Marsmonde Phobos und Deimos zu charakterisieren sowie zu klären, wie und wo die beiden Trabanten entstanden sind. Mit an Bord ist ein mobiler Rover. Er hat knapp 25 Kilogramm Masse sowie vier Kilogramm dazugehöriger Komponenten auf dem Mutterschiff und ist ein gemeinsames Projekt von CNES und DLR. Seitens des DLR sind unter der Leitung des Instituts für Robotik und Mechatronik auch die Institute für Raumfahrtssysteme, für Softwaretechnologie, für Systemleichtbau, für Systemdynamik und Regelungstechnik, für Optische Sensorsysteme, für Planetenforschung sowie die Einrichtung Raumflugbetrieb und Astronautentraining mit dem Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC – Microgravity User Support Center) beteiligt. Der Rover wird die geologischen, physikalischen und mineralogischen Eigenschaften der Oberfläche von Phobos untersuchen und die Mobilität bei niedriger Schwerkraft demonstrieren. Die Daten dienen auch zur Eichung der Orbiter-Messungen und werden die Landung des Explorationsmoduls unterstützen. Der Datenaustausch mit der Erde erfolgt über den Orbiter. Der Betrieb des Rovers wird von den Kontrollzentren des CNES in Toulouse und des DLR in Köln (MUSC) gesteuert.

wurde, auf dem Rover. RAX erkundet die mineralogische Zusammensetzung der Oberfläche und miniRAD sammelt Daten für die Analyse der thermischen Eigenschaften. Die Messdaten werden dazu beitragen, die bisher ungeklärte Herkunft der Marsmonde Phobos und Deimos genauer zu beleuchten.

Integriert sind beide Instrumente neben den Kameras in den Leichtbaukörper (Chassis) des Rovers, der am DLR-Institut für Systemleichtbau entwickelt und hergestellt wurde. Es folgte im vergangenen Jahr die weitere Integration des Chassis beim DLR-Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen inklusive der Montage des Fortbewegungssystems. Vor der Auslieferung nach Toulouse im November 2022 erfolgten unter anderem Funktionaltests, der Vibrationstest, der Thermal-Vakuum-Test sowie der Test auf die elektromagnetische Verträglichkeit des Rover-Segments.

Beim CNES in Toulouse folgte der finale Zusammenbau, inklusive der Integration des Energie- und Kommunikationssystems sowie der wissenschaftlichen Instrumente. In Toulouse durchläuft der komplette MMX-Rover dann die finalen Tests zur Weltraumqualifikation. Hierbei ist bereits das Verbindungs- und Separationssystem, genannt „MECSS“ (Mechanical and Electrical Connection and Support System), montiert, welches später den Rover vom Mutterschiff trennt und auf seine Reise zu Phobos schickt. Dieses Subsystem wurde ebenfalls vom DLR entwickelt. Bereits im Sommer 2023 steht die Auslieferung des Flugmodells nach Japan an. Ein straffer Zeitplan, der die Teams beim DLR und beim CNES in den letzten Monaten und Jahren enorm forderte.

Letzte Vorbereitungen vor dem Start

Bei der JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) wird der deutsch-französische Rover schließlich in die MMX-Muttersonde eingebaut. Genaue gesagt wird der Rover in das Explorationsmodul der Raumsonde integriert, welches selbst mit verschiedenen Instrumenten und sogar Landebeinen ausgestattet ist, um im Verlauf der MMX-Mission, nahe der Landestelle des Rovers, Proben des Mondes zu entnehmen. Das Rückkehrmodul bringt die Proben am Ende der Mission 2029 zurück zur Erde. Die MMX-Mission wird voraussichtlich 2024 mit einer H3-Rakete vom Weltraumbahnhof in Tanegashima starten. Dann stehen Mars und Erde das nächste Mal günstig für einen Flug. Zuvor muss jedoch die gesamte MMX-Sonde samt Rover noch einmal die Tests zur Weltraumqualifikation durchlaufen, bei denen ihre Beständigkeit gegenüber den Vibrationen des Starts, der Hitze und Kälte im Weltraum sowie dem dort herrschenden Vakuum erprobt wird.

Auch an jenem Freitag Ende Januar in Toulouse ist mit der Begeisterung des Teams zu spüren, dass der Start zum Mars und zu seinen Monden immer näher rückt. Die Beine samt Rädern werden wieder in die Startkonfiguration zurückversetzt. Eng an den Rover angeschmiegt sind sie sicher verriegelt. Diese Position werden sie nun halten, bis das Abenteuer auf Phobos beginnt ...

Falk Dambowsky ist Leiter der Gruppe Presse in der DLR-Kommunikation.



Aus dieser Situation heraus muss er sich autonom mithilfe des Fortbewegungssystems aufrichten und anschließend seine Solarpanels entfalten. Erst dann ist der Rover fahrbereit und überlebensfähig. Hier ist dargestellt, wie die Sequenz zum Aufrichten und Entfalten der Solarpanels ablaufen könnte.

KUH IST NICHT GLEICH KUH

Methan ist eine wichtige Energiequelle und gleichzeitig Treiber des Klimawandels, doch die globalen Emissionen des Treibhausgases sind schwer zu messen

von Julia Heil



Die Landwirtschaft in Deutschland trägt maßgeblich zur Emission klimaschädlicher Gase bei.

Gettyimages/Catherine Falls Commercial

Methan ist der Hauptbestandteil des fossilen Energieträgers Erdgas. In den Nachrichten begegnet es uns in Zusammenhang mit dem Bau neuer LNG-Terminals oder Nordstream-Leckagen. Gleichzeitig ist es nach CO₂ das zweitwichtigste anthropogene Treibhausgas und beschleunigt den Klimawandel. Die atmosphärische Konzentration ist heute 2,6 Mal so hoch wie zu Beginn der Industrialisierung – das atmosphärische CO₂ ist im Vergleich dazu „nur“ um die Hälfte gestiegen. Gleichzeitig ist seine Lebensdauer mit knapp zehn Jahren um mindestens eine Größenordnung geringer als die von CO₂. Insgesamt trägt Methan derzeit mit etwa einem Viertel zum menschengemachten Strahlungsantrieb durch langlebige Treibhausgase bei. Die gute Nachricht ist: Wir hätten eine echte Chance, die globale Erwärmung zu bremsen, indem wir die Methanemissionen reduzieren. Und das auf einer kurzfristigen Zeitskala. Allerdings sind die Quellen, aus denen Methan austritt, derzeit noch unzureichend erforscht. Die DLR-Forscherinnen und -Forscher möchten diese Wissenslücke schließen.

Der „Global Methane Pledge“, den die Europäische Kommission 2021 gemeinsam mit den Vereinigten Staaten auf der Weltklimakonferenz COP 26 in Glasgow ausrief, rückte das Thema in den Fokus der Politik. Die Vereinbarung hat das Ziel, die Methanemissionen bis 2030 um mindestens 30 Prozent gegenüber 2020 zu senken und gleichzeitig mehr Transparenz bei den Emissionen zu schaffen. Inzwischen unterstützen über 100 Nationen die Vereinbarung. „Was uns beunruhigt, ist, dass die Methankonzentration in der Atmosphäre 2020 und 2021 schneller gestiegen ist als je zuvor in unseren Auf-

zeichnungen und wir bislang noch keine schlüssige Erklärung dafür haben“, sagt Dr. Anke Roiger, Leiterin der Abteilung Atmosphärische Spurenstoffe im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre. Die Konzentration des Treibhausgases stieg in den letzten Jahrzehnten nicht immer gleichförmig: In einer Phase zwischen 1999 und 2006 stagnierte der Anstieg des Methangehalts sogar. Mögliche Gründe werden in der Wissenschaft immer noch kontrovers diskutiert. Seit 2007 steigt die Konzentration in der Atmosphäre wieder. „Wir nähern uns mit schnellen Schritten dem wärmsten Szenario des

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) und sind meilenweit weg vom 1,5-beziehungsweise 2-Grad-Szenario“, ergänzt Roiger.

Methan entsteht sowohl auf natürliche Weise, durch anaerobe Prozesse von Bakterien in den Sümpfen und Feuchtgebieten der Erde, als auch durch menschliche Aktivitäten: Organische Abfälle auf Müllhalden, die von methanproduzierenden Bakterien zersetzt werden, Wiederkäuer in der Landwirtschaft wie Kühe, die Methan in ihren Mägen produzieren, und auch die Öl-, Gas- und Kohleindustrie setzen große Mengen frei. Die Emissionen schwanken je nach Region, Jahreszeit oder Aktivität. Es ist schwierig, genau zu ermitteln, welche Quelle gerade welche Mengen freisetzt. Wissenschaftliche Studien gelangen zu verschiedenen Ergebnissen, wenn es darum geht, welche dieser Quellen für den Anstieg der letzten Jahre verantwortlich ist. Eine der ersten Hypothesen betraf die unkonventionelle Gasförderung, genannt Fracking, die in den USA seit 2005 vermehrt betrieben wird. Neue Studien zeigten, dass Emissionen aus biologischen Quellen wie Feuchtgebieten, aber auch aus der Viehhaltung oder Mülldeponien dafür verantwortlich sein könnten. Forschungsergebnisse aus 2020 und 2021 zeigten außerdem, dass die natürlichen Emissionen aus der Arktis aufgrund der Wetterextreme unverhältnismäßig hoch waren.

Exakte Methanemissionen sind schwierig zu messen

Wenn Forschende die Methanemissionen bestimmen möchten, errechnen sie diese in erster Näherung aus vorhandenen Daten. Das nennt man Bottom-up-Schätzung. So wird der Methanausstoß der Viehhaltung mit den Emissionen pro Kuh und der Anzahl der Kühe berechnet, die Methanemission aus der Abfallwirtschaft in erster Näherung anhand der Menge an organischem Abfall oder das Methan beim Abfackeln des Erdgases anhand der Menge an verbranntem Erdgas. Das ist eine erste Schätzung, aber natürlich ist Kuh nicht gleich Kuh, Mülldeponie



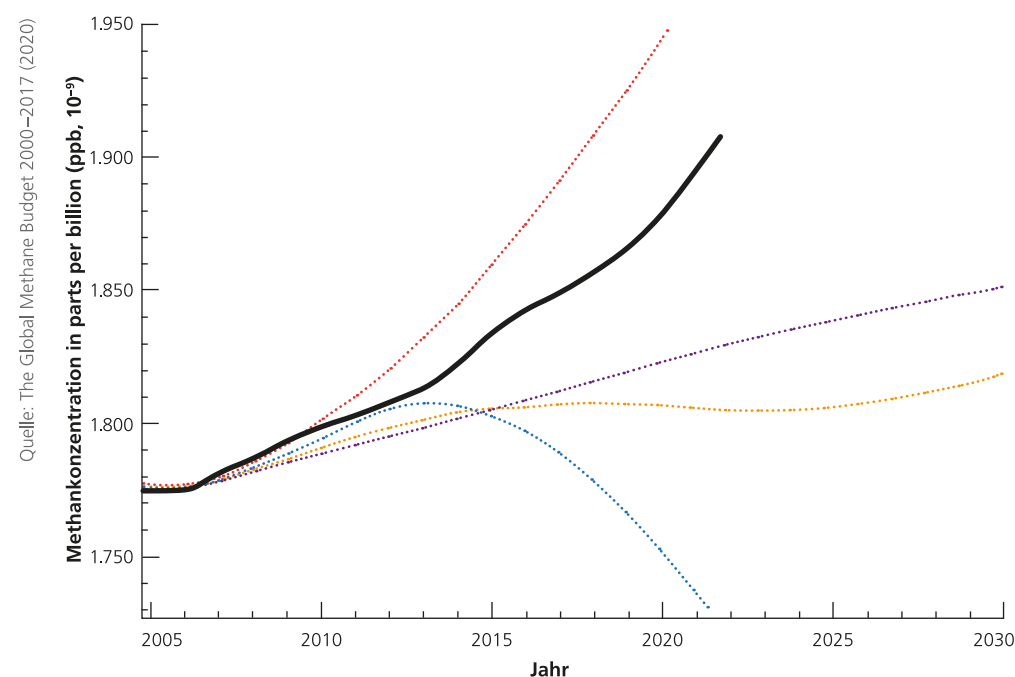
Die DLR-Atmosphärenforscherin Dr. Anke Roiger forscht schon seit langem an den Quellen von Methanemissionen und deren Auswirkungen. Dazu unternimmt sie gemeinsam mit ihrem Team Forschungsflüge in verschiedensten Regionen – von Oberschlesien bis Zentralafrika.

nicht gleich Mülldeponie, und auch die Effizienz beim Abfackeln ist nicht immer vollständig. Letzteres zeigten 2022 Messungen im Golf von Mexiko. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass dabei größere Mengen von Methan in dieser Region freigesetzt werden als bislang angenommen. Unbeabsichtigte Emissionen, zum Beispiel durch Leckagen, sind noch schwieriger einzuschätzen. Natürliche Emissionen sind wiederum äußerst komplex, da sie von Niederschlag, Bodenfeuchtigkeit, Bodentemperatur, solarer Einstrahlung und anderen täglich wechselnden meteorologischen Parametern abhängen. Hinzu kommt, dass Feuchtgebiete oft in abgelegenen Regionen wie in der Arktis, in Zentralafrika oder in der Amazonasregion liegen, wo nur wenige Messungen durchgeführt werden.



Blick aus dem Helikopter beim Anflug auf die Kohleminen in Oberschlesien

BEOBACHTETE METHANKONZENTRATIONEN IM VERGLEICH ZU DEN IPCC-ZUKUNFTSSZENARIEN



Die schwarze Kurve zeigt die Ergebnisse von globalen Methanmessungen über die Jahre. Es wird deutlich, dass die Methankonzentration seit 2014 schneller ansteigt. Die bunten Kurven zeigen Projektionen des Sachverständigenrats für Klimaänderungen (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change), welche die Auswirkung von unterschiedlichen Emissionsszenarien auf die globale Temperaturerhöhung darstellen. Wir nähern uns deutlich dem wärmsten Szenario des IPCC. Die blaue Kurve spiegelt das Szenario des Pariser Klimaabkommens wider.



Das DLR-Forschungsflugzeug Falcon startet von dem Flugplatz in Libreville, Gabun, zu den Messflügen.



Anflug auf Angolas Hauptstadt Luanda. Das Land war eines der Hauptmessgebiete der DLR-Kampagne.



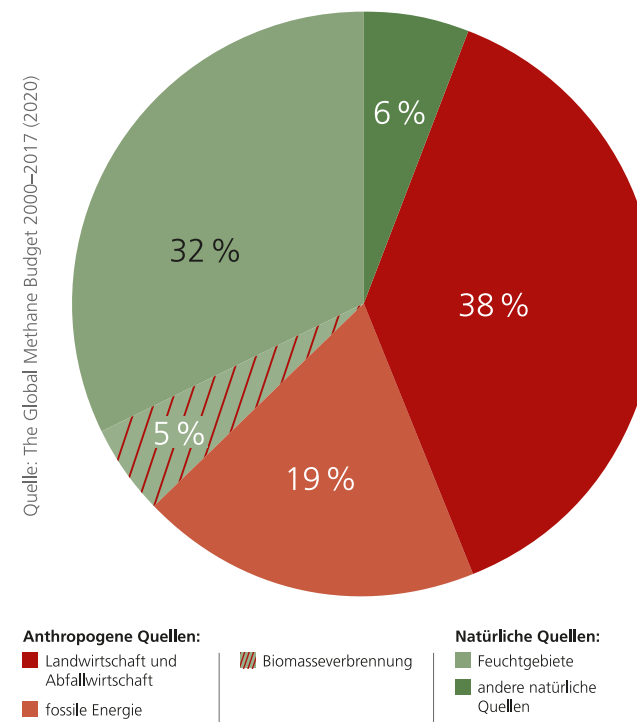
LNG-Terminal (LNG = Flüssigerdgas, engl.: Liquefied Natural Gas) an der Küste Angolas

ERDGAS – EINE SAUBERE BRÜCKENTECHNOLOGIE?

Erdgas besteht fast ausschließlich aus Methan und hat eine höhere Energiedichte als andere fossile Brennstoffe, zudem besitzen Gasturbinen einen verhältnismäßig hohen Wirkungsgrad. Bei der Verbrennung entsteht weniger CO₂ pro Kilowattstunde als bei anderen fossilen Energieträgern. Allerdings kommt es innerhalb der gesamten Kette, von der Gewinnung bis hin zur Nutzung, ungewollt zum sogenannten Methanschlupf. Dabei tritt unverbranntes Erdgas aus, meist aufgrund von Leckagen. Wissenschaftliche Studien belegen, dass die Methanleckagen sowohl bei der Förderung und beim Transport als auch in städtischen Gasverteilernetzen auftreten; sogar aus stillgelegten Produktionsstätten kann noch Methan entweichen. Wenn man das austretende Methan mitberücksichtigt, ist Erdgas als Energiequelle nicht zwingend klimafreundlicher als Kohle und Öl.

QUELLSTÄRKEN VON METHAN

(aus statistischen Daten hochgerechnet)



Anlagen oder Prozessen zuordnen. Auf den Forschungsflügen testen sie auch neue Messmethoden. Die Ergebnisse helfen ihnen zu verstehen, wie hoch die Emissionen sind und wie diese sich verbreiten. 2022 führten DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler die ersten Methanmessungen der Offshore-Ölförderung vor der Westküste Zentralafrikas durch. Das mitgeförderte Erdgas, das in Angola, Gabun, aber auch in vielen anderen Regionen der Welt nicht weiterverwendet wird, wird meist abgefackelt. Dadurch entsteht das weniger wirksame Treibhausgas CO₂, was den Vorgang weniger klimaschädlich macht, als das Methan direkt in die Atmosphäre zu entlassen. Manchmal ist die Verbrennung allerdings unvollständig, was Messungen eindeutig belegen. Teilweise wird Methan abgelassen, damit der Druck in der Anlage schnell reguliert werden kann, teilweise entweicht es aus Leckagen. „Gerade beim Ablassen und bei den Leckagen sehen wir großes Potenzial, die Emissionen zu mindern, wenn die Anlagen regelmäßiger überprüft werden oder Technologien für die Rückeinspeisung installiert werden. Die Industrie könnte das gewonnene Gas weiterverkaufen, der Aufwand lohnt sich also“, ergänzt Roiger. Im selben Jahr untersuchte das DLR-Team auch Kohleemissionen in Oberschlesien, der Region mit den größten Methanemissionen in Europa, und die Emissionen aus den Nordstream-Leckagen, um den Einfluss dieses außerordentlichen Ereignisses besser zu verstehen. Im Sommer 2023 sind die ersten Messungen von Emissionen aus der Viehwirtschaft geplant. Dann werden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit dem DLR-Forschungsflugzeug Cessna Caravan in den Niederlanden unterwegs sein.

Die Untersuchungen laufen im Rahmen des Messnetzwerks IMEO (International Methane Emissions Observatory). Es wurde im Rahmen

des „Global Methane Pledge“ vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen und der Europäischen Kommission ins Leben gerufen, um mit unabhängigen Messungen die anthropogenen Methanemissionen besser quantifizieren zu können. In IMEO arbeiten Forschende eng mit Politik und Industrie zusammen. „Unsere Aufgabe ist es, verlässliche Daten zu liefern und aufzudecken, wo wieviel Methan erwartet oder auch unerwartet freigesetzt wird“, beschreibt Anke Roiger die Rolle des DLR und ergänzt: „So schaffen wir eine Grundlage, auf der wirksame politische Maßnahmen entwickelt werden können, um die anthropogenen Emissionen zu reduzieren.“ Eine geplante EU-Verordnung zur Verringerung der Methanemissionen fokussiert sich auf die oben genannten Prozesse: Das Abfackeln und Ablassen von Erdgas sollen demnach bald nur noch in Ausnahmefällen erlaubt sein. Dies soll auch für importierte fossile Brennstoffe gelten. Auch wenn ein aktives Eingreifen nur bei Emissionen möglich ist, die vom Menschen produziert werden, ist es für Roiger wichtig, die natürlichen Methanemissionen besser zu verstehen. Viele Abhängigkeiten wie die Frage, wie stark sich der Methanausstoß aus tropischen oder arktischen Feuchtgebieten durch höhere Temperaturen oder durch mehr Regenereignisse erhöht, sind noch nicht klar. Wenn diese Abhängigkeiten geklärt sind, verbessern sich auch die Vorhersagen.

Neue Satelliten können Quellen präziser überwachen

„Mittelfristig werden vor allem Satellitenbeobachtungen das zentrale Werkzeug zur Überwachung von Emissionen aus dem Weltraum sein, da sie langfristige und globale Datensätze liefern können“, sagt Anke Roiger. Dazu bereitet das DLR eine eigene Kleinsatellitenmission vor. CO2Image fokussiert sich primär auf CO₂-Punktquellen wie Kraftwerke und soll deren Emissionen weltweit bestimmen. Gleichzeitig wird die Mission auch Methanquellen überwachen können. Mehrere Institute des DLR sind daran beteiligt – geplanter Start ist 2026. Ab 2028 wird die deutsch-französische Methanmission MERLIN mit Lasern Methangradienten global messen. Mit den Ergebnissen werden die Forscherinnen und Forscher ihre Modelle von regionalen Methanemissionen und so unser Wissen über Methan und seine Quellen weiter verbessern können.

Julia Heil ist Redakteurin in der DLR-Kommunikation.



Anflug auf die Nordstream-Leckagen. Der Helikopter trägt eine mit DLR-Instrumenten bestückte Schleppsonde der TU Braunschweig.



OHNE JEDEN ZWEIFEL

Prof. Dr. Veronika Eyring entwickelt und bewertet Modelle, die Klimaveränderungen vorhersagen

von Katja Lenz

„Der jüngste Klimawandel ist beispiellos. Wir alle wissen und spüren das.“ Es gibt keinen Zweifel an dem, was Prof. Dr. Veronika Eyring sagt. Die Forschungsergebnisse, die den Klimawandel belegen, sind eindeutig. Gleichzeitig werden die Klimamodelle für belastbare Vorhersagen immer besser. Dazu trägt auch die Forschung von Veronika Eyring bei. Die Wissenschaftlerin leitet am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre die Abteilung Erdsystemmodell-Evaluierung und -Analyse. Hinter dem Namen stehen Klimamodelle, mit denen Forschende nicht nur in die Vergangenheit, sondern auch in die Zukunft des Erdklimas blicken.

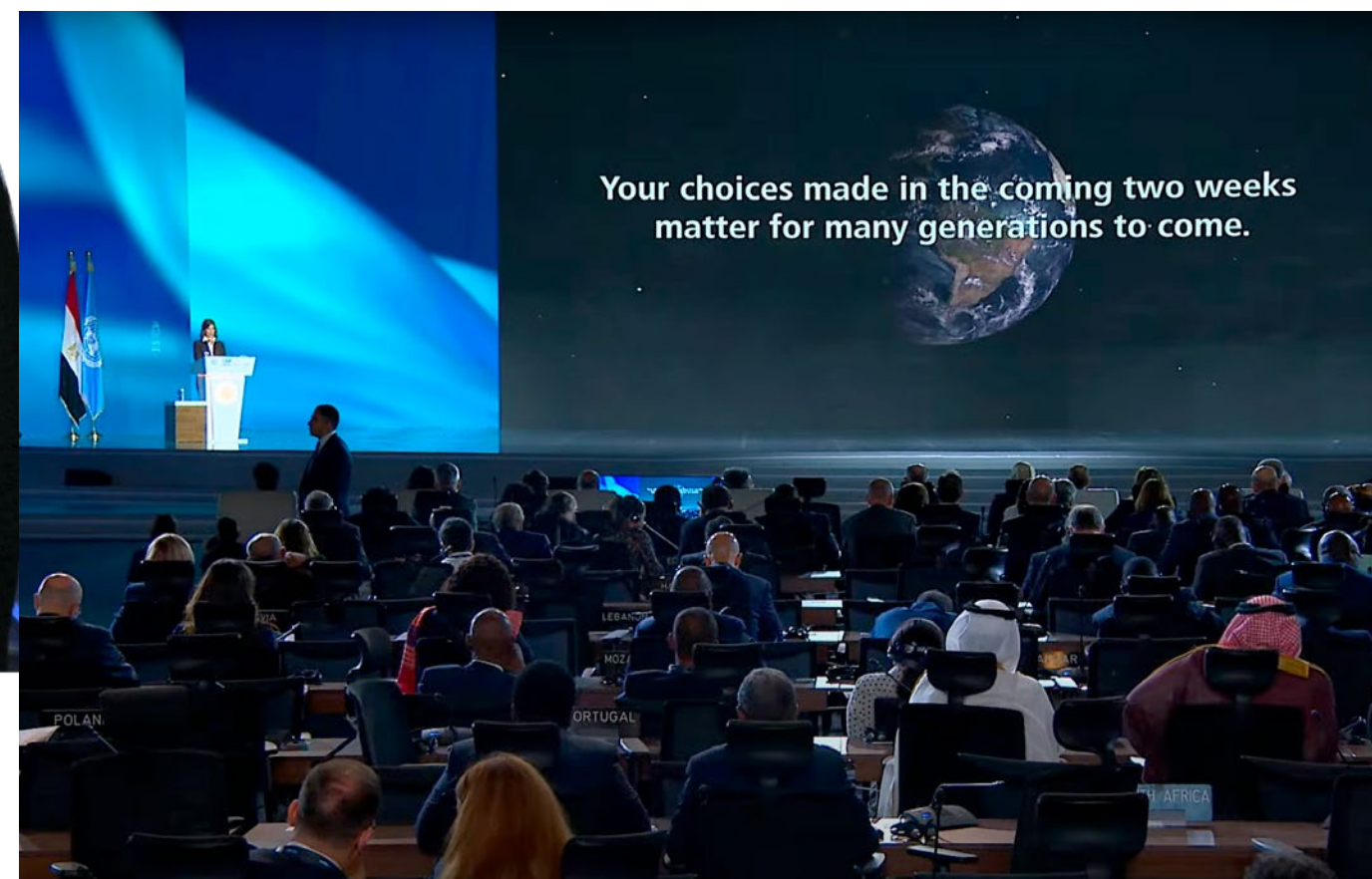
Im November 2022 sprach Veronika Eyring bei der Eröffnungsveranstaltung der UN-Weltklimakonferenz (COP27) vor Staatsoberhäuptern und Verhandlungsführenden. Sie zeigte den Klimawandel, seine Folgen und Ursachen anhand von wissenschaftlichen Daten: die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre zum Beispiel, die Rekordwerte erreicht. Sie ist gegenüber vorindustriellen Zeiten um 50 Prozent gestiegen. Die Folge: „Die globale Erwärmung hat im Jahr 2020 bereits 1,1 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau erreicht“, erklärte Veronika Eyring bei der Konferenz in Ägypten. 1,1 Grad ist schon recht nah an dem 1,5-Grad-Ziel, das bei der früheren UN-Weltklimakonferenz 2015 in Paris vereinbart wurde. Die Ergebnisse stammen aus dem Bericht des Weltklimarats (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), für den Forschende weltweit zusammenarbeiten.

Ihre Aussagen sind auch jetzt noch aktuell: „Die Erwärmung, die wir seit 1850 beobachten, ist nicht auf natürliche Ereignisse zurückzuführen. Sondern auf menschliche Aktivitäten, die CO₂ und andere Treibhausgase ausstoßen und weit verbreitete, schnelle und sich verstärkende Klimaveränderungen im gesamten Erdsystem verursachen, die sich mit jeder weiteren Erwärmung verstärken werden.“ Veronika Eyring spricht mit ruhiger Stimme, stellt die Erkenntnisse der Wissenschaftsteams in den Vordergrund. Ihr Vorredner Al Gore applaudierte stehend, als sie die Bühne verließ, und reichte ihr die Hand. Die Wissenschaftlerin und der Friedensnobelpreisträger und ehemalige US-Vizepräsident saßen am Bühnenrand nebeneinander. Kommt man auch ins Gespräch? „Der direkte Austausch mit Politikerinnen und Politikern auf unterschiedlichen Ebenen war sicherlich eine intensive Erfahrung auf der COP“, sagt Veronika Eyring später.

„In allen Regionen der Welt erleben wir außer Kontrolle geratene Klimaauswirkungen mit immer häufigeren und schwereren Extremereignissen. Viele der jüngsten Extremereignisse wären ohne den vom Menschen verursachten Klimawandel höchstwahrscheinlich nicht aufgetreten.“

Prof. Dr. Veronika Eyring

Abteilungsleiterin Erdsystemmodell-Evaluierung
und -Analyse im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre



Prof. Dr. Veronika Eyring im November 2022 bei der Eröffnungsveranstaltung der UN-Weltklimakonferenz (COP27) in Sharm el-Sheikh. Sie ist koordinierende Leitautorin des Kapitels „Menschlicher Einfluss auf das Klimasystem“ im IPCC-Bericht.

Die Zeit zum Handeln ist jetzt!

Seit mehr als 20 Jahren forscht Veronika Eyring im DLR in Oberpfaffenhofen und ist seit 2017 Professorin für Klimamodellierung an der Universität Bremen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat ihr vor zwei Jahren den Leibniz-Preis verliehen, weil sie maßgeblich dazu beigetragen hat, das Verständnis und die Genauigkeit von Klimavorhersagen zu verbessern. Veronika Eyring weiß sehr genau, wovon sie redet. Ihre Aussagen lassen keinen Interpretationsspielraum offen. „In allen Regionen der Welt erleben wir außer Kontrolle geratene Klimaauswirkungen mit immer häufigeren und schwereren Extremereignissen. Viele der jüngsten Extremereignisse wären ohne den vom Menschen verursachten Klimawandel höchstwahrscheinlich nicht aufgetreten“, erklärte sie bei der COP27. Und: „Die Zeit zum Handeln ist jetzt.“

Die Ergebnisse der Weltklimakonferenz COP27 blieben insbesondere bei dem Ziel, die Treibhausgasemissionen weltweit deutlich zu senken, hinter den Erwartungen zurück, teilte die Bundesregierung nach Abschluss der Konferenz mit. „Die Lücke zu 1,5 Grad steht weiter klaffend offen, und einige Staaten haben jeden Versuch blockiert, sie ein Stück

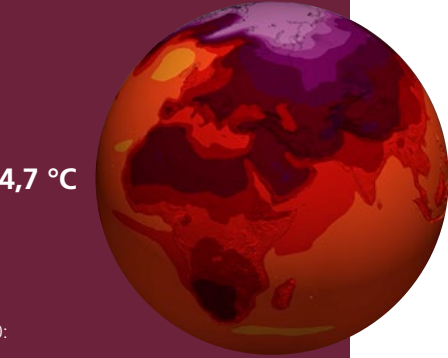
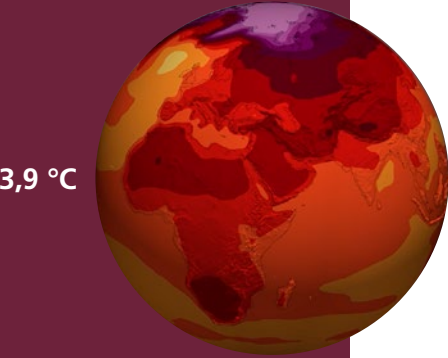
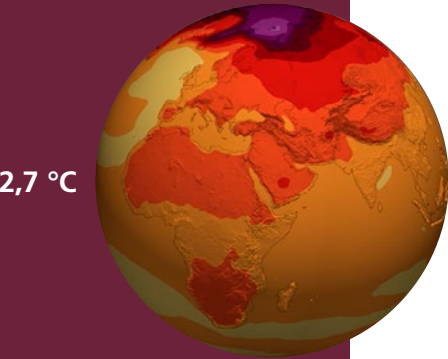
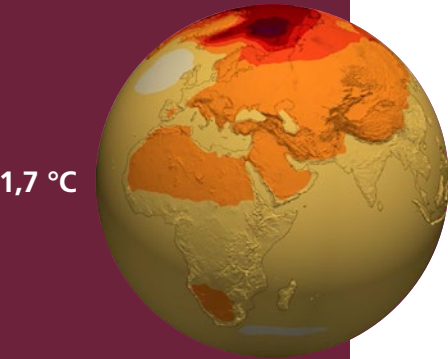
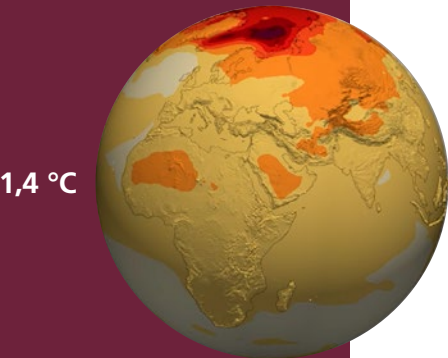
zu schließen“, sagte Bundesaußenministerin Annalena Baerbock. Es wurde ein globaler Schutzschirm gegen Klimarisiken gestartet. Er dient den von Klimaschäden betroffenen Menschen – zumeist in ärmeren und verwundbaren Staaten.

Das DLR liefert wichtige Erdfernerkundungsdaten

Seither ist einiges an Zeit vergangen. Veronika Eyring ist längst in ihren Forschungsalltag zurückgekehrt. „Mit den derzeit geltenden Richtlinien wird eine globale Erwärmung von 2,8 Grad Celsius vorhergesagt, wenn keine zusätzlichen Maßnahmen beschlossen und umgesetzt werden“, erklärt sie. „Um auf 1,5 Grad zu begrenzen, müssen wir die CO₂-Emissionen bis 2030 um etwa 45 Prozent senken. Das ist schon in sieben Jahren. Und sie müssen weiter sinken, um bis 2050 Netto-Null zu erreichen, gefolgt von negativen CO₂-Emissionen für den Rest des Jahrhunderts.“ Selbst die Begrenzung der Erwärmung auf 2 Grad Celsius bis zum Ende des Jahrhunderts erfordere ähnlich drastische Reduktionen. Eine Grafik mit einer Skala von Blau über Orange und Rot bis Lila verdeutlicht die Erwärmung: Der Globus färbt sich fast überall orange, rot und sogar lila.

TEMPERATURSZENARIEN
FÜR DAS JAHR 2100

Vorhersagen der Temperaturänderungen
im Vergleich zur vorindustriellen Zeit



CC BY 4.0:
DKRZ/DLR

Die Modelle zur Vorhersage des Klimawandels werden stetig exakter. Sie verarbeiten riesige Datenmengen, bewerten Informationen und verknüpfen sie zu einem Gesamtbild. Veronika Eyring nutzt Erdbeobachtungsdaten und wendet Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) an, um Klimamodelle weiter zu verbessern, belastbarere Klimavorhersagen zu erhalten und Technologiefolgen abzuschätzen. Das DLR hat die notwendigen Informationen aus Jahrzehnten der Erdbeobachtung. Und die entsprechende Infrastruktur, um die Analysen durchführen zu können.

Um die Resultate von Klimamodell-Simulationen darzustellen, entwickelt das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen gemeinsam mit über 70 internationalen Forschungseinrichtungen federführend das Earth System Model Evaluation Tool (ESMValTool). Das Computerprogramm erlaubt eine umfangreiche Bewertung der Klima- und Erdsystemmodelle im Vergleich mit Beobachtungsdaten. CMIP (Coupled Model Intercomparison Project), das schon vor mehr als 25 Jahren gestartet wurde, ist ein Projekt, in dem Klimamodelle miteinander verglichen werden. Es bildet Standards für Simulationen, Datenformate und Algorithmen für die Auswertung. Mit dem ESMValTool können diese riesigen Datenmengen ausgewertet werden. Das Team von Veronika Eyring analysiert auch die Simulationen der neuesten Generation der CMIP6-Modelle im Vergleich mit Erdbeobachtungsdaten. „Wir können so die Qualität der Klimasimulationen aufzeigen“, sagt Veronika Eyring, die das CMIP6-Projekt von 2014 bis 2020 leitete. „Bei der Modellevaluierung mit Erdbeobachtungsdaten haben Veronika Eyring und das DLR wichtige Pionierarbeit geleistet. Diese Arbeiten vereinen die Stärke des DLR in der Erdbeobachtung mit Kenntnissen aus der Klimaforschung und treiben so die Qualität der Klimavorhersagen voran. Damit ist das DLR auch in seinem Aufgabenbereich der Luftfahrt- und Verkehrsforschung in einer Spitzenposition, wichtige Beiträge zur Bewertung und Verringerung der Klimawirkung unserer Verkehrsträger zu leisten“, sagt der Direktor des Instituts für Physik der Atmosphäre, Prof. Markus Rapp.

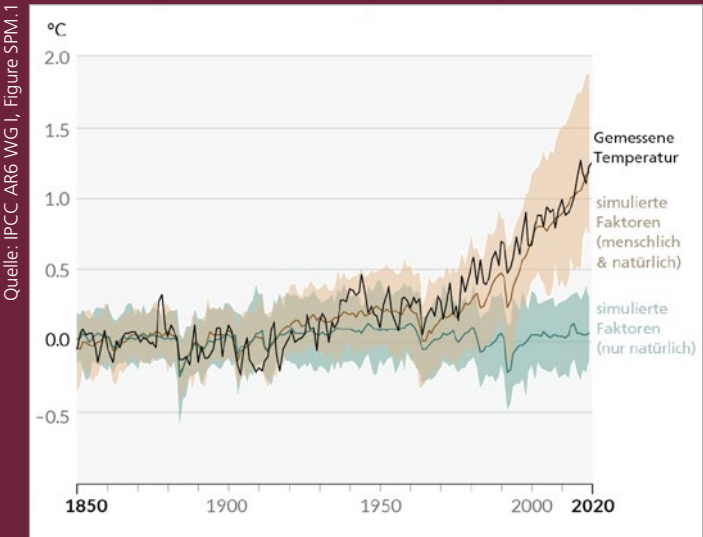
Brücke zwischen Physik und maschinellem Lernen

Im interdisziplinären Projekt USMILE (Understanding and Modelling the Earth System with Machine Learning), das vom Forschungsrat der EU (ERC) gefördert wird, entwickelt das DLR gemeinsam mit anderen Forschungseinrichtungen maschinelle Lernverfahren. Sie sollen das Verständnis und die Modellierung des Erdsystems weiter steigern. Hier geht es zum Beispiel um Wolkenprozesse. „Die Darstellung von kleinskaligen Vorgängen wie Wolkenbildung kann weiter verbessert werden“, erklärt Veronika Eyring. „Darüber hinaus arbeiten wir daran, Klimaschwankungen und Extremereignisse wie Dürren mit Methoden wie Deep Learning auf ursächliche Zusammenhänge hin zu untersuchen. Wir erhoffen uns, durch die Brücke zwischen Physik und maschinellem Lernen die Modellierung und Analyse des Erdsystems zu revolutionieren und langfristig zu robusten Klimaprojektionen beizutragen, auch auf der regionalen Skala.“



Prof. Veronika Eyring vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre verbessert in ihrer Forschung Klimamodelle mit Erdbeobachtungsdaten und KI.

EINFLUSS DES MENSCHEN AUF DIE GLOBALE ERWÄRMUNG UND DEN KLIMAWANDEL



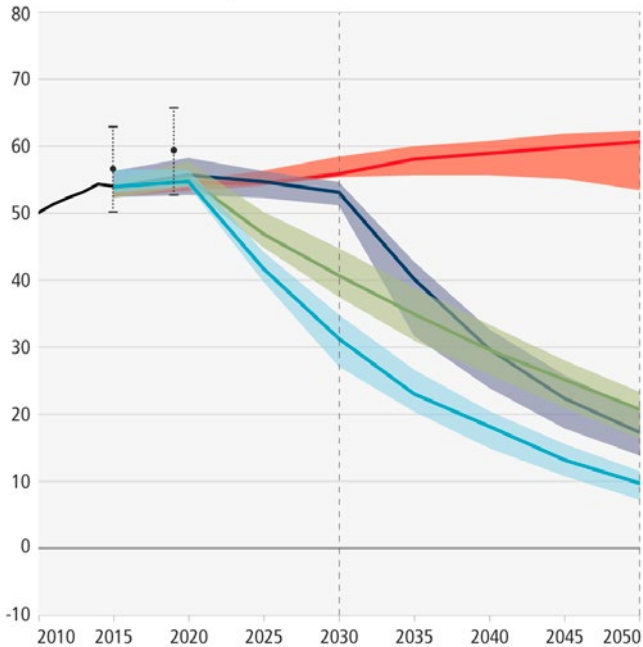
Entwicklung der globalen Oberflächentemperatur: Die orangefarbene Darstellung berücksichtigt menschliche und natürliche Faktoren, die grüne zeigt nur die natürlichen Faktoren wie Vulkanausbrüche und die Sonnenaktivität.

Jetzt wartet ein neues spannendes Projekt auf die Abteilung. Hier werden die Ansätze von USMILE erweitert und es wird erforscht, wie Quantencomputer eingesetzt werden können, um Klimamodelle weiter zu verbessern. Das Projekt KLIM-QML (Verbesserung von Klimamodellen durch Quantum-Machine-Learning) im Rahmen der DLR-Quantencomputing-Initiative (QCI) ist gerade gestartet. Ziel ist es, einen Prototyp eines auf Quantum Machine Learning basierenden Klimamodells zu entwickeln.

Die nächste Generation

„Künstliche Intelligenz liefert schon heute wichtige Beiträge für die Klimamodellierung, es gibt aber noch viel Potenzial nach oben“, sagt Veronika Eyring. „Dafür braucht es eine neue Generation von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die KI und Klimafragen zusammenbringen. Diese auszubilden, ist eine meiner wichtigsten Aufgaben in den kommenden Jahren.“ Im Moment betreut sie etwa ein Dutzend Doktorandinnen und Doktoranden. 1995 begann sie selbst mit ihrer Promotion an der Universität Bremen und kombinierte ihre Faszination für die theoretische Physik mit der Klimaforschung. Schon damals warnten Forschende vor dem Klimawandel. Und schon damals nutzten sie Klimamodelle – die aber bei Weitem nicht so aussagekräftig waren wie heute. Veronika Eyring habilitierte

Globale Treibhausgas-Emissionen



Modellszenarien:

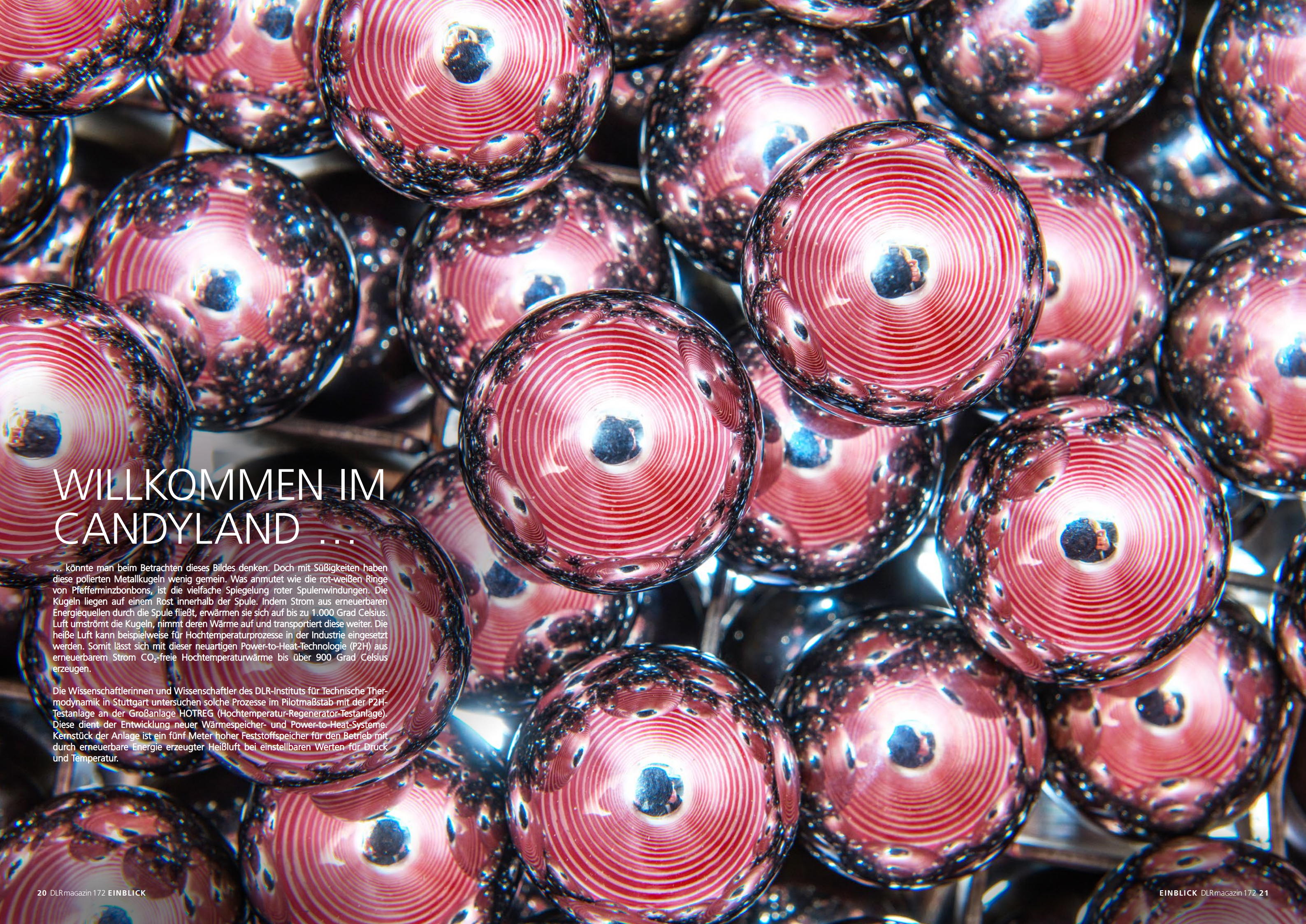
- Entwicklung mit den derzeitigen Maßnahmen
- Begrenzung der Erwärmung auf 2° (> 67%) oder Rückkehr zum 1,5°-Ziel ab 2030 nach einer starken Überschreitung
- Begrenzung der Erwärmung auf 2° (> 67%)
- Begrenzung der Erwärmung auf 1,5° (> 67%) ohne oder mit eingeschränkter Überschreitung
- Globale Treibhausgasemissionen für 2015 und 2019 (Punkt zeigt den Median, gestrichelte Linie die Verteilung der Messwerte)

Die Grafik zeigt, wie stark die Treibhausgasemissionen sinken müssen, damit verschiedene Temperaturszenarien noch erreicht werden können.

im Jahr 2008 an der Universität Bremen und ist als Wissenschaftlerin auch in den USA und in Großbritannien tätig. Sie ist hervorragend international vernetzt.

Als die Organisatoren der COP27 anfragten, ob sie bei der Eröffnungsveranstaltung die Stimme der wissenschaftlichen Gemeinschaft vertreten wolle, stand ihre Entscheidung schnell fest. Die Kernaussagen der Rede waren für Veronika Eyring sofort klar. Ihre DLR-Abteilung, das IPCC-Sekretariat und das Deutsche Klimarechenzentrum unterstützten bei der Vorbereitung und erstellten gemeinsam unter anderem die Animation der Klimavorhersagen. Die Klimaprognosen setzten ein klares Signal für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. „Jeder kleine Anstieg der Erwärmung führt zu weiteren Auswirkungen des Klimawandels“, sagt Veronika Eyring und ergänzt: „Die nächsten Jahre sind kritisch.“

Katja Lenz ist Presseredakteurin im DLR.



WILLKOMMEN IM CANDYLAND ...

... könnte man beim Betrachten dieses Bildes denken. Doch mit Süßigkeiten haben diese polierten Metallkugeln wenig gemein. Was anmutet wie die rot-weißen Ringe von Pfefferminzbombons, ist die vielfache Spiegelung roter Spulenwindungen. Die Kugeln liegen auf einem Rost innerhalb der Spule. Indem Strom aus erneuerbaren Energiequellen durch die Spule fließt, erwärmen sie sich auf bis zu 1.000 Grad Celsius. Luft umströmt die Kugeln, nimmt deren Wärme auf und transportiert diese weiter. Die heiße Luft kann beispielsweise für Hochtemperaturprozesse in der Industrie eingesetzt werden. Somit lässt sich mit dieser neuartigen Power-to-Heat-Technologie (P2H) aus erneuerbarem Strom CO₂-freie Hochtemperaturwärme bis über 900 Grad Celsius erzeugen.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik in Stuttgart untersuchen solche Prozesse im Pilotmaßstab mit der P2H-Testanlage an der Großanlage HOTREG (Hochtemperatur-Regenerator-Testanlage). Diese dient der Entwicklung neuer Wärmespeicher- und Power-to-Heat-Systeme. Kernstück der Anlage ist ein fünf Meter hoher Feststoffspeicher für den Betrieb mit durch erneuerbare Energie erzeugter Heißluft bei einstellbaren Werten für Druck und Temperatur.

AUF SCHNUPPERTOUR AM FLUGHAFEN

Welchen Einfluss haben nachhaltige Treibstoffe auf die Luftqualität an Flughäfen?

von Anja Tröster

Die Luftfahrt setzt große Hoffnungen in nachhaltige Kraftstoffe, genannt SAF (Sustainable Aviation Fuels). Studien zufolge könnten diese Treibstoffe sowohl die CO₂- als auch die Nicht-CO₂-Effekte von Flugzeugen mindern. Aber welchen Einfluss haben sie auf die Luftqualität an Flughäfen? Ein Team des DLR-Instituts für Verbrennungstechnik war in Kopenhagen, um das herauszufinden.

Es ist kalt und windig auf dem Vorfeld des Flughafens an diesem Januarmorgen. Ein Flugzeug nach dem anderen rollt vorbei, es riecht nach Kerosin. Mitten in dem Treiben steht ein blauer Transporter mit einer Handvoll Messgeräte auf dem Dach. Dr. Tobias Schripp, Tobias Grein und Nina Gaiser untersuchen mit diesem mobilen Luftmesslabor des DLR-Instituts für Verbrennungstechnik vier Wochen lang die Abgase, die über das Vorfeld wehen. Vor allem auf ein Flugzeug haben sie es abgesehen: eine Maschine von Scandinavian Airlines, die täglich zwischen Kopenhagen und Stockholm pendelt und für die Studie eine Mischung aus 65 Prozent Kerosin und 35 Prozent synthetischem Treibstoff oder SAF (Sustainable Aviation Fuel) tankt.

Die Messungen sind Teil des EU-Projekts ALIGHT, das Lösungen für eine smarte, klimaneutrale Energieversorgung von Flughäfen entwickelt. Wenn die drei Forschenden erzählen, was sie genau messen, ernten sie allerdings immer wieder ungläubige Blicke. Plane-Spotter ist man am Flughafen gewöhnt. Aber Plane-Sniffer? Das findet nicht



Über diesen Messkopf wird die Luft angesaugt und von Teilchen gereinigt, die zu groß sind.

nur das Flughafenpersonal ungewöhnlich, wie Projektleiter Tobias Schripp eines Tages feststellt, als er Messungen außerhalb des Flughafengeländes machen will. Da schüttelt selbst der Plane-Spotter, mit dem er sich unterhält, belustigt den Kopf.

Doch der Unglaube hat sich bisher noch jedes Mal in Faszination verwandelt. Denn wenn der Chemiker seinem Gegenüber genauer erklärt, wie er die Feinstaubteilchen analysiert, dann wird auch Laien klar: Hier ist Ungewöhnliches im Gange. Viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler studieren die Auswirkungen von Treibstoffen auf die Atmosphäre in Simulationen. Nur eine Handvoll weltweit vollzieht in Echtzeit nach, was bei Verbrennungsprozessen tatsächlich passiert.

Wie bestimmt man die Herkunft eines Rußteilchens?

Entscheidend ist, dass das Labor nicht nur alle Teilchen zwischen 5 und 1.000 Nanometern in Echtzeit zählen und bestimmen kann, sondern diese auch mit den Daten der Wetterstation auf dem Dach des Busses kombiniert – also Windrichtung, Temperatur und Luftfeuchte. Nebenbei nehmen die Forschenden auch die Konzentration von Kohlendioxid und anderen Emissionen unter die Lupe. „Wir gehen

Während der Messkampagne müssen die drei Forschenden manchmal schon vor Sonnenaufgang raus aufs Vorfeld.

ALIGHT

In dem EU-Projekt arbeiten unter anderem der Flughafen Kopenhagen, die Fluggesellschaft Scandinavian Airlines und das Unternehmen BP an der Umsetzung von klimaneutralen Lösungen für Flughäfen – es geht zum einen um die Versorgung der Infrastruktur am Boden mit erneuerbarer Energie, zum anderen um die Einführung von Sustainable Aviation Fuels (SAF). Bis 2025 wird ein ALIGHT-Konzept entwickelt, das auch von anderen Flughäfen angewandt werden kann.

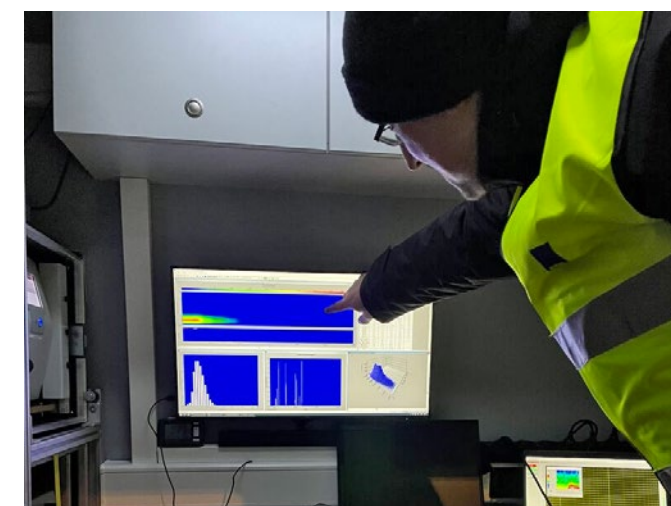
davon aus, dass sich die Zusammensetzung der Abgaswolke auf den 200 Metern vom Triebwerk bis zu uns nicht wesentlich ändert“, sagt Schripp. „Sie ist dann erst wenige Sekunden alt, das Verhältnis von Kohlendioxid und Partikeln also noch gleich – unabhängig von einer Verdünnung durch Wind. Wenn wir beides kennen, können wir die Abgase also gut charakterisieren und vergleichen.“ Dass die gemessenen Teilchen tatsächlich von einem Flugzeug stammen, erkennen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an ihrer Größe – sie sind viel kleiner als die von Dieselfahrzeugen. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von 40.000 Nanometern oder mehr, ist also vierzigmal dicker als das größte vermessene Teilchen.

Zunächst hat das DLR-Team das Verhältnis von Kohlendioxid und Partikeln in den Abgaswolken mehrerer Flugzeuge verglichen – sowohl bei solchen, die mit herkömmlichem Kerosin fliegen, als auch bei Flugzeugen, die teilweise SAF tanken. Dann haben sie sich auf „ihre“ Maschine konzentriert. Stickoxide gaben zusätzlich Aufschluss über die Verbrennung in den Triebwerken. „Wir schauen uns die Spitzen der Abgasfahnen an, die wir im Bodenbetrieb unserer Zielflugzeuge in unseren Messgeräten finden. Außerdem ordnen wir die Spitzen einer Windrichtung zu, die wir auch direkt am Auto messen“, sagt Tobias Schripp. Dabei verwendeten die Fachleute das GPS des Zielflugzeugs, die Windrichtung sowie das Spitzenereignis, um die Abgase zuzuordnen. Auch für die Projektpartner war die Kampagne ein Erfolg. „Für mich war einer der aufregendsten Momente im Rahmen des ALIGHT-Projekts, als nach monatelanger Planung der Kampagne das Flugzeug von Scandinavian Airlines auf dem Kopenhagener Flughafen mit einer 35-prozentigen SAF-Mischung herumrollte, während das DLR die Auswirkungen auf die lokale Luftqualität maß“, sagt Sabrina Jensen, Senior Project Manager für Nachhaltigkeit am Flughafen Kopenhagen und ALIGHT-Projektleiterin.

Mit den Emissionen von nachhaltigen Treibstoffen beschäftigt sich das Stuttgarter DLR-Team nicht zum ersten Mal. In den



Jesper Jacobsen, Head of Sustainability Development am Flughafen Kopenhagen, erklärt Journalistinnen vom dänischen Rundfunk, worum es im EU-Projekt ALIGHT geht.



DLR-Projektleiter Dr. Tobias Schripp erklärt, wie sein Team die Emissionen eines vorbeifliegenden Flugzeugs in Echtzeit analysiert.

Jahren 2015, 2018 und 2021 untersuchte es bei den wegweisenden ECLIF-Kampagnen (Emission and CLimate Impact of alternative Fuels) Triebwerksemissionen genauer. Allerdings geschah das unter vergleichsweise kontrollierten Bedingungen. „Die Realität im Flugbetrieb sieht ganz anders aus – und wir wollen sehen, ob sich die Erwartungen an solche Fuels unter diesen Bedingungen tatsächlich erfüllen“, sagt Schripp. Er hält es für möglich, dass die Minderung der Schadstoffe sich ganz anders auswirkt als erwartet. Da die verwendeten Treibstoffe in ihrem Rußbildungspotenzial recht ähnlich sind, wird wahrscheinlich noch eine detaillierte, weitere Auswertung fällig.

Anja Tröster ist für die Öffentlichkeitsarbeit am DLR-Institut für Verbrennungstechnik verantwortlich.

Das mobile Labor hat bei Flugkampagnen schon öfter Triebwerksemissionen untersucht – aber zuvor nie im alltäglichen Flugbetrieb.



RAUS AUS DER BOX!

Mit Co-Development Flugzeuge kooperativ und schnell entwickeln
von Björn Nagel



Wer entscheidet, wie die Produkte aussehen, die wir nutzen? Und wer gestaltet sie? Die Entwicklung von neuen Produkten läuft nicht unbedingt hierarchisch ab: Designerinnen und Designer treten in Dialog mit denen, die das Produkt später nutzen möchten. Anwendende erlangen so Mitspracherecht bei der Entstehung. Dieser kooperative Ansatz nennt sich Co-Design. Im DLR möchten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler diesen Grundgedanken auf die Entwicklung und Produktion von Flugzeugen übertragen und den gemeinsamen Entwicklungsprozess von der Idee bis zu Fertigung und Betrieb verbessern.

Lange bevor der erste Prototyp gefertigt wird, machen sich Designerinnen und Designer Gedanken darüber, wie ein neues Luftfahrzeug aussehen könnte. Dabei entstehen mitunter Ideen wie große Panoramafenster oder ein Gesellschaftsbereich mit Bar für die Fluggäste. Auch die Fragen, wie das Flugzeug die von der Luftfahrt gesteckten Ziele Richtung Klimaneutralität einhalten könnte, wie viele Fluggäste es fassen oder welche Strecke es fliegen soll und womit es angetrieben wird, werden in diesem Prozess gestellt. Für die Auslegung kommen Expertinnen und Experten aus den verschiedensten Bereichen ins Spiel: Aerodynamik, Statik, Akustik, Sicherheit oder Strukturmechanik. Alle sollen sie eng zusammenarbeiten und schauen, wie sich deren Anforderungen physikalisch realisierbar und effizient umsetzen lassen und wie das Luftfahrzeug beschaffen sein muss, damit es fliegen kann. Das führt dazu, dass neue Flugzeuge schneller auf den Markt kommen können.

Kooperativ, schnell und vielversprechend

„Der Wunsch, die Grundidee des Co-Designs auf den gesamten Entwicklungsprozess anzuwenden, wurde unter anderem seitens der Produktion an uns herangetragen, denn die bekommt den Entwurf oft erst dann zu Gesicht, wenn er quasi fertig ist“, sagt Dr. Jörn Biedermann. Er arbeitet am DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt in Hamburg.



Hier wird daran geforscht, wie neue Luftfahrzeuge und deren Komponenten, wie zum Beispiel die Kabine, in Zukunft leistungsfähiger, effizienter und sicherer werden können.

Wenn der Entwurf der Produktion vorgelegt wird, kann es sein, dass die vorhandenen Anlagen aufwändig umgerüstet werden müssen, weil sie für die neuen Aufgaben nicht ausgelegt sind. Mitunter müssen Fertigungstechnologien weiterentwickelt oder Roboter neu beschafft werden, weil die vorhandenen die nötigen Arbeitsschritte nicht ausführen können. Es kann sogar sein, dass eine Produktionshalle gebaut werden muss, weil das neue Flugzeug deutlich länger ist. Hinzu kommt, dass viele Anlagen derzeit für nur einen Flugzeugtyp optimiert sind. Die Flugzeuge der Zukunft sollen aber modularer gestaltet sein. Je nach Wunsch können heute schon beispielsweise die Sitzreihen unterschiedlich angeordnet oder Schlafkabinen und Arbeitsbereiche im Entwurf berücksichtigt werden. Diese Bauweise wirkt sich natürlich auch auf die Produktion des Flugzeugs aus.

Beim Ansatz des Co-Designs haben alle Beteiligten in allen Stadien des Entwurfs Mitspracherecht: von Entwicklung und Design über Auslegung, Tests und Produktion bis hin zu Betrieb und Instandhaltung. Fachleute aus allen Bereichen werden von Beginn an nach ihren Wünschen und Rahmenbedingungen gefragt. Diese werden dementsprechend früh in den Prozess integriert und alle arbeiten gemeinsam und parallel an einem Entwurf. Das spart Zeit und Geld. Die Forschenden sowie die Ingenieurinnen und Ingenieure in Hamburg erhoffen sich nicht nur mehr Kommunikation durch diesen Ansatz, sondern auch effizientere Abläufe und innovativere Flugzeugkonzepte.



Dieses Konzept für ein Sitzabteil im Flugzeug wurde mit der Co-Design-Methode entworfen.

Schnittstellen aufspüren und Informationen zugänglich machen

„Zurzeit konzentrieren wir uns auf das sogenannte Co-Development, also die Kopplung der verschiedenen Aspekte der Entwurfsphase“, so Fabian Reimer. Er arbeitet im Kabinendesignerteam des DLR-Instituts. „Unser Hauptaugenmerk liegt darauf, dass wir gemeinsam Ideen entwickeln und Schnittstellen definieren. Konkret bedeutet das, dass wir alle Informationen sammeln und sie so aufbereiten, dass alle sie verstehen“, ergänzt Mara Fuchs, DLR-Expertin für den Kabinensystementwurf. Dabei beziehen die DLR-Fachleute alle Entwicklungsphasen mit ein, die ein Flugzeug durchläuft. Das ist keine leichte Aufgabe, denn die verschiedenen Expertinnen und Experten arbeiten mit unterschiedlichen Softwareprogrammen und Methoden. Um zu bewerten, ob ein neues Konzept überhaupt flugfähig ist, entstehen Strömungsmodelle, akustische Analysen, FEM-Simulationen (FEM = Finite-Elemente-Methode), die zeigen, ob die Strukturen den Belastungen während des Fluges standhalten, und vieles mehr. Hinzu kommt, dass die neu entwickelten Konzepte strengen Sicherheitsregularien im Rahmen der Zertifizierung unterliegen. Oft werden die Informationen und Anforderungen zwischen den Fachgebieten noch per Excel-Datei oder PDF-Dokument verschickt. Ein solches Dokument besteht mitunter aus 1.000 Seiten. Daraus muss sich jeder Experte und jede Expertin die für sie relevanten Informationen herausuchen.

„Bei Flugzeugherstellern kümmern sich Teams um einen festgelegten Bereich – beispielsweise darum, wie die Luftführung in der Kabine geregelt sein soll oder wie eine möglichst leise Turbine aussehen muss. Diesen optimieren sie im Hinblick auf die gegebenen Rahmenbedingungen“, sagt Dr. Christian Hesse, DLR-Experte für Kabinenentwurf. „Das führt allerdings dazu, dass sie eventuell nicht im Bilde darüber sind, was im Gesamtsystem Flugzeug passiert“, ergänzt Fabian Reimer.

„Unser Hauptaugenmerk liegt darauf, dass wir gemeinsam Ideen entwickeln und Schnittstellen definieren. Konkret bedeutet das, dass wir alle Informationen sammeln und sie so aufbereiten, dass alle sie verstehen.“

Mara Fuchs
DLR-Expertin für den Kabinensystementwurf

Im Co-Design sind Kommunikation und Austausch essenziell.



Im DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt werden mittels Projektionsverfahren oder Extended-Reality-Anwendungen neue Kabinenkonzepte getestet.

Das wiederum bedeutet, dass vermeintlich wirkungsvolle Verbesserungen im Gesamtsystem nur noch wenig Einfluss haben. Als zum Beispiel die Rotorblätter des Triebwerkstyps Contra Rotating Open Rotors weiterentwickelt wurde, gingen die Fachleute davon aus, dass dies zwischen 10 und 20 Dezibel Lärm einsparen könne. Für sich gesehen, war dies auch der Fall. Als die Triebwerke dann im Windkanal an der Rumpfstruktur montiert und getestet wurden, fiel auf, dass das Flugzeug nur um etwa zwei bis sechs Dezibel leiser wurde, weil auch durch die Luftströmung um die Flugzeugstruktur Lärm entsteht. „Indem wir uns alle an einen Tisch setzen, können Schnittstellen und Abhängigkeiten zwischen den Spezialgebieten frühzeitig aufgedeckt und berücksichtigt werden“, sagt Mara Fuchs.

Alles ist verknüpft – das Flugzeug als System

Für den DLR-Wissenschaftler Biedermann ist Co-Development ein vielversprechender Ansatz, mit dem sich bislang unerkannte Schnittstellen aufspüren lassen: „Wir verstehen das gesamte Flugzeug als System, bei dem alles miteinander vernetzt ist. Mithilfe von Co-Design und Co-Development möchten wir die Leute aus ihrer Box holen, in der sie denken.“ Dabei tauschen sich die Expertinnen und Experten

aus und erhalten Einblick in die Arbeit der anderen. So werden Wechselwirkungen sichtbar. Man kann sich gegenseitig Feedback geben und auf die Bedürfnisse der anderen eingehen.

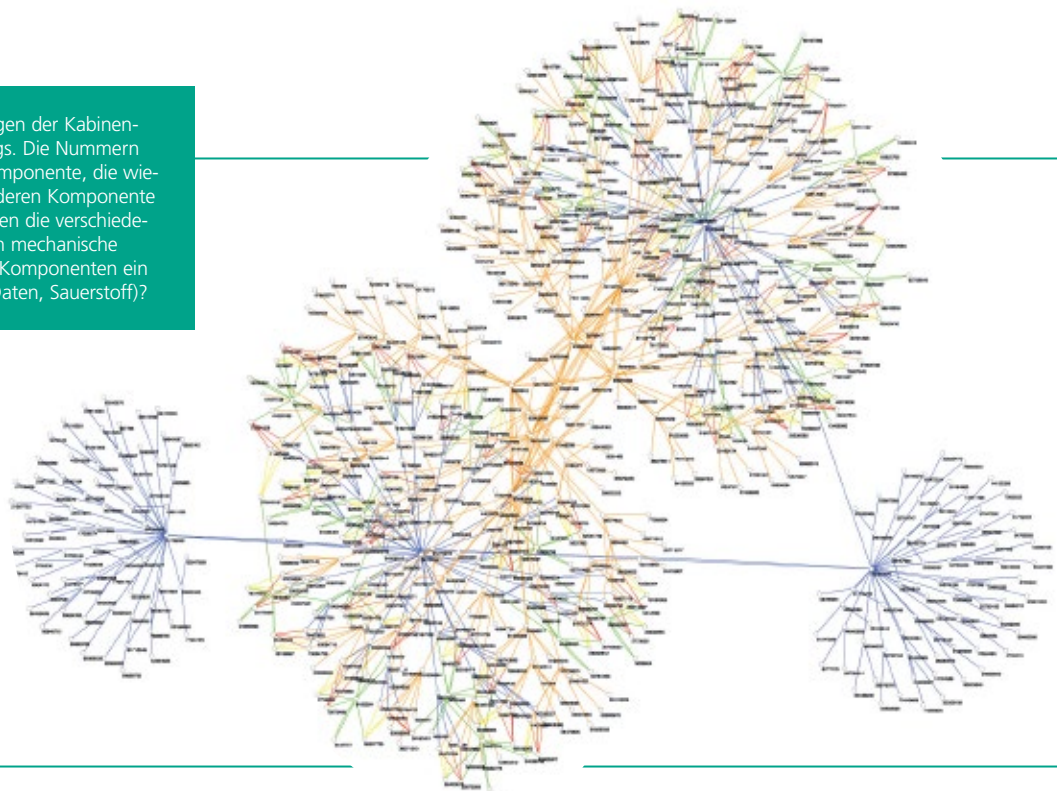
Co-Design und Co-Development bei den DLR-Instituten ...

Zwischen den Luftfahrtinstituten im DLR funktioniert diese Arbeitsweise schon recht gut. Seit 2005 entwickelten DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler das Datenmanagementsystem CPACS (Common Parametric Aircraft Configuration Schema). Es enthält Informationen darüber, wie ein Flugzeug und seine einzelnen Komponenten aufgebaut sind. Die Daten werden in einem Format ausgegeben, das für alle Parteien lesbar und nutzbar ist. So sprechen alle jederzeit über dasselbe Flugzeug und arbeiten mit den aktuellsten Daten – anstatt mit einem tausendseitigen PDF-Dokument. In dem DLR-Projekt InDiCaD untersuchten die Forschenden, wie über CPACS direkt Daten über das Kabinendesign ausgetauscht werden können. So können die Fachleute Ergebnisse, beispielsweise aus Boarding-Simulationen, direkt im Entwurf berücksichtigen. Außerdem tauschen die Partner Informationen zur Vorhersage des Kabinenlärms über CPACS aus.

Dieses Netz zeigt einige Verbindungen der Kabinenkomponenten eines A320-Flugzeugs. Die Nummern bezeichnen jeweils eine Kabinenkomponente, die wiederum über eine Linie mit einer anderen Komponente verbunden ist. Die Farben bezeichnen die verschiedenen Kopplungsarten: Ist es eine rein mechanische Kopplung oder wird zwischen den Komponenten ein Medium übertragen (Luft, Strom, Daten, Sauerstoff)?

Legende

- Sauerstofftransfer
- Mechanische Kopplung
- Stromtransfer
- Datentransfer
- Transfer von Luft



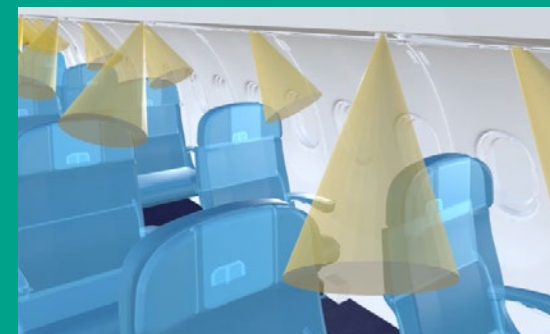
DLR-Projekte aus dem Bereich Co-Development

Ein Testfeld für kooperatives Arbeiten

Das DLR-Institut Systemarchitekturen in der Luftfahrt hat gemeinsam mit dem Technologieunternehmen Dassault Systèmes die Initiative Engineering Collaborative Network ins Leben gerufen. Deren Ziel ist es, herauszufinden, wie die Industrie von dieser kooperativen Arbeitsweise profitieren kann. Die Forschenden nutzen dazu die Softwareplattform 3DEXPERIENCE, die von Dassault Systèmes entwickelt wurde. Mithilfe dieser cloudbasierten, integrierten Plattform können alle beteiligten Parteien zusammenarbeiten, kommunizieren und beispielsweise Änderungen im Flugzeugentwurf direkt nachvollziehen. Ziel des DLR-Teams ist es, den Wertschöpfungsprozess des wirtschaftlichen Ökosystems Luft- und Raumfahrt zu optimieren, um nachhaltiges Fliegen zu ermöglichen und so den gesellschaftlichen Anforderungen an eine klimaneutrale Zukunft gerecht zu werden.

Gemeinsam neue Kabinen denken

Im LuFo-VI-1-Projekt Verdika (Vernetzte Digitale Kabine) erarbeitet das DLR gemeinsam mit Partnern aus der Industrie, wie Airbus und Diehl Aviation, einen Prozess, mit dem die Flugzeugkabine automatisiert und digital entwickelt sowie integriert werden kann. Der Fokus liegt dabei auf Gepäckfachvarianten für verschiedene Flugzeugtypen. In dem Projekt werden alle beteiligten Stakeholder frühzeitig zusammengebracht, um eine Modulbauweise für die Gepäckablage und deren Integration in diverse Flugzeugmuster zu untersuchen. Das Projekt endet im September 2023.



Flugzeuge digital entwerfen

Neue Flugzeuge zu entwerfen, ist heutzutage sehr herausfordernd: Nicht nur werden die Entwürfe immer komplexer, auch die notwendigen Kosten sowie die erforderliche Zeit steigen. Das Ziel des EU-finanzierten H2020-Projekts AGILE 4.0 ist es, den Entwurfsprozess zu digitalisieren und ihn dadurch zu verbessern und zu beschleunigen. AGILE 4.0 ist 2019 gestartet und läuft bis 2023. Die Beteiligten suchen neue Wege, mit denen Flugzeuge modelliert und optimiert sowie die Modelle bewertet werden können. Ihre Arbeit umfasst den gesamten Lebenszyklus, einschließlich Herstellung, Zertifizierung und Wartung. Dabei werden keine Dokumente mehr ausgetauscht, sondern die Beteiligten arbeiten mit Modellen, in denen alle Informationen dargestellt sind und auf die alle Zugriff haben.



ZENODO

Im Projekt AGILE wurde die kooperative Zusammenarbeit auf Partnerorganisationen in ganz Europa ausgeweitet. „Hier konnten wir zeigen, dass es möglich ist, dezentral und europaweit ein Flugzeug auszulegen, und alle arbeiten auf derselben Basis“, so Dr. Luca Boggero, DLR-Experte für Systems Engineering. In dem Projekt wurden alle Methoden und digitalen Werkzeuge miteinander gekoppelt. Im Projekt Verdika standen die Flugzeugkabine und die Frage, wie diese digital kooperativ entwickelt werden kann, im Mittelpunkt. Im Jahr 2020 startete das DLR-Projekt EXACT. Darin entwickeln 20 Institute gemeinsam Konzepte für zukünftige ökoefiziente Verkehrsflugzeuge. EXACT steht für Exploration of Electric Aircraft Concepts and Technologies. Das Projekt läuft noch bis 2024.

... und darüber hinaus

Wenn Biedermann und sein Team die Informationen zusammentragen, stellt sie häufig schon die Definition vor Schwierigkeiten. „Je nachdem, mit wem ich spreche, bekomme ich eine andere Beschreibung oder andere Anforderungen an das virtuelle und reale Produkt“, merkt der DLR-Forscher an. Für den Betrieb kann dies zum Beispiel bedeuten, dass die ganze Flotte mit jeder Umbaumaßnahme als digitales Produkt

dargestellt werden soll. Für die Produktion hingegen ist es interessant, den aktuellen Stand des Zusammenbaus abzubilden. Wie die Begriffe dann definiert werden, ist mitunter eine fast philosophische Frage. Die Aufgabe der DLR-Fachleute aus Hamburg ist es, eine gemeinsame Basis zu schaffen und die Expertisen zu koppeln. Dazu entwickeln sie wissensbasierte Methodiken, die Fragen beantworten wie: Was sind die relevanten Informationen? Wie vernetze ich dieses Wissen? Wer ist miteinander verknüpft? Dabei muss alles in sich konsistent sein.

Wie diese Arbeitsweise in der Industrie funktionieren kann, erarbeitet das DLR-Institut zusammen mit dem Unternehmen Dassault Systèmes in dem Projekt Engineering Collaborative Network. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nutzen dabei die Softwareplattform, die bei Dassault bereits existiert. Über sie können alle relevanten Parteien miteinander kommunizieren und Änderungen im Flugzeugentwurf nachvollziehen. Das DLR-Team wird untersuchen, wo noch Lücken in der Kommunikation und Zusammenarbeit bestehen und wie sich diese schließen lassen. Am besten natürlich gemeinsam.

Dr. Björn Nagel ist Gründungsdirektor des DLR-Instituts für Systemarchitekturen in der Luftfahrt.

WIR VERSTEHEN UNS

Wie Spracherkennungssoftware die Flugsicherung verbessern kann
von Prof. Dr. Hartmut Helmke

Spätestens seit Alexa, OK Google oder Siri ist die Spracherkennung im Alltag angekommen. Sie erlaubt freie Hände, wenn wir eine Adresse ins Navi einsprechen, aber nicht nur das: Software kann die Flugsicherung in der Luft und am Boden unterstützen. Sie spart den Lotsinnen und Lotsen Zeit und den Flugzeugen Kerosin. Das DLR-Institut für Flugführung forscht schon seit vielen Jahren daran, Spracherkennungssoftware weiterzuentwickeln und in neuen Einsatzgebieten zu testen. Aber wie funktioniert eine solche Software eigentlich und welche weiteren Vorteile bringt sie?

Lotsenpersonal kommuniziert mit Pilotinnen und Piloten in Fachsprache. Bei Sätzen wie „Speedbird two zero zero zero, reduce one eight zero knots until four miles final, contact tower on frequency one one eight decimal seven zero zero, bye bye!“ erkennt eine herkömmliche Sprachsoftware wie Siri gerade einmal die Hälfte der Wörter – diese komplexe Anweisung wird sehr schnell gesprochen. Hinzu kommen die unterschiedlichen englischen Akzente. Für den realen Betrieb reicht eine solche Erkennungsrate bei Weitem nicht aus. Zusammen mit verschiedenen Flugsicherungen und Forschungseinrichtungen, wie der Universität des Saarlandes, dem Schweizer Forschungsinstitut Idiap und der Universität Brunn, hat das DLR-Institut für Flugführung Systeme für das Spracherkennen und -verstehen für Flugsicherungsanwendungen entwickelt. Hierzu werteten die Forschenden mehr als 50 Stunden Sprachdaten aus und verschriftlichten diese. Zum Vergleich: Google kann auf etwa 200.000 Stunden verschriftlichte Sprachdaten zugreifen. Mit den Daten trainierten die Forschenden ein neuronales Netz. Für den Vorfeldbereich des Flughafens Frankfurt erreichte das System danach Worterkennungsraten von über 97 Prozent.

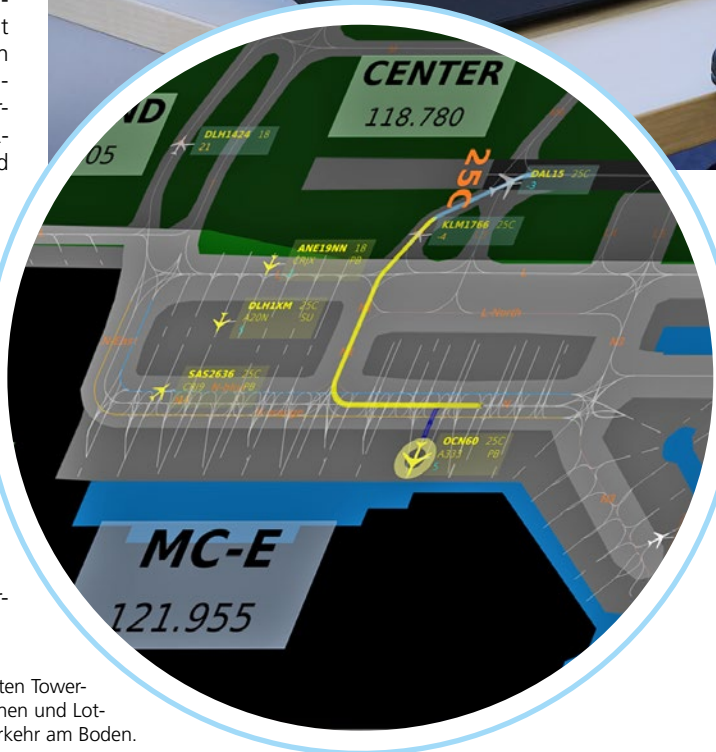
Spracherkennung versus Sprachverstehen

Neben der Erkennungsrate entscheiden auch die nicht erkannten Wörter über die Qualität einer Anwendung. Ein Fehler bei „Good morning“ ist deutlich weniger dramatisch als eine Verwechslung in „heading two six zero“. Wird hier „three“ statt „two“ erkannt, fliegt das Flugzeug Richtung Norden anstatt nach Westen.

Mit dem sogenannten Tower-Pad regeln die Lotsinnen und Lotsen den Flugverkehr am Boden.



Flaport AG



TowerPad™/ATRICS Advanced Traffic Solutions GmbH

Bei diesem Test wurde die Lotsin von einer Spracherkennungssoftware dabei unterstützt, den Verkehr im Vorfeldbereich des Frankfurter Flughafens zu regeln.

Eine Sprachäußerung, kommt sie nun aus dem Cockpit oder aus dem Tower, setzt sich aus verschiedenen Instruktionen zusammen – einem Rufzeichen, einem Kommando sowie möglichen Bedingungen. Der Pilot oder die Pilotin muss jede Lotsenanweisung wiederholen, um sie zu bestätigen. Dabei kann sich die Reihenfolge der Wörter ändern oder es werden andere Ausdrücke genutzt. Damit auch eine Software die Äußerungen „verstehen“ kann, haben sich 22 Partnerorganisationen aus 15 europäischen Ländern unter Federführung des DLR 2018 auf Regeln zur semantischen Interpretation von Sprechfunkäußerungen, also eine Ontologie, geeinigt. Zusammen mit Flugsicherungen aus ganz Europa hat das DLR diese Ontologie in verschiedenen Projekten zum Sprachverstehen eingesetzt und ihre Tauglichkeit bewiesen. Derzeit wird sie unter Leitung des DLR weiterentwickelt.

WIE WIRD IN DER FLUGSICHERUNG KOMMUNIZIERT?

speedbird two zero zero zero
reduce one eight zero knots until four miles final
contact tower on frequency
one one eight decimal seven zero zero bye bye

one eighty to four
tower one eighteen seven
speed bird two thousand

Flugzeugkennung	BAW 2000
Anweisung 1	Geschwindigkeit bis spätestens vier nautische Meilen vor der Landung auf 180 Knoten reduzieren
Anweisung 2	Tower kontaktieren
Anweisung 3	Zur Frequenz 118.700 des Towers wechseln
Verabschiedung	Bye bye

Oben sieht man eine typische Lotsenäußerung aus der Anflugkontrolle. Sie beginnt mit dem Rufzeichen, also dem Namen des Fluges. Es folgt die Anweisung, die Geschwindigkeit auf 180 Knoten zu reduzieren, was spätestens vier nautische Meilen vor der Landung erreicht sein sollte. Anschließend soll der Pilot oder die Pilotin zur Frequenz 118.700 des Towers wechseln. Der Pilot oder die Pilotin wiederholt die Geschwindigkeit sowie die Tower-Frequenz und zum Schluss das Rufzeichen.

Die Vorfeldlotsinnen und -lotsen des Frankfurter Flughafens werden ab 2024 sämtliche gesprochenen Rollführungskommandos zusätzlich per Maus oder Tastatur in ein Kontrollsystem eingeben. Dieser Prozess wird die Sicherheit erhöhen. Er steigert allerdings auch die Arbeitsbelastung erheblich – schlimmstenfalls könnten sogar weniger Flugzeuge starten und landen. Eine Spracherkennungssoftware kann die gesprochenen Befehle verschriftlichen und automatisch interpretieren. Das Lotsenpersonal muss lediglich verbleibende Fehler korrigieren. Bei einer Erkennungsrate von 90 Prozent müsste es nur noch jede zehnte Anweisung eingeben. Das erforschten die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler im Project STARFISH (Safety and Artificial Intelligence Speech Recognition). Idiap entwickelte den Spracherkenner, das DLR lieferte das Modul zum Sprachverstehen, die Freiburger Firma

ATRICS Advanced Traffic Solutions GmbH entwickelte den Simulator sowie das TowerPad und die Frankfurt Flughafen AG (Fraport) stellte die Versuchslotsinnen und -lotsen. Getestet wurde das System zunächst im Simulator der Fraport AG. Die Versuche im Sommer 2022 zeigten, dass eine gute Spracherkennungssoftware das Lotsenpersonal deutlich entlastet, weil es über 50 Prozent weniger Eingaben tätigen muss.

Von der Simulation in den Kontrollraum

Wurde im STARFiSH-Projekt die Software noch mit Sprachdaten aus dem Simulationsbetrieb getestet, ist das vom DLR geleitete europäische Projekt HAAWAI schon einen Schritt weiter. Hier wurde eine Spracherkennungssoftware dazu eingesetzt, Lotsenanweisungen aus dem operationellen Umfeld der isländischen und der britischen Flugsicherung zu erkennen und zu verstehen. HAAWAI steht für Highly Automated Air Traffic Controller Workstation with Artificial Intelligence Integration. Beteiligt sind Idiap, die Universität Brüssel und die Flugsicherungen aus Island, Großbritannien, Österreich und Kroatien. Die Software erkennt nicht nur die Äußerungen des Lotsenpersonals im operationellen Umfeld, sondern auch die der Pilotinnen und Piloten. Dies ist nicht nur wegen des hohen Geräuschpegels im Cockpit herausfordernd, sondern auch aufgrund der verschiedenen Sprachakzente. Hinzu kommt, dass der Sprachkanal vom Flugzeug zum Boden meist stark verrauscht ist. Das Projekt begann 2020 mit einem Spracherkennungssystem, das zwar schon mit 3.000 Stunden Alltagsenglisch und auch mit Flugsprechfunk trainiert, aber weder mit einer Sprachäußerungen der britischen Flugsicherung noch mit solchen der isländischen Flugsicherung konfrontiert worden war. Entsprechend schlecht waren die Erkennungsraten auf



Für den Versuch wurden die Pilotinnen und Piloten mehrerer Flugzeuge simuliert. Hier steuert eine Person zehn Flugzeuge gleichzeitig als „Pilotin“.

Wortebene zu Beginn mit Wortfehlerraten von 30 bis 40 Prozent. Britische und isländische Fluglotsinnen und -lotsen verschriftlichten daraufhin ihren Sprechfunk. Mit den Daten trainierten die Forschenden die neuronalen Erkennungsnetze. Danach lag die Worterkennungsrate für die Lotsinnen und Lotsen bei über 95 Prozent und für die Pilotinnen und Piloten bei über 90 Prozent. Die isländische Flugsicherung nutzte in HAAWAI Sprachverstehen, um das Lotsenpersonal dabei zu unterstützen, Fehler der Pilotinnen und Piloten beim Wiederholen von Lotsenkommandos zu erkennen. Die britische Flugsicherung nutzte Sprachverstehen zur Vorhersage der Arbeitsbelastung der Fluglotsinnen und Fluglotsen.



Die Tests der Software zeigten, dass die Lotsinnen und Lotsen über 50 Prozent weniger Befehle selbst eingeben müssen.

Treibstoff sparen mit Spracherkennung

Dass der Einsatz einer solchen Software auch Treibstoff sparen kann, zeigten die Forscherinnen und Forscher des DLR-Instituts für Flugführung schon im Jahr 2015. Wenn die Lotsinnen und Lotsen die Befehle nicht mehr manuell eingeben müssen, sondern einfach einsprechen, haben sie mehr Ressourcen für ihre eigentliche Aufgabe, sprich für die sichere und effiziente Führung des Flugverkehrs. Wird ein Kommando im Landeanflug auch nur geringfügig zu spät gegeben, kann dies dazu führen, dass das Flugzeug einige Kilometer zu

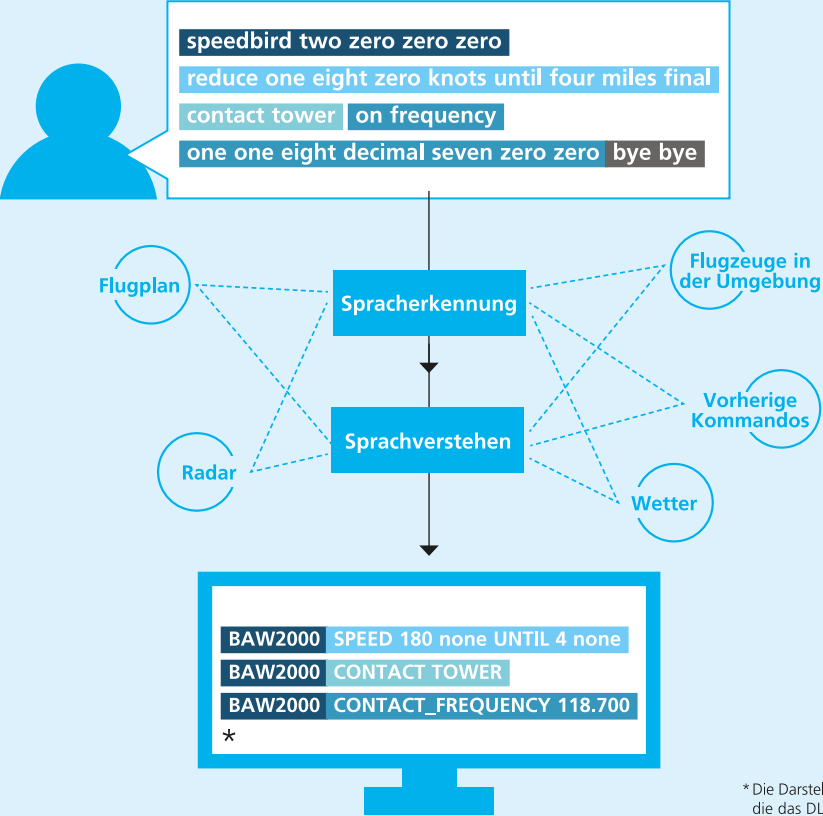
weit in die falsche Richtung fliegt. Dies bedeutet wiederum mehr Arbeit für das Lotsenpersonal. Tests mit Fluglotsinnen und Fluglotsen aus Deutschland, Österreich, Kroatien, Tschechien, Dänemark, Schweden und Irland zeigten zwischen 2015 und 2017, dass sich die Flugzeit mit einer Spracherkennungssoftware um circa 77 Sekunden verkürzen lässt. Dieses entspricht 60 Liter Kerosin pro Flug.

Erster Live-Einsatz und Ausblick

Im Sommer 2022 integrierte die isländische Flugsicherung das HAAWAI-System im Kontrollraum des Flughafens Reykjavik, um die gesprochenen Kommandos anzeigen zu lassen. Ziel dieser Demonstration war es, Rücklesefehler automatisch zu erkennen, was das System erfolgreich leistete.

Derzeit plant das DLR gemeinsam mit Flugzeugherstellern die Software in Cockpits zu integrieren, sodass die Pilotinnen und Piloten beim Rollen auf dem Flughafen keine Wege mehr manuell in das System eingeben müssen. Die Vision des Ein-Personen-Cockpits rückt damit ein Stück näher. Der Flughafen Frankfurt plant das System nicht nur im Simulator einzusetzen, sondern spätestens ab 2026 auch die Lotsinnen und Lotsen direkt im Kontrollraum bei der Kommandoingabe zu entlasten.

Prof. Dr. Hartmut Helmke arbeitet im DLR-Institut für Flugführung in der Abteilung Lotsenassistenz und ist Spezialist auf dem Gebiet des Sprachverstehens.



* Die Darstellung der Anweisungen basiert auf der Ontologie, die das DLR gemeinsam mit Flugsicherungen aus ganz Europa entwickelt hat.

WIE ARBEITET EINE SPRACHERKENNUNGS SOFTWARE?

Ein gesprochenes Sprachsignal wird von dem Spracherkennungsalgorithmus der Software in eine Folge von Wörtern transformiert. Der Algorithmus für das Sprachverstehen wandelt die einzelnen Wörter in semantische Einheiten um. Das können Rufzeichen, Kommandotypen oder Kommandowerte sein. Um die Spracherkennung und das Sprachverstehen zu verbessern, nutzt das System die Kommandovorhersage. Diese ermittelt zum einen die Rufzeichen der Flugzeuge, die sich in der Nähe befinden und somit in nächster Zeit angesprochen werden könnten, zum anderen für jedes Rufzeichen mögliche Kommandotypen mit Werten. Kommandotypen sind zum Beispiel Richtungs-, Geschwindigkeits- oder Flughöhenänderungen. Dazu greift das Kommandovorhersage-System auf Radar-, Flugplan- sowie Wetterdaten zurück. Die Ergebnisse der Spracherkennung werden letztendlich automatisch auf dem Arbeitsmonitor des Lotsenpersonals angezeigt.

VOO QQQ/Unsplash



Den Verkehr auf einem Flughafen zu regeln, ist keine leichte Aufgabe.



Dieses Projekt wird durch das SESAR Joint Undertaking innerhalb des EU-Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon 2020 unter der Nummer 884287 gefördert.



FLIEGENDER ALLROUNDER

Im Gespräch mit einem DLR-Forschungspiloten

Interview mit Jens Heider



Der Podcast ist zu hören auf [DLR.de/Podcast](https://www.dlr.de/Podcast) und allen gängigen Streaming-Plattformen.

Fliegen im Abgasstrahl eines Flugzeugs, in engen Schleifen über einem Flugplatz kreisen, um den Flugzeuglärm zu messen, oder immer wieder starten und landen, um Assistenzsysteme zu testen ... was für Menschen mit Flugangst nach einem Albtraum klingt, ist Jens Heiders Leidenschaft. Er ist Testpilot in der DLR-Einrichtung Flugexperimente in Braunschweig und steuert die Forschungsflugzeuge bei ihren Missionen. Hier spricht er darüber, wie er zu diesem außergewöhnlichen Job gekommen ist, welche Herausforderungen dieser bereithält und ob er ein Klischeepilot ist.

Wie wird man eigentlich Testpilot?

■ Den einen Weg zu dieser Qualifikation gibt es nicht. Die Mehrzahl derer, die als Testpiloten oder -pilotinnen arbeiten, kommen aus dem Militär. Es gibt aber durchaus einige, die einen zivilfliegerischen Hintergrund haben, wie in meinem Fall. Es hat mit viel Glück zu tun, muss man ehrlicherweise sagen. Man muss zur richtigen Zeit am richtigen Ort sein. Sicherlich hat es aber auch damit zu tun, dass man eine Idee im Kopf hat, was man machen möchte, und dass man in diesen Bereich gehen möchte. Das ist am Ende keine Garantie dafür, dass es auch funktioniert.

Und wie bist Du letztendlich zum DLR gekommen? War der Einstieg dort einfacher als die Auswahl zum Testpiloten?

■ Auch das hatte mit dem Zufall zu tun. 2003/2004 beendete ich mein Studium in Bremen und meine Pilotenausbildung. Zu dieser Zeit wollte ich bei der Regionalsparte

einer namhaften deutschen Fluggesellschaft anfangen. Damals war der Arbeitsmarkt allerdings am Boden, es gab konzernweit Einstellungsstopps. Der Betreuer meiner Diplomarbeit vermittelte mir den Kontakt zum DLR. Dort war eine Stelle am Institut für Flugsystemtechnik offen, die gut passte und sehr interessant klang. Ich habe mich darauf beworben und kam 2004 ins DLR. Ich habe aber schon dort festgestellt, dass ich mich eher in der Fliegerei sehe, und habe mich 2006 auf eine Ausschreibung des Flugbetriebs beworben. Ich hatte das Glück, übernommen zu werden.

Kennst Du eigentlich ein Pilotenklischee, das Du erfüllst?

■ Also, ich trage beim Fliegen eine Sonnenbrille, wenn die Sonne scheint. Aber das hat wenig mit Klischee zu tun, viel mehr damit, dass es ansonsten zu hell ist.

Du bist studierter Flugsystemtechniker und sitzt nicht nur im Cockpit, sondern betreust auch den fliegerischen Betrieb. Im DLR werden regelmäßig Modifikationen an den Flugzeugen vorgenommen. Auch die Zulassung der Systeme läuft über das DLR. Womit beschäftigst Du Dich sonst noch?

■ Meine Aufgaben sind sehr vielfältig. Neben dem, was Du genannt hast, gehe ich auch frühzeitig mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in die Diskussion zu ihren Erwartungen und Wünschen



an die Versuche. Wir überlegen gemeinsam, was um- oder eingebaut werden muss am Flugzeug oder Hubschrauber und wie die Flugversuche geplant werden müssen. Die meisten Pilotinnen und Piloten oder Flugversuchingenieure und -ingenieurinnen haben mehrere Funktionen und sind auch im Entwicklungsbetrieb oder in der Prüfung tätig. Deshalb ist für unsere Pilotinnen und Piloten ein abgeschlossenes Studium Einstellungsvoraussetzung, denn wir müssen alles unter einen Hut bringen.

Welches Studium sollten die Leute denn mitbringen?

■ Wünschenswert ist ein technisches Studium, optimalerweise Luft- und Raumfahrttechnik oder Luftfahrtsystemtechnik. Aber bei uns arbeiten auch Menschen, die Informatik oder etwas anderes Naturwissenschaftliches studiert haben.

Du sitzt seit 2006 für das DLR im Cockpit. Da hast Du sicherlich schon einiges erlebt. Was ist Dein Highlight?

■ Das lässt sich nicht einfach beantworten, es gab so viele schöne Momente. Ein eindrucksvolles Beispiel war sicherlich die Flugmesskampagne 2007 unter der Leitung des Alfred-Wegener-Instituts. Da waren wir für sechs Wochen auf Spitzbergen. Es war beeindruckend, über das Eis und das umgebende Meer zu fliegen, macht mich aber auch traurig, wenn ich daran denke, wie wenig die Gewässer in dieser Gegend nun zufrieren.

DIE DLR-EINRICHTUNG FLUGEXPERIMENTE

Mit zehn Flugzeugen und Hubschraubern betreibt die Einrichtung Flugexperimente des DLR die größte zivile Flotte von Forschungsflugzeugen in Europa. Sie unterstützt interne und externe Nutzerinnen und Nutzer bei der Planung und Durchführung ihrer Versuche. Diese untersuchen entweder das Luftfahrzeug als Forschungsobjekt oder nutzen es als Träger für die wissenschaftlichen Instrumente.



Jens Heider an einem seiner Arbeitsplätze, dem Cockpit des ISTAR



Von links: Jens Hammer, Jens Heider und Andreas Hahn (ehemaliger DLR-Pilot) vor der „Polar 2“, einer Dornier 228 des Alfred-Wegener-Instituts in Spitzbergen

Mit Blick auf die Zukunft. Welche Themen hast Du gerade auf dem Tisch? Worauf freust Du Dich besonders?

■ Ein großes Thema ist der ISTAR in Braunschweig. Im DLR ist dieses Flugzeug seit Anfang 2021. Wir haben es schon so weit umgebaut, dass wir die Flugdaten unmittelbar aufzeichnen können. Aktuell montieren wir einen Nasenmast, also eine Messsonde, die direkt an der Flugzeugspitze angebracht ist, um dort die Parameter der Luftanströmung möglichst ungestört zu messen. In unsere Dornier 228 haben wir gerade einen experimentellen Autopiloten eingebaut. Dieser wird unter anderem dazu genutzt, Funktionalitäten von unbemannten Luftfahrzeugen zu erproben. Ein übergreifendes Thema, das auch den Standort in Oberpfaffenhofen betrifft, ist das elektrische Fliegen. Das DLR hat vor Kurzem eine weitere Dornier 228 gekauft mit dem Ziel, eins der Triebwerke gegen einen Elektromotor auszuwechseln und diesen in einigen Jahren mit einer Brennstoffzelle versorgen zu können. Bei solchen langfristigen Projekten reden wir allerdings von einem Zeithorizont von mindestens fünf Jahren.

Vielen Dank für diese Einblicke in Deinen Alltag und für den Blick in die Zukunft!

Das Gespräch führte **Daniel Beckmann**. Er arbeitet in der DLR-Kommunikation und moderiert den Podcast „DLR-FORSCHtellingsgespräch“.

MEHRGLEISIG UNTERWEGS

Alternative Antriebe für den Schienenverkehr

OBERLEITUNGEN

Rund 60 Prozent des deutschen Schienennetzes verfügen über eine Oberleitung. Der weitere Ausbau ist im Gang. Allerdings ist der Bau von Oberleitungen nicht überall möglich, zum Beispiel in Tunneln. Auf wenig genutzten Streckenabschnitten lohnt er sich auch einfach nicht.

WASSERSTOFFTANKS

In den Tanks wird der Wasserstoff in flüssiger oder gasförmiger Form gespeichert und an die Brennstoffzellen geführt. Eine Rangierlok benötigt pro Tag etwa 100 Kilogramm Wasserstoff. Ein Tank speichert üblicherweise zwischen drei und zehn Kilogramm gasförmigen Wasserstoff.

BRENNSTOFFZELLE

Eine Brennstoffzelle nutzt Wasserstoff und Sauerstoff, um Strom zu produzieren. Als einzige Emission entsteht Wasserdampf. An Bord des Zugs müssen dementsprechend auch ein ausreichend großer Wasserstofftank und eine Batterie sein. Diese speichert beim Bremsen wiedergewonnene Energie, unterstützt bei Leistungsspitzen und sorgt so dafür, dass die Brennstoffzelle möglichst im Idealpunkt arbeitet – also bei gleichmäßiger Leistung und damit besonders effizient. So lassen sich Reichweiten von bis zu 1.000 Kilometern erzielen. Notwendig ist allerdings eine auf die Bedürfnisse des Schienenverkehrs abgestimmte Infrastruktur für's Tanken von Wasserstoff.

Zwei Antriebsformen dominieren seit Jahrzehnten den Zugverkehr: Wo Oberleitungen vorhanden sind, ist die Bahn bereits lokal emissionsfrei unterwegs. Sie versorgen den Elektromotor des Triebfahrzeugs mit Strom. Auf Strecken ohne Oberleitungen fahren Züge mit Dieselmotoren. Wie im Straßenverkehr verursachen diese Dieselantriebe klima- und umweltschädliche Emissionen sowie Lärm. Auch in Zukunft wird es nicht flächendeckend Oberleitungen geben. Deshalb ist auch der Schienenverkehr auf der Suche nach Alternativen: Ähnlich wie im Straßenverkehr stehen Konzepte auf Basis von Batterien und Brennstoffzellen im Mittelpunkt.

Erste solche Züge sind bereits im Einsatz, vor allem im Regionalverkehr sowie im Rangierbetrieb. Die Bandbreite reicht von umgerüsteten Loks bis zu komplett neu entwickelten Triebzügen. Es gilt, die richtige Balance zu finden: zwischen der Energie, die der Zug in Form von Batterien und Wasserstoff mitnimmt, und der Energieversorgung aus der Infrastruktur – also Laden, Tanken oder auch der Nutzung von Oberleitungen.

BATTERIE

KÜHLANLAGE

BATTERIE

Rund zehn Tonnen wiegt das Batteriesystem eines Regionalzugs. Aktuell bewegt sich die oberleitungsfreie Reichweite zwischen 50 und 200 Kilometern – abhängig auch vom Profil der Strecke, also ob sie zum Beispiel viele Steigungen aufweist. Interessant bei dieser Antriebsform ist vor allem, wie sich Leistung und Ladedauer der Batterien über längere Zeiträume entwickeln.



„Ein Auto, in dem man sitzen und das man auch auf der Straße fahren kann, hat eine ganz andere Wirkung als einzelne Komponenten.“

Franz Philipps

Projektleiter ZEDU-1, DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte



KURZPORTRÄT: FRANZ PHILIPPS

Der studierte Physiker ist Teamleiter „System und Fahrzeugvalidierung“ und seit 25 Jahren am DLR in Stuttgart, die längste Zeit davon am Institut für Fahrzeugkonzepte. Als Projektleiter hat er unzählige nationale wie internationale Projekte betreut, an mehr als 70 wissenschaftlichen Publikationen mitgewirkt, zwei Patente und eine Erfindungsmeldung eingereicht. Schon früh in seiner wissenschaftlichen Laufbahn begann er, sich mit Wasserstoff als Energieträger und Brennstoffzellen als Antriebstechnologie zu beschäftigen. Im Kontext der Forschung für eine zukunftsweisende, umwelt- und klimaverträgliche Mobilität schlägt sein Herz bis heute für diese Technologie. Im Kollegenkreis ist er als „Herr der Rolle“ bekannt. Denn den klimatisierten Allrad-Rollenprüfstand hat er maßgeblich geplant, ausgelegt und aufgebaut. Er kennt diese einmalige Großanlage des DLR wie kein anderer, betreut und verantwortet sie bis heute.

MIT ZEDU AUF ZERO

Das DLR entwickelt das im Betrieb umweltfreundlichste Auto der Welt

von Denise Nüssle

Auf dem Weg zum umwelt- und klimaverträglichen Straßenverkehr stehen elektrische Antriebe mit Batterien und Brennstoffzellen im Vordergrund. Komplett emissionsfreies Fahren ermöglichen sie aber noch nicht. Denn durch Abrieb von Bremsen und Reifen entstehen Feinstaub und Mikroplastik. Mit dem weltweit einmaligen ZEDU-1-Versuchsauto hat das DLR diesen Schadstoffen den Kampf angesagt. Mit an Bord dafür: ein neuartiges Bremssystem und ein umgestalteter Radkasten.

Die baden-württembergische Landeshauptstadt Stuttgart gilt als eine der Keimzellen des Automobils. Doch lange Zeit hielt die Schwabenmetropole einen eher unrühmlichen Rekord: nämlich als Feinstaubkapitale Deutschlands. Die in den Nullerjahren eingeführten europäischen Grenzwerte wurden nirgendwo im Bundesgebiet häufiger überschritten. Feinstaub ist für das menschliche Auge unsichtbar. Er besteht aus Teilchen, die lange Zeit in der Luft schweben, bevor sie zu Boden sinken. Vor allem die besonders kleinen Partikel können über die Atemwege in die Lunge und so in den Blutkreislauf gelangen, sich ablagern und die Gesundheit gefährden. Der Verkehr verursacht rund die Hälfte des Feinstaubes. Er entsteht bei Verbrennungsprozessen im Motor und durch Abrieb von Bremsen und Reifen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Kunststoffemissionen: Vor allem durch den Reifenabrieb beim Fahren verursacht, bleiben zwischen 133.000 und 165.000 Tonnen davon pro Jahr in der Natur. Sehr problematisch sind hier die Teilchen unter fünf Millimeter, das sogenannte Mikroplastik. Es ist bereits fast überall in der Umwelt nachweisbar und benötigt teils mehrere hundert Jahre, um vollständig zu zerfallen.

Emissionsfreies Fahren 2.0: ohne Feinstaub und Mikroplastik

„Auf dem Weg zur emissionsfreien Mobilität lag der Schwerpunkt in letzter Zeit vor allem darauf, wie man den Verbrennungsmotor als Antrieb ersetzt und so den Ausstoß des Treibhausgases CO₂ drastisch senkt. In der EU sollen daher ab 2035 nur noch Neuwagen zugelassen werden, die beim Fahren kein CO₂ aus Verbrennungsprozessen mehr ausstoßen. Dann rücken Emissionen aus Brems- und Reifenabrieb in den Fokus. Um sie zu vermeiden, benötigen wir neue Technologien und Lösungen – und die müssen wir schon jetzt anschieben und entwickeln. Das ist die grundlegende Motivation für das Projekt ZEDU-1“, erläutert Projektleiter Franz Philipps vom DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart. Mit der „Zero-Emission Drive Unit – Generation 1“ – also der Null-Emissions-Antriebsachse – hat er gemeinsam mit seinem Team wissenschaftliches Neuland betreten und sich ein hohes Ziel gesetzt: das im Betrieb umweltfreundlichste Auto der Welt zu entwickeln.

In zwei Jahren zum Fahrzeug-Prototyp

Schon früh stand fest, dass das ZEDU-1-Team darüber hinaus, gemeinsam mit Partnern aus der Industrie, die neu entwickelten Technologien in ein Fahrzeug einbauen und im Betrieb zeigen wollte. Dazu entstand ein einzigartiger Prototyp mit charakteristischem Design: „Ein Auto, in dem man sitzen und das man auch auf der Straße fahren kann, hat eine ganz andere Wirkung als einzelne Komponenten“, beschreibt Franz Philipps. Neben der höheren Aufmerksamkeit bei Industrie, Politik und Öffentlichkeit spielte ein weiterer Faktor eine entscheidende Rolle: „Die Arbeit auf Basis eines existierenden Fahrzeugs wäre ohnehin schwierig geworden. Denn große Hersteller geben nur ungern so genaue Einblicke in Konstruktion, zentrale Systeme und deren Steuerung, wie wir sie gebraucht hätten.“

Am Anfang stand ein Lastenheft – ein wenig charmanter Begriff für eine wichtige Sache: In ihm werden alle Anforderungen zusammengetragen und das Fahrzeug geplant. Um keine Emissionen aus Verbrennungsmotoren



Parallel zum Bau von ZEDU-1 rüstete das DLR-Team dieses Serien-Elektrofahrzeug mit Instrumenten aus, um die Feinstaub- und Mikroplastikemissionen unter realen Bedingungen zu messen.



Im Fahrzeugheck sind die Batterie, die Leistungselektronik sowie die Gleichspannungswandler zur Stromversorgung verbaut.

zukünftige Entwicklungen geschaffen und Standards gesetzt. Das war Anreiz wie Herausforderung für das ganze Team“, erinnert sich Philipps. Als zentraler Industriepartner kam der Automobilbauer HWA aus dem schwäbischen Affalterbach an Bord. Gute und innovative Bremsen und Aerodynamik gehören zum täglichen Geschäft des Unternehmens, das seinen Ursprung im Rennsport hat.

Im März 2020 stand für das Projekt schließlich alles auf Grün, die Förderung von rund sechs Millionen Euro des baden-württembergischen Wirtschaftsministeriums war genehmigt – und die Corona-Pandemie brach über Europa herein: Lieferketten rissen, Komponenten waren über Monate nicht verfügbar und nur die absolut notwendigen Kolleginnen und Kollegen konnten vor Ort am Fahrzeug arbeiten. „Für uns hieß das: flexibel sein, immer wieder aufs Neue improvisieren und so gut wie möglich digital zusammenarbeiten. Oft haben wir uns Bilder vom aktuellen Stand der Entwicklung von Teilen und Gesamtfahrzeug geschickt, statt die Technik selbst zu sehen und anfassen zu können“, erzählt Franz Philipps weiter. Was zu Beginn niemand geglaubt hatte, wurde dennoch wahr: Im Sommer 2022 war der Prototyp ZEDU-1 fertig, konnte umfassend getestet und im September der Öffentlichkeit vorgestellt werden – die verdiente Belohnung für ganz besondere Teamarbeit.

Bremssystem sorgt für feinstaubfreies Bremsen

Eine zentrale Neuheit des ZEDU-1 ist sein Bremssystem. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickelten eine innovative Lamellenbremse. Diese ist nicht im Rad verbaut, sondern als geschlossene Einheit in den Elektromotor integriert. Das ermöglicht es, die Größe der

Der Blick unter die Haube zeigt die unterstützenden Lüfter der Reifenpartikelabsaugung.



Bremsenkomponenten auf ein Minimum zu reduzieren und die Antriebseinheit sehr kompakt zu bauen. In Kombination mit einer speziell entwickelten Hochleistungselektronik und einer Batterie kann die Bremsenergie nahezu vollständig zurückgewonnen – also rekuperiert – werden. Sie ist nicht wegen Funktionen wie ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm) und ABS (Antiblockiersystem) auf zehn Prozent der Bremskraft limitiert. Mit ZEDU-1 konnte so ein hocheffizientes Fahrzeug realisiert werden, in dem selbst beim vollständigen Bremsen auf der Vorderachse 75 Prozent und auf der Hinterachse 100 Prozent der Bremsenergie rekuperiert werden.

Die Lamellen bestehen aus sieben Ringblechen. Jedes zweite davon wird über ein Getriebe mit der Welle des Elektromotors verzahnt, die anderen Ringbleche mit dem Gehäuse. Beim Bremsen werden die Ringbleche über einen Aktuator aneinandergepresst und mit Öl befüllt. So landet auch ihr Bremsabrieb im Öl, das laufend durch einen Filter gepumpt und gereinigt wird. Die Bremse arbeitet elektrisch statt mechanisch. In der Fachsprache wird das als „Brake-by-Wire“ bezeichnet: Ein elektronisches Signal wird an die Bremse geschickt, um diese zu betätigen. Zusätzlich zur mechanischen Lamellenbremse hat das Team für den ZEDU-1-Prototyp eine Hybrid-Induktionsbremse entwickelt. Sie funktioniert fast bis zum Stillstand verschleißfrei: Sie nutzt die Kraft von Magnetfeldern. Um eine Bremswirkung bis zum Stillstand zu erzeugen, ist zusätzlich ein Reibelement eingebaut. Es ist so ausgelegt, dass es die magnetische Bremskraft automatisch mechanisch ergänzt, wenn diese nachlässt. „Das bedeutete für uns, neben der Fahrzeugsteuerung auch die ganze Betriebsstrategie einer solchen Bremse neu zu entwerfen und die entsprechende Software zu programmieren“, erklärt DLR-Wissenschaftler Franz Philipps. Noch kommt die Induktionsbremse nicht im Prototyp zum Einsatz. Das wollen die Forschenden im nächsten Schritt weiterverfolgen.

Umgestalteter Radkasten saugt Mikroplastik weg

Das Verlagern der Bremse vom Radkasten ins Fahrzeuginnere erzeugt den Platz und die Voraussetzungen für neue technologische Ansätze, um den Reifenabrieb zu verringern. Grundlage



ZEDU-1 auf dem Rollenprüfstand des DLR

dafür ist die Einhausung der Räder: Der charakteristische geschlossene Radkasten ist aerodynamisch so ausgelegt, dass beim Fahren ein Unterdruck entsteht. Der Reifenabrieb sammelt sich dadurch an einer bestimmten Stelle. Eine Lüftereinheit in der Frontpartie des Fahrzeugs saugt die Partikel ab und schickt sie durch ein Filtersystem – ähnlich wie bei einem Staubsauger. So tritt ausschließlich gereinigte Luft aus dem Fahrzeug aus. Auch hier stand das Team vor einigen Herausforderungen: Die Einhausung musste bestimmte Lenkwinkel ermöglichen, sodass die Reifen auch beim Kurvenfahren die Verkleidung nicht berührten. Unabhängig von der Geschwindigkeit musste das Ganze stabil und zuverlässig funktionieren. Die Einhausung der Räder verbessert zusätzlich die Aerodynamik und so die Effizienz des Fahrzeugs.

Bewährungsprobe Rollenprüfstand

Parallel zum Bau des ZEDU-1 arbeitete das Projektteam daran, ein geeignetes Messkonzept zu entwickeln, um die Feinstaub- und Mikroplastikemissionen unter realen Bedingungen zu bestimmen. Dafür wurde das Fahrzeug vollgepackt mit Geräten und Sensoren. „Messungen des Brems- und Reifenabriebs unter realen Fahrbedingungen haben bisher

ALLRAD-ROLLENPRÜFSTAND MIT KLIMAKAMMER

Die „Rolle“ gehört zu den einzigartigen Großforschungsanlagen des DLR und ist am Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart zuhause. Auf ihr werden Fahrzeugantriebe der Zukunft unter modernsten Bedingungen entwickelt und getestet. Dazu werden Versuchsfahrzeuge auf dem Rollenprüfstand fest montiert und zum Beispiel Straßenfahrten simuliert. Beim Fahren drehen sich die Räder auf Rollen im Boden der Anlage. So können unter kontrollierten Bedingungen unterschiedliche Fahrzyklen und Streckenprofile abgefahren und dabei unter anderem Energieverbrauch und Emissionen gemessen werden. Untergebracht ist der Rollenprüfstand in einer Klimakammer. Sie ermöglicht Temperaturen von minus 40 bis plus 60 Grad Celsius und eine Luftfeuchtigkeit zwischen null und 80 Prozent. Die maximale Geschwindigkeit, mit der Fahrzeuge getestet werden können, beträgt 200 Kilometer pro Stunde. Die Anlage ist klimatisierbar und auch für das Testen von Wasserstofffahrzeugen geeignet. Sie wird sowohl für Forschungsprojekte als auch für Versuche von Industrieunternehmen genutzt.

nur wenige gemacht und wenn, dann eher auf Ebene einzelner Komponenten im Labor. Um an einem fahrenden Auto zu messen, mussten wir uns also einiges ausdenken“, erläutert Philipps.

Im ersten Schritt erzeugten die DLR-Forschenden einen grundlegenden Datensatz für ein Standard-Elektrofahrzeug und ermittelten die Emissionen von Bremsen und Reifen als Vergleich. Dafür nahmen sie ein Serien-Elektrofahrzeug des Instituts, rüsteten es mit Messinstrumenten



Fabius Epple und Sven Reiland vom DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte, beide Mitglieder des ZEDU-Teams, montieren die Verkleidung auf das Messrad.



Sven Reiland im ZEDU beim Test auf dem Rollenprüfstand



Fabius Epple vom Institut für Fahrzeugkonzepte und Tobias Grein vom Institut für Verbrennungstechnik in der Leitwarte des Rollenprüfstands. Von dort aus beobachten sie den Fahrzyklus einer Testfahrt.

aus und machten dann erste Versuche auf dem institutseigenen Rollenprüfstand und der Straße. „Auf Teststrecken oder normalen Straßen liegt schon viel Staub. Man kann nicht genau nachvollziehen, was aus dem Testfahrzeug kommt und was schon da war. Deshalb sind solche Versuche auf dem Rollenprüfstand unter kontrollierten Bedingungen so wichtig“, so Franz Philipps.

Dann untersuchten die Forschenden weitere Fragen, zum Beispiel: Wie ist das Strömungsverhalten? Wie strömt die Umgebungsluft ums Auto und speziell an den Reifen und Bremsen? Wie groß sind diese Luftströme? Wie ist die Partikelverteilung der Abriebe? Welchen Einfluss hat die Temperatur auf die Brems- und Reifenabriebe sowie die Messungen? Das Team arbeitete sich schrittweise voran, wertete nach jeder Testrunde die Daten aus und verbesserte Messkonzepte und Messtechnik. Unterstützung erhielt das ZEDU-1-Team dabei vom ebenfalls in Stuttgart beheimateten DLR-Institut für Verbrennungstechnik. Die dortigen Kolleginnen und Kollegen verfügen über modernste Messgeräte und Sensorik, Expertise und Erfahrung im Bereich Partikel-, Emissions- und Immissionsmessung. Sie können beispielsweise Feinstaub bis in den ultrafeinen Bereich nachweisen und bestimmen. Gemeinsam untersuchten die Forschenden die Gesamtmenge an Feinstaubemissionen und die Größenverteilung der Partikel.

Besonders wichtig bei den Messarbeiten war das „Nachfahren“ des sogenannten WLTC. Die Abkürzung steht für „Worldwide harmonized Light Vehicles Test Cycles“, einen international standardisierten Fahrzyklus für Testzwecke zur Bestimmung von Emissionen. Darüber hinaus definierte das DLR-Team einen eigenen, normkonformen Real-Drive-Emission-Testzyklus (RDE) mit Streckenabschnitten in der Region Stuttgart mit Stadt-, Überland- und Autobahnfahrten. Zudem führten sie spezielle Bremsmanöver bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten sowie Temperaturen durch und erfassten die entstehenden Emissionen.

Von links: Hybrid-Versuchsfahrzeug des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte, ZEDU-1-Prototyp, mobiles Labor zur Messung von Luftschadstoffen des DLR-Instituts für Verbrennungstechnik

Teststrecke Boxberg: erster Ausflug auf den Asphalt

Anfang August 2022 war schließlich der große Moment gekommen: Eine Woche lang konnte das Team sein „Baby“ auf dem Gelände des Prüfzentrums Boxberg im Einsatz erleben. Dort, wo sonst Automobilhersteller ihre neusten Fahrzeuge testen, Fahrsicherheitstrainings stattfinden und ambitionierte Hobbyrennfahrende ihre Runden drehen, absolvierte ZEDU-1 die ersten Fahrten außerhalb des heimischen Prüfstands. Auch wenn es allen Teammitgliedern in den Fingern juckte, hinters Steuer durften nur zwei Auserwählte. Denn für das Fahren auf dem Testgelände im Nordosten Baden-Württembergs ist eine spezielle Ausbildung Voraussetzung. Hinzu kam eine besondere Einweisung in das ZEDU-1-Fahrzeug, weil im DLR-Prototyp doch vieles anders funktioniert als im Serienfahrzeug – zum Beispiel: Wie reagiert die Steuerung bei Fahrmanövern? Was bedeuten die Warnleuchten? Wie verhält sich das Fahrzeug bei höheren Geschwindigkeiten? Für ein ordentliches Maß an Adrenalin und Begeisterung war also gesorgt.

„Unser Hauptaugenmerk lag darauf, die Gelegenheit bestmöglich zu nutzen, um umfangreiche Messungen durchzuführen und so einen großen Schatz an Daten zum Auswerten mit nach Hause nehmen zu können, aber natürlich kam der Fahrspaß nicht zu kurz.“

„Unser Hauptaugenmerk lag darauf, die Gelegenheit bestmöglich zu nutzen, um umfangreiche Messungen durchzuführen und so einen großen Schatz an Daten zum Auswerten mit nach Hause nehmen zu können, aber natürlich kam der Fahrspaß nicht zu kurz.“

Franz Philipps



können, aber natürlich kam der Fahrspaß nicht zu kurz“, fasst Franz Philipps zusammen. Wie auf dem Rollenprüfstand fuhr ZEDU-1 unterschiedliche Fahrprofile und Fahrzyklen nach und führte immer wieder bestimmte Bremsmanöver durch. Anders als auf dem Rollenprüfstand waren hier auch Kurvenfahrten möglich. Auch die DLR-Kolleginnen und -Kollegen aus dem Institut für Verbrennungstechnik waren mit am Start. Vor Ort hatten sie ihr mobiles Messfahrzeug dabei und konnten so in Echtzeit erste Daten der Testfahrten auswerten.

Kein Brems- und deutlich weniger Reifenabrieb

Nach Auswertung der Daten ist das ZEDU-1-Team vom Ergebnis seiner Arbeit überzeugt: „Wir haben Zahlen geliefert und gezeigt, dass wir mit unserem Ansatz den Bremsabrieb komplett vermeiden können. Bei den Reifen entstanden, wie auch durch unsere Simulationen vorausgerechnet, bis zu einer Geschwindigkeit von 60 Kilometern pro Stunde so gut wie keine Abriebsemissionen in die Umgebung. Selbst bei höheren Geschwindigkeiten von bis zu 120 Kilometern pro Stunde konnten wir sie immerhin noch um 80 bis 90 Prozent reduzieren“, fasst Projektleiter Franz Philipps zusammen.

Zudem hat das Team bei den Messkampagnen einen großen Datenschatz generiert und neuartige Messkonzepte erarbeitet. Beides kann die Forschung und industrienaher Entwicklung auf dem Weg zu einer klimaverträglichen Mobilität entscheidend weiterbringen – sei es im

Auch auf dem Hockenheimring beim Saisonfinale des ADAC GT Masters vom 21. bis 23. Oktober 2022 machte das ZEDU-1 eine gute Figur und wurde vom Publikum bestaunt.

Bereich der Reifen, neuer Bremssysteme oder von Filter- und Messkonzepten. Die mediale Berichterstattung über das ZEDU-1 weit über Deutschland hinaus zeigt, dass das Projekt den Nerv der Zeit getroffen hat. Auch Unternehmen der Zuliefererindustrie sowie Brems- und Reifenhersteller bekunden Interesse. Mit der für das Jahr 2025 geplanten Einführung der Euro-7-Norm für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sollen erstmals Grenzwerte für die Emissionen von Bremsen und später auch für Reifen definiert werden. So schnell wird das Thema Feinstaub- und Mikroplastik-Emissionen also nicht von der politischen Tagesordnung verschwinden.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR.



Jörg Brauchle (links) und Matthias Geßner mit Vector-Drohne nach erfolgreichem Einsatz

EIN AUSSERGEWÖHNLICHER EINSATZ

Das DLR unterstützte die Rettungsarbeiten in der Türkei mit neuartigen Echtzeit-Lagebildern

Interview mit Matthias Geßner

Die Erdbeben in der türkisch-syrischen Grenzregion zählen zu den schlimmsten Naturkatastrophen der letzten hundert Jahre. Bilder aus der Luft können Rettungskräften helfen, sich zu orientieren und das Schadensmaß einzuschätzen. Seit 2016 kooperiert das DLR mit der Hilfsorganisation I. S. A. R. Germany (International Search-and-Rescue). In diesem Rahmen war Matthias Geßner mit seinem Kollegen Jörg Brauchle, beide vom DLR-Institut für Optische Sensorsysteme aus Berlin, vor Ort in der Türkei. Mit im Gepäck hatten sie das fliegende Kamerasystem MACS-Nano.

Matthias, Anfang Februar standet ihr gemeinsam auf einem Berg in der Stadt Kırıkhan. Erzähle uns davon.

■ Das war ein sehr emotionaler Moment. Zu unseren Füßen lag die völlig zerstörte Stadt, in der die Leute auf der Straße wohnten und wo unfassbar viel Leid zu sehen war. Wir waren seit drei Tagen vor Ort und hatten bereits einige Kartierungsflüge mit unserem Kamerasystem MACS (Modular Aerial Camera System) durchgeführt. Schon nach dem ersten Flug mit der Drohne war jedoch klar, dass wir auf diese Weise unmöglich die ganze Stadt rechtzeitig kartieren können. Genau für solche Zwecke nutzen wir ein größeres Drohnensystem – das war jedoch zum Zeitpunkt des Bebens für Umbauten beim Hersteller Quantum Systems in Gilching. Also setzten unsere DLR-Kollegen und -Kolleginnen in Berlin und das Team des Herstellers alles in Bewegung, um die Drohne wortwörtlich über Nacht einsatzbereit zu bekommen. Parallel dazu konnten wir mit Unterstützung des Technischen Hilfswerks (THW) einen Frachtplatz im ersten regulären Hilfstransport aus Deutschland ergattern. So wurde innerhalb weniger Stunden ein einsatzberechtigtes Flugsystem aufgebaut und ausgerüstet – gerade noch rechtzeitig zum früh-

morgentlichen Start der Transportmaschine in die Türkei. Eine echte Teamleistung. Nach einer zwölfstündigen Autofahrt zum – geänderten – Ankunftsflughafen hatten wir die Drohne dann endlich in den Händen und konnten unser System am nächsten Tag zum ersten Mal fliegen – auf dem Berg in Kırıkhan. Die Anstrengungen hatten sich gelohnt: Innerhalb von einer Stunde kartierten wir mit unserer Kamera 3,5 Quadratkilometer der Stadt – dreimal so viel wie in den Flügen zuvor. Aber das war noch nicht alles: Genau in diesem Moment hatten wir eine stabile Internetverbindung – ansonsten lag die Telekommunikation weitestgehend brach. So konnten wir unsere Kartendaten direkt an das Einsatzleitsystem der UN übermitteln.

In diesem Einsatz wart ihr Teil von I.S.A.R. Germany. Welche Aufgaben hattet ihr neben den Drohnenflügen?

■ Grundsätzlich ist es so, dass die Mitglieder von I. S. A. R. auf verschiedene Einsatzbereiche spezialisiert sind: Management, Ortung, Rettung und medizinische Versorgung. Wir durchliefen im Vorfeld diverse Trainingseinheiten, die uns zusätzlich befähigten, im Rettungsteam zu

helfen. So konnten wir am Ankunftstag, an dem es für einen Drohnenflug bereits zu dunkel war, ein Team begleiten und dort anpacken, wo Hilfe nötig war.

Ihr fandet euch also direkt nach Ankunft inmitten der Trümmer wieder. Das war sicherlich nicht leicht.

■ Ja, das stimmt. Es gab Situationen, auf die ich zwar in Übungen vorbereitet wurde, die aber noch mal eine ganz andere Dimension erhielten, als ich im realen Leben mit ihnen konfrontiert wurde. Menschen aus den Trümmern zu retten, ist mitunter extrem schwierig und

„Es gab Situationen, auf die ich zwar in Übungen vorbereitet wurde, die aber noch mal eine ganz andere Dimension erhielten, als ich im realen Leben mit ihnen konfrontiert wurde.“

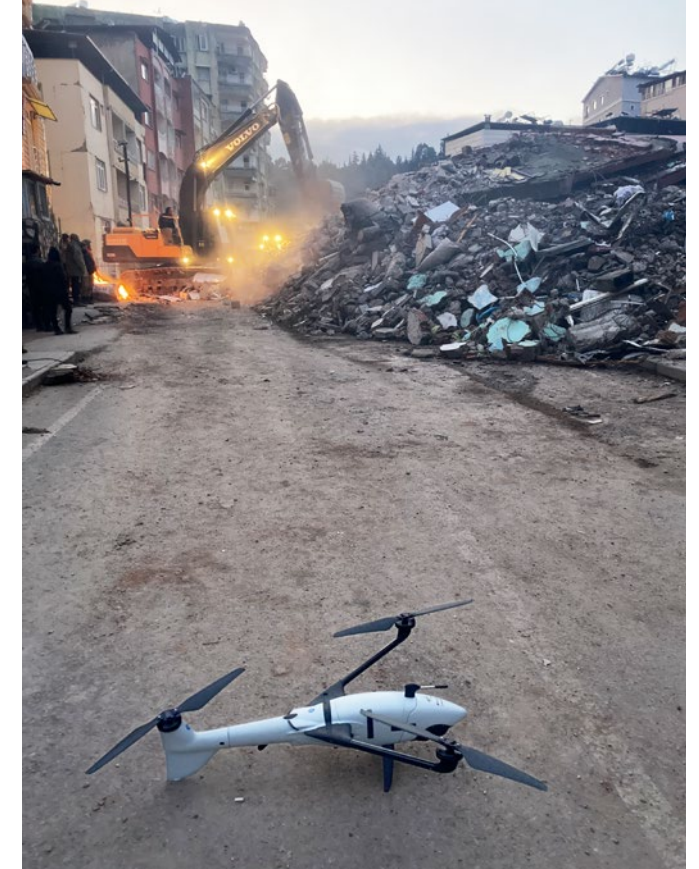
Matthias Geßner

DLR-Institut für Optische Sensorsysteme, Berlin

kann sehr lange dauern. Hilfskräfte müssen sehr schnell Entscheidungen treffen, ob eine Rettung möglich ist oder nicht. Es gab Fälle, bei denen Menschen zwar aus den Trümmern befreit wurden, dann aber noch vor Ort verstarben. Mitunter standen die Angehörigen direkt daneben. Auf der anderen Seite erlebten wir Momente, in denen Menschen lebend gerettet wurden. Zu sehen, wie professionell und mit welchem Engagement das I. S. A. R.-Team in dieser Katastrophensituation gearbeitet hat, hat mich nachhaltig beeindruckt.

Wie können die Luftbilder bei den Arbeiten unterstützen?

■ Schnell verfügbare Luftbilder sind enorm hilfreich für die effektive Koordination der Einsatzkräfte vor Ort. Mit ihnen können sich die Teams orientieren: Wo ist das Ausmaß der Zerstörung am größten? Welche Straßen sind passierbar? Wie kommen die Teams am schnellsten zum Einsatzort? Die MACS-Kamera ist extrem hochauflösend. Aus den Bildern wird in Echtzeit eine fotorealistische Luftbildkarte erzeugt, welche dann direkt auf die Mobilgeräte des I. S. A. R.-Teams oder des THW übertragen werden kann. Unsere Abteilung steht in engem Kontakt mit der International Search and Rescue



Zunächst kartierte das Team die Stadt Kırıkhan mit einem kleineren Drohnensystem.

Advisory Group (INSARAG) der UN. Dadurch können wir unsere Lagebilder auch in Echtzeit in deren Einsatzleitsystem, das ICMS (INSARAG Coordination and Management System), übertragen. Auf diese Weise erhalten alle beteiligten Hilfsorganisationen Zugriff auf die Lagekarten.

Was hast Du aus dem Einsatz mitgenommen?

■ Ein derartiger Einsatz ist nur im Team zu schaffen. Jörg und ich nahmen vor Ort die Bilder auf. Währenddessen waren die Kolleginnen und Kollegen in Berlin rund um die Uhr eingebunden, sodass wir gemeinsam das bestmögliche Ergebnis erzielten. In vier Tagen entstanden über 15.000 Luftbilder, welche Details von zwei Zentimetern sichtbar machten. In diesem Einsatz konnten wir zeigen, wozu diese neue Technologie in der Lage ist. Eines unserer nächsten Ziele ist es, das DLR-System aus MACS-Kamera und Drohne als festes Element der Einsatzunterstützung bei I. S. A. R. Germany zu etablieren. Aus meiner Sicht könnte das die Katastrophenhilfe nachhaltig verbessern.

Das Interview führten **Antje Gersberg** und **Julia Heil**. Sie arbeiten in der DLR-Kommunikation.



Kartierung des lokalen Katastrophengebiets in Echtzeit, rechts der Bildflugplan der Vector-Drohne



ALLES IM BLICK

Daten aus dem Wasser, aus der Luft und vom Land zum Schutz maritimer Infrastrukturen

von Jana Hoidis



Die Sabotageakte an den Ostseepipelines oder auch die europäische Abhängigkeit von globalen Energielieferketten machen deutlich, wie wichtig es ist, maritime Infrastrukturen zu schützen. Informationen aus dem Wasser, aus der Luft und vom Land helfen dabei, einen Überblick über Gefahrensituationen zu erhalten. In Bremerhaven entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am DLR-Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen Lagebilder auf der Basis unterschiedlicher Sensordaten, um Häfen und Offshore-Windparks vor Unfällen und Angriffen zu schützen oder versunkene Objekte zu inspizieren.

Im Projekt MARLIN (Maritime Awareness Realtime Instrumentation Network) arbeitet das DLR daran, in einem Echtzeit-Lagebild sicherheitsrelevante Daten anzuzeigen zu können. Es soll Behörden und Hafenbetreibern helfen, die Situation jederzeit im Blick behalten und im Störfall vorausschauend eingreifen zu können. In das Lagebild fließen Informationen vom Wasser, aus der Luft sowie von der Landseite ein. Diverse Kameras sind am Hafen oder auf Drohnen installiert und autonome Tauchfahrzeuge können per Sonar die Lage unter Wasser erfassen. Die Einzelsysteme liefern gemeinsam ein umfangreiches Bild der Situation. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben das System bereits in zwei Anwendungsfällen getestet. Dabei konnten sie auch zeigen, wie gut das Zusammenspiel der einzelnen Sensoren funktioniert.

Mensch über Bord

Der erste Test fand 2019 im Bremerhavener Fischereihafen statt: Nebelfackeln simulierten einen Brand auf dem Schlauchboot und währenddessen gingen mehrere Kisten über Bord. Einige trieben auf dem Wasser, andere sanken zum Grund. Ein Besatzungsmitglied, in diesem Fall eine

Nebelfackeln simulieren einen Brand auf dem Schlauchboot. Die Seenotrettungspuppe übernimmt die Rolle eines Schiffbrüchigen.

Seenotrettungspuppe, fiel ins Wasser. Im Hafenbereich fest installierte sowie mobile Kameras auf Einsatzfahrzeugen oder Drohnen, alle Teil des MARLIN-Systems, beobachteten die Situation und lieferten einen Überblick über die Gefahrenzone sowie die Umgebung. Wärmebildkameras erkennen Menschen auch bei schlechter Sicht, solange ihre Körpertemperatur noch nicht zu stark gefallen ist. Kameras mit aktiver Laserbeleuchtung, sogenannte Range-Gated-Systeme, können durch den Nebel sehen und den Abstand zu Objekten messen. Damit waren auch die Rettungspuppe und das Treibgut gut auffindbar.



Im Lageraum laufen die Sensordaten des MARLIN-Systems zusammen. Droht Gefahr, informiert das System die Einsatzkräfte.

Die Sicht aus der Vogelperspektive bietet einen ausgezeichneten Überblick.



MARLIN kombinierte die eingehenden Informationen und stellte sie in Echtzeit in einem Lagebildsystem dar. Sicherheitskräfte können so wertvolle Informationen erhalten und ihren Einsatz optimieren. Im Anschluss vermaß die DLR-Seekatze, ein autonomes Unterwasserfahrzeug, das Hafenbecken, um verlorene Ladung aufzuspüren und Beschädigungen im Hafenbecken zu finden. Detaillierte Aufnahmen von auffälligen Stellen lieferte ein kleinerer, ferngesteuerter Tauchroboter.

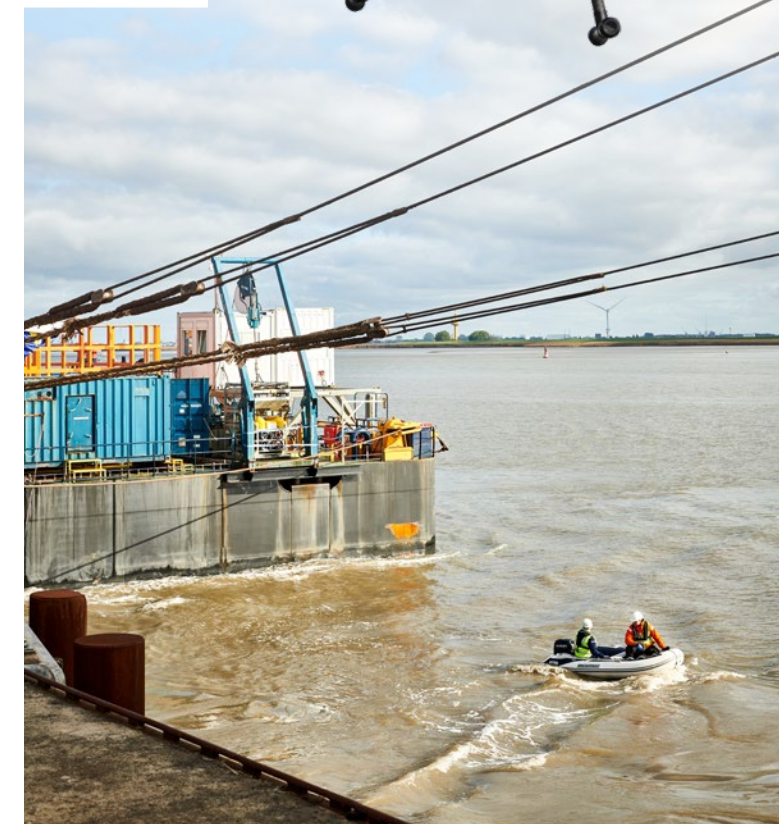
Störung eines anlegenden Schiffs

Im Oktober 2022 kam MARLIN ein zweites Mal auf den Prüfstand – diesmal im Hafen Nordenhams. Die Forschenden waren in zwei Teams eingeteilt. Das erste Team hatte die Aufgabe zu verhindern, dass die Güter eines fiktiven Gefahrguttransports im Hafen an Land gebracht werden. Dazu spähte es die Lage zunächst mit einer Drohne aus. Dies wurde vom System registriert und durch das zweite Team, das die Rolle von Sicherheitskräften übernahm, abgewehrt. Daraufhin näherten sich die Eindringlinge in einem Boot sowie von Land. Als Ablenkungsmanöver zündeten sie an Land eine Nebelfackel, während sie mit dem Schlauchboot versuchten, unbemerkt in den Hafen zu gelangen. MARLIN bündelte alle Informationen und analysierte die Lage. So konnte das Team der Sicherheitskräfte in Bereitschaft versetzt werden. Nachdem die Einsatzkräfte auch diesen Eindringversuch erfolgreich abgewehrt hatten, drehte das Schlauchboot ab und die Gefahr war gebannt. „Die Demonstration lief für uns sehr zufriedenstellend. Unser Team musste in kürzester Zeit viele unterschiedliche Technologien in einem gemeinsamen Lagebildsystem vereinen“, sagt Dr. Maurice Stephan, Leiter der Abteilung Maritime Sicherheitstechnologien am DLR-Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen.

Modularer Baukasten

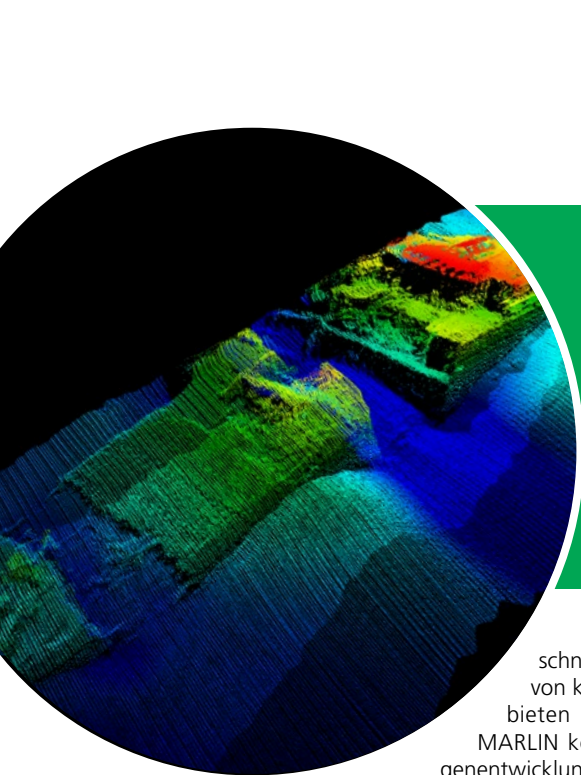
Für MARLIN kommen eigens vom DLR entwickelte Technologien zum Einsatz. Hierzu zählt das vom DLR-Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen entwickelte Range-Gated-Kamerasystem, das einen sehr kurzen Laserpuls und eine spezielle Kamera kombiniert. So erzeugt es auch bei schlechter Sicht, zum Beispiel bei Dunkelheit, Schnee oder Nebel, detailreiche Bilder. Eine weitere Eigenentwicklung ist die MACS-Kamera vom DLR-Institut für Optische Sensorsysteme. Mit ihr können

Das DLR-Unterwasserfahrzeug Seekatze taucht ab, um den Bremerhavener Fischereihafen nach versunkenen Gütern abzuscanen.



Auf einem Schlauchboot ahmt ein Team aus DLR-Forschenden das seeseitige Eindringen in den Hafen von Nordenham nach.





Die Seekatze und ein autonomer Tauchroboter (rechts) erstellen detaillierte Aufnahmen versenkter Kriegsschiffe. Links ist ein 3D-Scan des Sperrbrechers Friesland zu sehen, der 1944 vor Helgoland sank, daneben eine Aufnahme von versenkten Seeminen. Aus den rostenden Wracks und der Munition treten Giftstoffe aus, die Meerestiere und -Pflanzen belasten. Die giftige Munition soll deshalb geborgen werden.

schnell digitale Karten von kleinräumigen Gebieten erstellt werden. MARLIN kombiniert die Eigenentwicklungen mit kommerziellen Systemen wie dem in der Seefahrt genutzten AIS (Automatic Identification System), 3D-Laserscannern und diversen Sonartechnologien. So kann es umfangreiche Lageinformationen bereitstellen. Für die Datenanalyse nutzt das System Methoden aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz, genauer gesagt des maschinellen Lernens. Diese erlauben es, relevante Objekte sowie auffällige Ereignisse in den betrachteten Szenen automatisch zu detektieren und zu klassifizieren.

„MARLIN soll eine Basis für eine Vielzahl individuell nutzbarer Lagebildsysteme bilden. Aus diesem Systembakasten können unterschiedliche Nutzergruppen dann die Hardware, wie Kameras, Unterwassersensorik oder Softwaremodule, für ihre individuellen Einsatzzwecke auswählen“, erläutert Maurice Stephan.

Sicht bis auf den Grund

Mit der Seekatze und dem Tauchroboter unterstützt das DLR bei dem vom Deutschen Schifffahrtsmuseum geleiteten Projekt North Sea Wrecks. Die DLR-Sensorik lieferte detaillierte Bilder, Scans und Videos von versunkenen Schiffen. Der Einsatz auf hoher See half den Forschenden dabei, die Unterwasserfahrzeuge für die eigens entwickelten Lagebildsysteme noch besser zu kalibrieren. Auf dem Grund der Nordsee

liegen, nicht zuletzt aufgrund der beiden Weltkriege, hunderte Schiffs- und Flugzeugwracks. Hinzu kommen tausende Tonnen konventioneller und chemischer Munition. Die Wracks, deren Ladungen und Treibstofftanks sowie die Munition an Bord sind sowohl Schifffahrtshindernisse und Giftstoffquellen als auch explosive Objekte. Sie bilden somit eine Gefahr für Mensch und Umwelt. In den Jahren 2021 und 2022 steuerte die Heincke, das Forschungsschiff des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI), ein Seegebiet um Helgoland an. Das DLR war mit an Bord und erstellte Unterwasseraufnahmen der Kreuzer SMS Mainz, SMS Ariadne und SMS Hela aus dem Ersten Weltkrieg sowie des Sperrbrechers Friesland aus dem Zweiten Weltkrieg. „Durch den Einsatz auf hoher See konnten wir unsere Sensorik und unseren Tauchroboter bereits weiterentwickeln. Hochaufgelöste Bilddaten liefern uns einen noch genaueren Überblick über die Lage unter Wasser“, berichtet Dr. David Heuskin, Leiter der Gruppe Technologieerprobungssysteme am DLR-Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen, und ergänzt: „Diese Erfahrungen helfen dabei, unsere Unterwassersensorik auch für weiträumigere Lagebilder im Meer zu nutzen.“

Windparks schützen

Zu den kritischen Infrastrukturen, die mithilfe von Lagebildern besser geschützt werden können, gehören auch Offshore-Windparks, denn ihre Bedeutung für eine zuverlässige Energieversorgung nimmt stetig zu. Dementsprechend steigen auch die potenziellen Auswirkungen auf die Gesellschaft durch Sicherheitsbedrohungen. Mögliche Gefahren können Unwetter oder treibende Schiffe sein, aber auch menschengemachte Bedrohungen wie Sabotage oder Angriffe. Im Projekt ARROWS (Applied Research on Resilience-driven Offshore Wind Farm Safety and Security) forscht das DLR an möglichen Gefahrenszenarien für Windparks. Die Forschenden entwickeln Handlungsempfehlungen

„Im Gefahrenfall ist es wichtig, gezielte Gegenmaßnahmen zu ergreifen und Energieversorger frühzeitig zu informieren, damit die Versorgung weiterhin gesichert ist.“

Dr. Frank Sill Torres

Kommissarischer Direktor des DLR-Instituts für den Schutz maritimer Infrastrukturen



für Windparkbetreibende, Energieversorger und Sicherheitskräfte. Eine Besonderheit ist, dass sich sowohl Behörden der Küstenwache als auch potenzielle Angreifer auf dem Wasser nur wesentlich langsamer fortbewegen können als auf der Straße oder in der Luft. „Mit zunehmender Entfernung des Windparks von der Küste steigt die Reaktionszeit von Eingriffskräften wie der Bundespolizei See“, beschreibt Dr. Frank Sill Torres, kommissarischer Direktor des DLR-Instituts für den Schutz maritimer Infrastrukturen, die besondere Situation auf See. „Im Gefahrenfall ist es wichtig, gezielte Gegenmaßnahmen zu ergreifen und Energieversorger frühzeitig zu informieren, damit die Versorgung weiterhin gesichert ist.“

Gefahren erkennen, aber wie?

Für die Bewertung der Lage ist auch eine Vielzahl von Parametern nötig. Dazu gehören neben Informationen aus Kamera-, Radar- und Sonarsystemen auch AIS-, Wetter- und Meeresdaten. Ein mögliches Gefahrenszenario könnte ein Angriff auf ein Seekabel sein, das den Strom vom Windpark an Land leitet. In einer Karte ist vermerkt, wo Stromkabel gelegt sind und an welchen Stellen diese empfindlich für Angriffe sind. Weniger tief vergrabene Kabel können leichter manipuliert werden. Nähert sich also ein Schiff einer solchen Stelle oder folgt es einer Kabeltrasse, ist das ein auffälliges Verhalten. Das AIS-Signal des Schiffs sendet Informationen wie die Reiseroute, den Schiffstyp sowie die Landesflagge, unter der das Schiff fährt. Mit diesen Daten kann überprüft werden, ob das Schiff bereits in der Vergangenheit auffällig geworden ist. Es kann aber vorkommen, dass die AIS-Datenübertragung aufgrund technischer Probleme ausgefallen ist oder dass das Schiff diese auffällige Route fährt, weil sein Steuer defekt ist. Hier schafft eine Kontaktaufnahme, zum Beispiel über Funk, Klarheit. „Ein gefährliches Szenario ist nicht immer klar von einem ungefährlichen zu unterscheiden. Es kommt häufig auf Nuancen und Kleinigkeiten an“, ergänzt Frank Sill Torres.

Vom Lagebild zur Handlungsempfehlung

Zukünftig sollen Handlungsempfehlungen in Lagebildsysteme einfließen und diese „intelligenter“ machen. Kritische Objekte und Situationen könnten auf einer Seekarte oder einem digitalen Plan des Wind-



Das DLR-Team bespricht den Ablauf des nachgespielten Szenarios, bei dem das MARLIN-System getestet wird.



Auf dem Bus sind Beobachtungsinstrumente installiert. So können diese schnell und flexibel am Einsatzort genutzt werden.

parks grafisch angezeigt werden. Ein zukünftiges System soll ein ganzheitliches Modell des Windparks abbilden und Sicherheitskräfte sowie Betreibende in Gefahrensituationen bei ihren Entscheidungen zuverlässig und rechtzeitig unterstützen. „Wir freuen uns, einen Beitrag zur Versorgungssicherheit durch erneuerbare Energien zu leisten“, erklärt Ingenieur Sill Torres die verantwortungsvolle Aufgabe im Projekt ARROWS. „Ein stetiger Austausch mit Windparkbetreibenden, Sicherheitsbehörden und Energieversorgern ist uns sehr wichtig, damit wir diese durch die vom DLR entwickelten Lösungen bestmöglich unterstützen können.“

Jana Hoidis ist an den DLR-Standorten der Region Nord für die Kommunikation verantwortlich.

DER PILZSUCHER

Ein System detektiert Pilzbefall im Weinberg

von Verena Müller

DLR/Kölbl



Pilzbefall im Weinbau ist für die Winzerinnen und Winzer eine große Herausforderung. Sie müssen die befallenen Reben bei der Traubenlese aufwändig aussortieren. Außerdem leidet sowohl die Qualität des Weins als auch der wirtschaftliche Ertrag. Nun haben Forscherinnen und Forscher am DLR-Institut für Technische Physik in Lampoldshausen ein Detektionssystem namens vinoLAS entwickelt, das den Pilzbefall frühzeitig erkennen kann.

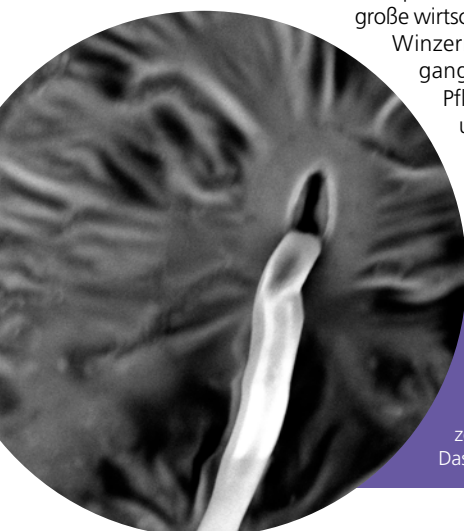
In den letzten Jahren haben die Auswirkungen des Klimawandels spürbar zugenommen. Nicht nur verursacht er extreme Witterungssituationen; der zunehmende sommerliche Starkregen begünstigt den Befall von Schadpilzen in Weinbergen. Das erzeugt große wirtschaftliche Schäden, weshalb die Winzerinnen und Winzer in der Vergangenheit große Mengen von Pflanzenschutzmitteln einsetzen, um die Pilze zu bekämpfen. Meist handelt es sich um den sogenannten Falschen Mehltau. Befällt er den Weinstock, hängen statt grünen, prallen Früchten erbsengroße, ein-

getrocknete Beeren an den Reben. „Erkennt man den Pilzbefall frühzeitig, können gezielt Gegenmaßnahmen ergriffen und die Ausbreitung lokal begrenzt werden. Das senkt den Einsatz und die Kosten von Pflanzenschutzmitteln, schont die Umwelt und steigert nicht zuletzt die Qualität des Weins“, erklärt der Projektleiter von vinoLAS, Dr. Christoph Kölbl, und ergänzt: „Mit unserem Detektionssystem wollen wir Pilzbefall frühzeitig, berührungslos und vor allem auch großflächig an der Laubwand von Weinreben erkennen und charakterisieren.“

Pilzbefall anhand Lichtspektren erkennen

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nutzen dafür das Verfahren der Fluoreszenzdetektion. Dabei sendet ein speziell optimiertes Lasersystem Strahlen aus, deren Wellenlängen sowohl im ultravioletten als auch im sichtbaren Spektralbereich liegen. Treffen diese auf die Reben, werden sowohl die Moleküle der Pflanzen als auch die der Pilze angeregt und strahlen sogenanntes Fluoreszenzlicht zurück. Dieses Fluoreszenzlicht ist für das menschliche Auge unsichtbar. Das vinoLAS-

Der Falsche Mehltau liebt Feuchtigkeit. Seine Sporen werden mit dem Wind und Regen verbreitet. Sie können bis tief ins Blattgewebe eindringen und sich dort ausbreiten. Diese Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme zeigt ein Weinblatt, das vom Falschen Mehltau befallen ist. Das Pilzgewebe dringt durch die Poren ins Blattinnere ein.



DLR/Kölbl

„Unsere Arbeit ist praxisnah und liefert einen wichtigen Beitrag zur integrierten Landwirtschaft und damit auch zum Umweltschutz. Durch die Nähe des DLR Lampoldshausen zum Weinanbaugebiet Württemberg können zukünftig verstärkt auch regionale Winzer und Genossenschaften von dem Monitoringsystem profitieren.“

Dr. Christoph Kölbl
Projektleiter vinoLAS

System besitzt zwei spezielle Spektrometer, die extra konstruiert wurden, um das Fluoreszenzlicht zu erfassen. Mit ihnen können die Forschenden das Lichtspektrum analysieren. Unterschiede in den Spektren deuten darauf hin, dass Pflanzen oder Pflanzenteile von einem Pilz befallen sind. Zunächst testeten die Forschenden ihr System im Labor an Topfreben der Sorten Müller-Thurgau und Riesling, die sie mit Falschem Mehltau infizierten. Anhand der Lichtspektren konnten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Pilzbefall an den Pflanzen erkennen und über mehrere Wochen hinweg die Veränderungen in der Pflanzenstruktur verfolgen. Die Versuche zeigten, dass das System den Pilzbefall spätestens acht Tage, nachdem die Pflanze in Kontakt mit dem Erreger gekommen war, entdeckte. Aktuell arbeiten die Forscherinnen und Forscher daran, diesen Zeitraum zu verkürzen, um eine noch zuverlässigere Früherkennung zu ermöglichen.

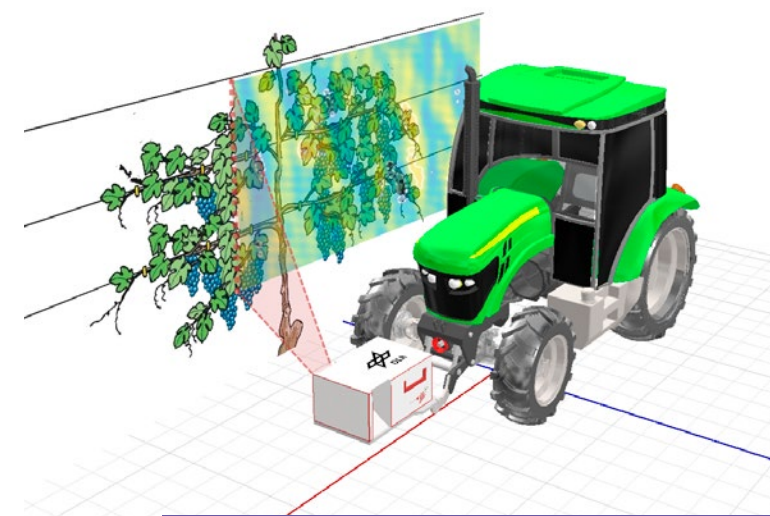
Dank seiner aktiven Laserbeleuchtung kann vinoLAS wetter- und tageslichtunabhängig eingesetzt werden, beispielsweise auch nach Einsetzen der Dämmerung.

Monitoring großer Anbauflächen im Weinberg

Aktuell erprobt das vinoLAS-Team das Monitoringsystem in einem Test-Weinberg in der Nähe von Heilbronn. Dabei haben sie die Anforderungen der Winzerinnen und Winzer immer im Blick. Sowohl diese als auch Industriepartner haben schon ihr Interesse bekundet, obwohl noch Entwicklungsarbeit notwendig ist, denn: Ein vergleichbares System gibt es bislang noch nicht. „Unsere Arbeit ist praxisnah und liefert einen wichtigen Beitrag zur integrierten Landwirtschaft und damit auch zum Umweltschutz. Durch die Nähe des DLR Lampoldshausen zum Weinanbaugebiet Württemberg können zukünftig verstärkt auch regionale Winzer und Genossenschaften von dem Monitoringsystem profitieren“, sagt Christoph Kölbl.

Zunächst möchte das DLR-Team das System an einem Weinberg-Schmalspurtraktor installieren. So können zukünftig weinbauliche Arbeiten und Pilzbefall-Monitoring parallel erfolgen. Bei der Fahrt entlang der Laubwände misst das System berührungslos und systematisch große Anbauflächen. Die Winzerinnen und Winzer erhalten sofort die aktuellen Daten und können einen Befall direkt erkennen. Dementsprechend können sie die befallenen Stellen frühestmöglich zurückschneiden oder mit Pflanzenschutz gezielt und dosiert behandeln. „Für den Einsatz in Steilhängen ist eine spätere Anwendung mit einer Drohne denkbar. Das bodengebundene System deckt aber den allergrößten Bedarf ab“, sagt Christoph Kölbl, der in der Abteilung Atmosphärische Propagation und

Wirkung des DLR-Instituts für Technische Physik arbeitet. Für ihn ist das Projekt eine Herzensangelegenheit. Er stammt ursprünglich aus dem Allgäu mit viel Viehwirtschaft und ist von den Heilbronner Weinbergen begeistert: „Ich fand es schon immer total spannend, nach alternativen Anwendungen zu suchen, und so kamen wir von den Forschungsarbeiten an Bakterien auf das Thema Pilzbefall im Weinberg. Wichtig ist mir, dass wir bei unseren Projekten von Anfang an auch den Transfer von der Forschung in die Praxis im Blick haben.“



Das vom DLR entwickelte System ist in einer kleinen Box mit den Maßen 35 x 55 x 25 Zentimeter untergebracht, ist also etwas kleiner als eine Eurobox. Es kann mit einer Vorrichtung am Frontaufbau eines Weinberg-Schmalspurtraktors installiert werden.

Das DLR-Team arbeitet an der Vermarktungsstrategie

In Zukunft werden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weitere Messkampagnen in den Weinbergen „unter realen Feldbedingungen“ durchführen. Das vinoLAS-System soll an anderen Rebsorten getestet und die Analysemodelle sollen verbessert werden. Außerdem steht das Team in engem Austausch sowohl mit Entwicklerfirmen für Sensorsysteme im Agrarbereich, Unternehmen, die sich auf die digitale Modellierung von Daten für die Landwirtschaft spezialisiert haben, und Firmen, deren Schwerpunkt im Bereich der Spritz- und Sprühapplikationen oder der Herstellung von Pflanzenschutzmitteln liegt, als auch mit Winzerinnen und Winzern sowie Genossenschaften. Deren positive Resonanz stimmt Kölbl und sein Team zuversichtlich, dass vinoLAS schon bald auf dem einen oder anderen Weinberg im Einsatz sein wird.

Verena Müller arbeitet in der Abteilung Innovations- und Transfermarketing.

WIE WISSENSCHAFT WIRKT

Der DLR Projektträger bringt Ideen auf die Straße

von Stefanie Hulan



Fortschritt beginnt in den Köpfen. Wie aber wird aus einer Idee eine wissenschaftliche Erkenntnis und daraus eine Dienstleistung oder ein Produkt? Auf dem Weg zu diesem Transfer spielt der DLR Projektträger eine wichtige Rolle. Zwei Beispiele zeigen, wie seine Arbeit wirkt.

Ralf Heyder

Koordinierungsstelle Netzwerk Universitätsmedizin, Charité Berlin

„Im März 2020 wurde in den Beratungsgesprächen der Bundesregierung schnell klar: Der Corona-Pandemie können wir nur begegnen, wenn wir Forschungserkenntnisse und klinisches Wissen effektiv bündeln und zügig für die Patientenversorgung zur Verfügung stellen. Dafür war es nötig, alle 36 Universitätskliniken Deutschlands in einem Netzwerk zusammenzubringen. Die erste Herausforderung für uns als Koordinierungsstelle lag darin, alle Stakeholder an einen Tisch zu bringen. Dann galt es, eine standortübergreifende Dateninfrastruktur zur Verfügung zu stellen, in der Patientendaten datenschutzkonform standardisiert erhoben, gespeichert und geteilt werden können. In dieser Phase hat uns der DLR Projektträger mit seiner langjährigen Erfahrung unter anderem aus der Betreuung der Medizininformatikinitiative des BMBF unterstützt. Auch die förderrechtlichen und -administrativen Anforderungen hätten ohne die Beratung durch den DLR Projektträger nicht so schnell umgesetzt werden können. Das Besondere in der Förderung: Wir mussten ohne die sonst übliche vorangehende Planungsphase einen direkten Kaltstart in die Realisation hinlegen. Von der gemeinsamen Datenbasis und den entwickelten Behandlungskonzepten profitieren heute auch Long- und Post-Covid-Patientinnen und -Patienten. Sollte es noch einmal zu einer ähnlichen Situation kommen, sind wir strukturell bestens aufgestellt.“

DAS NETZWERK UNIVERSITÄTSMEDIZIN

Das vom BMBF geförderte Netzwerk Universitätsmedizin (NUM) wurde im April 2020 als Teil des Krisenmanagements zur Bekämpfung der Corona-Pandemie gegründet. Seine Zwecke: die Covid-Forschung der Universitätsmedizin koordinieren, Forschungsdaten gemeinsam sammeln und auswerten, die Pandemievorsorge in Deutschland verbessern sowie Maßnahmenpläne, Diagnostik- und Behandlungsstrategien möglichst aller deutschen Universitätskliniken zusammenführen und auswerten.

Steffen Raach
sowento GmbH

„Schwimmende Offshore-Windenergieanlagen zu optimieren – darum drehte sich das Eurostars-Projekt CROWN, das wir mit einem deutsch-spanischen Forschungsteam umgesetzt haben. Innerhalb des Projekts haben wir als sowento GmbH daran geforscht, die Plattformen stabiler zu gestalten. Dafür haben wir eine Softwareapplikation entwickelt, den sogenannten Real-time Observer. Er misst und modelliert beispielsweise die Belastung der Ankerleinen, mit denen die Plattformen im Meeresgrund befestigt sind. So lassen sich Wartungen besser planen und durchführen und schwimmende Offshore-Windenergieanlagen insgesamt sicherer betreiben. Derzeit arbeiten wir daran, den Real-time Observer als Hardware auf den Markt zu bringen. Das wurde uns durch die Forschungsförderung ermöglicht. Abgewickelt wurde die Projektförderung vom DLR Projektträger. Das Projekt war teilgefördert, wir mussten also auch eigenes Geld beisteuern. Für ein so junges Unternehmen – sowento wurde 2016 an der Universität Stuttgart gegründet, seit 2018 sind wir eine GmbH – ist das oft der Knackpunkt, denn man muss plausibel belegen, wie man diesen Eigenanteil erbringen will. Das hätte schnell sehr bürokratisch werden können, doch der DLR Projektträger hat uns hier viel Offenheit und Vertrauen entgegengebracht. Beide Seiten haben sehr transparent agiert, was die Zusammenarbeit so erfolgreich und auch angenehm machte.“

EUROSTARS

Eurostars ist ein grenzüberschreitendes Förderprogramm, das sich an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) richtet. Gefördert werden KMU, die in bi- und multilateraler Zusammenarbeit innovative Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen erforschen und entwickeln. Eurostars wurde 2007 gemeinsam von der Forschungsinitiative EUREKA und der Europäischen Kommission eingeführt. In Deutschland fördert das Bundesforschungsministerium die deutschen Partner der ausgewählten Projekte.

MEHR FREIHEIT – MEHR TRANSFER

Interview mit Martin Wegner, Bereichsleiter Gesellschaft, Innovation, Technologie im DLR Projektträger.

In der Forschung spricht man oft über den Transfer der Ergebnisse. Was bedeutet in diesem Zusammenhang Transfer?

■ Wir unterscheiden zwischen dem klassischen Technologietransfer und dem Wissenstransfer. Unter Technologietransfer verstehen wir einen Prozess, in dem vielversprechende Ideen und wissenschaftliche Ergebnisse erkannt, weiterentwickelt und in wirtschaftliche Anwendungen gebracht werden. So können aus ihnen neue und konkrete Produkte und Dienstleistungen werden. Wenn es darum geht, Forschungsergebnisse gesellschaftlich wirksam zu machen sowie Entwicklungen, Entscheidungsfindungen oder Wissenszuwachs in Zivilgesellschaft, Politik und Wirtschaft anzustoßen, ist Wissenstransfer ein wichtiger Hebel. Am Ende haben beide ein gemeinsames Ziel: Transfer führt zu volkswirtschaftlichem und gesellschaftlichem Nutzen.

Warum reicht es nicht, zu forschen?

■ Wir stehen vor tiefgreifenden gesellschaftlichen Herausforderungen: In der Geo- und Sicherheitspolitik, aber auch im Umgang mit Klima- und Umweltveränderungen brauchen wir immer neue technische und soziale Entwicklungen. Das schaffen wir nur, wenn wir Potenziale besser nutzen, Forschungs- und Innovationräume öffnen und den Mut zum Aufgreifen von Ideen, Erkenntnissen und Konzepten unterstützen. Es kommt dabei auf das optimale Zusammenspiel aller Handelnden aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft an. Ein Beispiel dafür, wie wirksam es sein kann, wenn die Kräfte gebündelt werden, die in Forschung und Entwicklung fließen, ist die Entwicklung des mRNA-Impfstoffs gegen das Coronavirus. Der konnte nur so schnell auf den Markt kommen und im Kampf gegen die Pandemie unterstützen, weil seine Entwicklung schon über viele Jahre gefördert wurde. Auch da spielten wir als DLR Projektträger übrigens eine entscheidende Rolle, wie auch beim späteren Blitztransfer dieses Wissens in einen Covid-19-Impfstoff.



Nimmt man das gesamte Innovationssystem in den Blick – wie kann Transfer besser gelingen? Was sollte sich aus Sicht der Projektträger ändern?

■ Ein entscheidender Schritt ist es, die vielen ineinandergreifenden öffentlichen Programme und Initiativen zu managen, die das Forschungs- und Innovationssystem stärken. Projektträger spielen dabei eine zentrale Rolle. Wir müssen mehr Risiko wagen und gleichzeitig den verantwortungsvollen Einsatz von Steuergeldern sicherstellen. Dafür brauchen wir Förderprogramme, die zielorientiert geplant und umgesetzt werden und sich nachvollziehbar an ihrer Umsetzung und den erzielten Wirkungen messen lassen. Außerdem brauchen wir neue, flexiblere Förderformate, die mitunter auch bestehende Systeme, Prozesse oder Technologien infrage stellen. Dazu müssen wir die Chancen der Digitalisierung nutzen und Förderung vereinfachen und beschleunigen. Ganz konkret sollte zum Beispiel das Jährlichkeitsprinzip in der Bundeshaushaltsordnung aufgelöst oder die Bonitätsprüfung kleinerer, innovativer Unternehmen und Start-ups vereinfacht werden. Mehr Freiheit, mehr Flexibilität für mehr Transfer und Wirkung von Forschung!

Mehr zum Bereich Gesellschaft, Innovation, Technologie unter:
s.dlr.de/PT-ID-GI

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. Diese Folge begibt sich auf die Spuren der DVG – einer Vorläuferorganisation des DLR.



GRÄFELFING, BITTE KOMMEN

Wie Funk- und Fernsehtechnik aus Bayern Geschichte schrieb

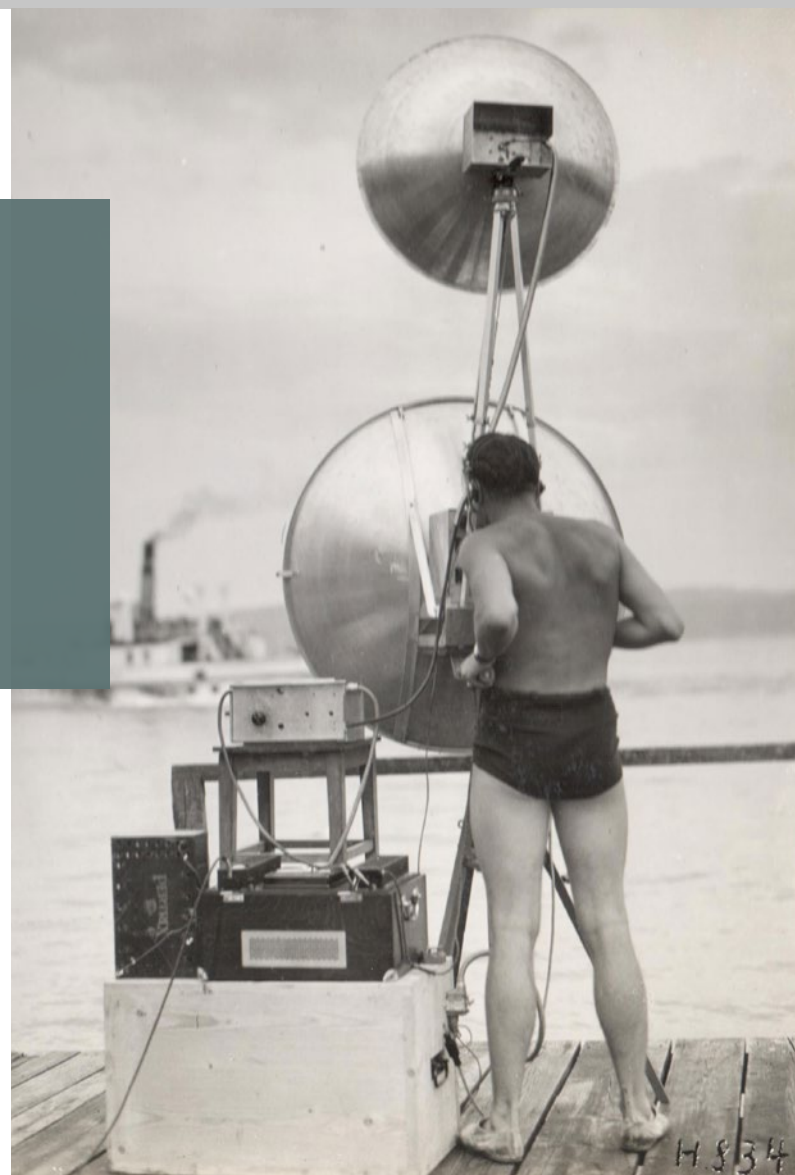
von Dr. Jessika Wichner

Gräfelfing? Wenn man einmal in München ist, könnte man die Gelegenheit nutzen, eine Fahrt mit dem Zug zum Starnberger See zu unternehmen. Dabei kommt man zwangsläufig an Gräfelfing vorbei. Dort sollte man die Fahrt unbedingt unterbrechen. Beim Spazieren durch den Ort wird man vielleicht feststellen, dass es ein Ort ist wie jeder andere ... fast. 1908 änderte sich die ländliche Idylle, als der Hochfrequenztechniker Max Dieckmann (1882–1960) die Drahtlostelegraphische und Luftpeltrische Versuchsstation Gräfelfing (DVG) einrichtete. Was um alles in der Welt war das?

Dieckmann, der 1907 eine Assistenzstelle am Lehrstuhl des Experimentalphysikers Hermann Ebert (1861–1913) an der Technischen Hochschule München angetreten hatte, beschäftigte sich mit Untersuchungen zur Elektrizität der Luft. Damit auch seine Studenten entsprechende praktische Versuche durchführen konnten, pachtete er ein Jahr später in Gräfelfing ein Wiesengrundstück mit einer Holzhütte. Seinem neu erworbenen Experimentierfeld gab er den Namen DVG. Kurze Zeit später wuchsen die ersten Sendemasten aus dem Boden, die ersten Experimente starteten und zu den Studenten gesellten sich erste feste Mitarbeiter, die in der DVG angestellt wurden.

Erste Tests an Luftschiffen

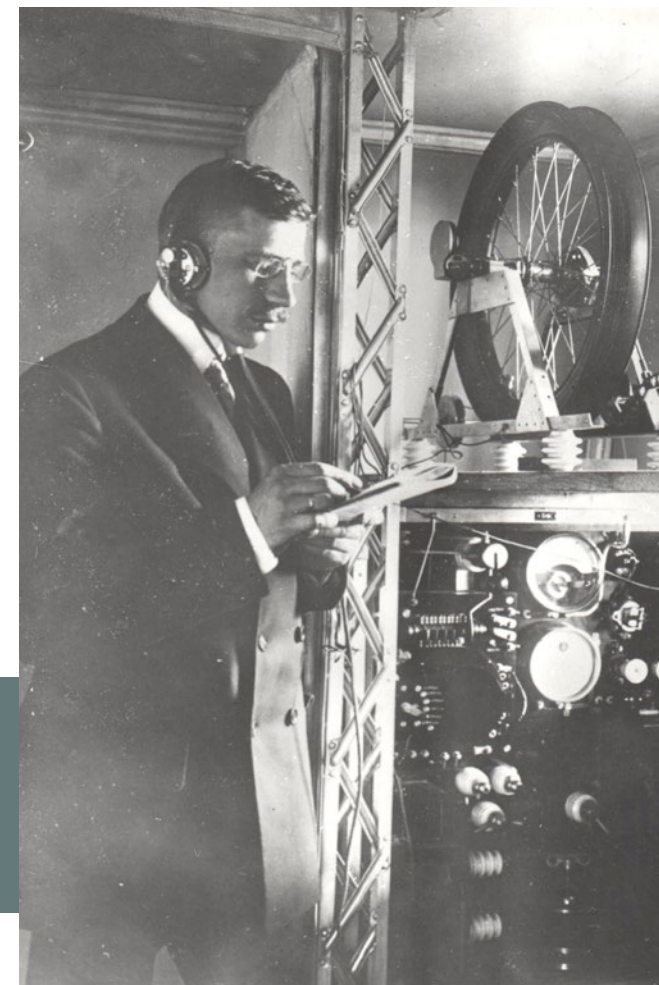
1909 wurde Ferdinand Graf von Zeppelin (1838–1917) auf die DVG aufmerksam und bat Dieckmann, die Verwendbarkeit von funkentelegraphischen Sendern für Luftschiffe zu untersuchen. Erste Experimente in Gräfelfing waren vielversprechend, sodass sich Dieckmann mit den Sendern im Gepäck zum Bodensee – der Heimatstatt des Grafen von Zeppelin – aufmachte, um sie an Bord der Luftschiffe zu testen. Es stellte sich heraus, dass der Einsatz funktionierte. Im Zuge dessen stattete Zeppelin seine Luftschiffe nach und nach mit funkentelegraphischen Sendern aus. Passagiere, die sich im Mai 1912 an Bord des Luftschiffs LZ 11 „Viktoria Luise“ befanden, kamen erstmals in der Geschichte in den Genuss, nicht nur eine Reise mit einem Luftschiff zu unternehmen,



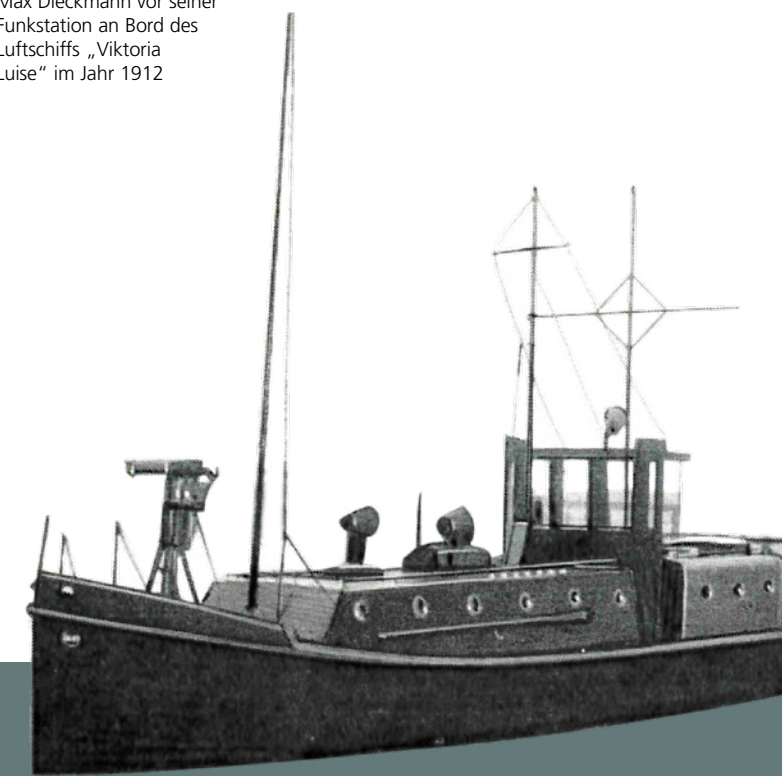
Erprobung eines von der DVG entwickelten Radargeräts am Ammersee im Jahr 1937

sondern gleichzeitig auch private Telegramme versenden zu können – ob dabei die Luftreise oder die Möglichkeit, private Nachrichten an Bekannte und Verwandte senden zu können, die größere Attraktion war, sei dahingestellt. Fest steht, dass die Funktechnik die Luftfahrt revolutionierte. Nun war es möglich, dass sich Luftschiffe und Flugzeuge sowohl untereinander verständigen als auch vom Boden aus kontaktiert werden konnten. Einer geordneten Luftaufsicht stand somit nichts mehr im Weg.

Einen weiteren wichtigen Beitrag, den die DVG für die Modernisierung der Luftfahrt lieferte, war die Entwicklung des Autopiloten. Dieser hatte seine Anfänge auf dem Ammersee. Bevor sich Dieckmann mit seinen Mitarbeitern an die automatische Flugsteuerung heranwagte, entwickelte er eine Fernsteuerungsanlage für Motorboote. Sie sollte zeigen, dass Steuerbewegungen automatisiert ablaufen konnten. Die DVG erhielt 1929 die Möglichkeit, der ungarischen Marine auf dem Plattensee ein ferngesteuertes Motorboot vorzuführen. Es konnte über eine Fern-



Max Dieckmann vor seiner Funkstation an Bord des Luftschiffs „Viktoria Luise“ im Jahr 1912



Das von der DVG ferngesteuerte Motorboot auf dem Plattensee im Jahr 1929

lenk- und Kommandoübertragungsanlage nicht nur selbstständig den Motor anlassen und diverse Steuermanöver durchführen, sondern auch automatisch ein Maschinengewehr betätigen, um Einzel- und Serieschüsse abzufeuern. Von da an war es nur eine Frage der Zeit, bis auch Flugzeuge mit Autopiloten ausgestattet wurden.

Auch im Bereich der deutschen Radarentwicklung war die DVG beteiligt – und erneut spielte der Ammersee eine zentrale Rolle. Das erste in der DVG konstruierte Radargerät erkannte die Ammersee-Dampfer, die Touristinnen und Touristen über den See schipperten, auf eine Entfernung von einem Kilometer. Zudem konnte die Geschwindigkeit der Dampfer durch Ausnutzung des Dopplereffekts ermittelt werden.

Die Geburtsstunde einer bekannten Röhre

Für all diejenigen, denen die Funktechnik zu abstrakt ist, sei an dieser Stelle noch ein weiteres Beispiel aus der Arbeit der DVG gegeben. Dazu müssen wir allerdings noch ein Stück weiter in die Vergangenheit reisen, in die Zeit um 1905. Damals war Max Dieckmann Assistent des Physikers

Ferdinand Braun (1850–1918), der in Straßburg lehrte. Braun hatte 1897 eine Kathodenstrahlröhre entwickelt, die später auch als Braunsche Röhre bekannt wurde. Diese Röhre nutzte Dieckmann 1906 als Bildschreiber zur Wiedergabe von Schattenbildern im Format 3 x 3 Zentimeter. 1925 verfolgte er diese Idee weiter und konstruierte mithilfe einer Braunschen Röhre ein Gerät, das heute in fast jedem Haushalt zu finden ist: den Fernseher. Dieser wurde noch im selben Jahr auf der Verkehrsausstellung in München gezeigt.

Die Funkforschung gewann im Laufe der 1930er Jahre weiter an Bedeutung. 1937 wurde das Flugfunk-Forschungsinstitut Oberpfaffenhofen (FFO) gegründet, mit dessen Leitung Dieckmann betraut wurde. Die DVG bestand parallel zum FFO. 1942 kaufte das Reich Dieckmann die DVG ab und gliederte sie als Außenstelle in das FFO ein. Nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs wurde das FFO zunächst geschlossen, konnte seine Arbeit 1954 jedoch wieder aufnehmen und nach einer kurzen Interimsphase in München-Riem 1956 in Oberpfaffenhofen seine Arbeit fortsetzen.

Und, wie ist das jetzt mit Ihrem Ausflug nach Gräfelfing?

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

Die DVG in den 1910er Jahren



SCHWARMINTELLIGENZ UND EXZELLENZCLUSTER

Die Ausstellung „Nach der Natur“ im Humboldt Labor Berlin

von Michael Müller

Was hat ein Schwarm von Zierfischen mit moderner Wissenschaft zu tun? Diese Frage stellt man sich unwillkürlich beim Betreten der Ausstellung „Nach der Natur“ im Humboldt Labor des neuen Berliner Stadtschlosses. Auf einer riesigen Projektionsfläche, die den Eingangsraum diagonal teilt, sind Guppys zu sehen. Droht Gefahr, ordnen sie sich blitzschnell neu und ändern ihre Schwimmrichtung. Dabei agieren sie wie ein komplexer einzelner Organismus – ein starkes Bild für eine moderne Forschungslandschaft, die sich über Fachgrenzen hinweg vernetzt, um die komplexen Herausforderungen der Gegenwart anzugehen.

Im Eingangsbereich der Ausstellung empfängt die Besucherinnen und Besucher ein projizierter Fischschwarm.

Neben den Sammlungen des Ethnologischen Museums und des Museums für Asiatische Kunst ist auch das Humboldt Labor Bestandteil des Humboldt Forums. Es entstand in den letzten Jahren am Standort des ehemaligen Palastes der Republik. Auf circa 500 Quadratmetern sind Exponate insbesondere aus den Bereichen Humanmedizin, Klimafor-

Von Humboldt bis zur Hirnforschung

schung, Informationstechnologie und Soziologie versammelt. Die Leitfragen lauten: Wie hat der Mensch seit Beginn des industriellen Zeitalters die Welt geformt? Welche Probleme sind daraus entstanden? Und wie kann die Wissenschaft heute zu deren Lösung beitragen? Schwerpunkt-mäßig geht es um Forschungsprojekte von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Humboldt-Universität zu Berlin und den Exzellenzclustern der Hauptstadt, in welche diese Projekte eingebettet sind.

Den Auftakt bilden mehrere Screenexponate. Sie schlagen den Bogen von den Forschungspionieren Alexander und Wilhelm von Humboldt im 18. Jahrhundert zu aktuellen Projekten mit Beteiligung der Humboldt-Universität. Unter anderem geht es hier um die Erkennung und Bekämpfung neurologischer Krankheiten: Vorgestellt wird ein neuartiger Mini-Magnetresonanztomograf. Dieser erlaubt es, anders als in eine klassische MRT-Röhre, dass Patientinnen und Patienten während des Hirn-Scans Bewegungen, zum Beispiel mit den Händen, ausführen. Kann der oder die Erkrankte ein Kommando nicht mehr umsetzen, lässt sich der Gehirnbereich lokalisieren, der passiv ist, obwohl er aktiv sein sollte. Wird eine Operation notwendig, kann eine hochgenaue Projektion auf das freiliegende Gehirn diesen Bereich zeigen. Der Vergleich des neuronalen Netzes mit dem Fischschwarm liegt nahe.

Ist das „liberale Skript“ am Ende?

Richtig in die Ausstellung hineingezogen wird man spätestens bei Betreten des zweiten Raumes. Von der Decke abgehängte Exponatkästen „schweben“ geradezu im Raum. Eine gut 20 Meter lange Projektionswand zeigt prägnante wissenschaftliche Statements zum Anthropozän – dem Zeitalter, in dem der Mensch der Natur unwiderruflich seinen Stempel aufdrückte.

Einer der Diskurse auf der großen Leinwand beschäftigt sich mit dem „liberalen Skript“ – dem seit dem 19. Jahrhundert geltenden Grundsatz, dass sich Gesellschaften als Nationalstaaten organisieren und ihren Bürgerinnen und Bürgern in unterschiedlichem Maße Sicherheit und Freiheit gewähren. Inzwischen ist die Welt zum globalen Dorf geworden. Wir erleben mehr und mehr, wie grundlegende Probleme – Klimawandel, Energieunsicherheit, soziale Spannung zwischen Arm und Reich, Rassismus – Staatsgrenzen überschreiten und nur mit Schwarmintelligenz zu lösen sind.

Die zu Wort kommenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weisen darauf hin, dass sich die Hoffnung vom „Ende der Geschichte“ nach Überwindung des Kalten Krieges nicht erfüllt hat. So ist zum Beispiel das Gleichgewicht zwischen Sicherheit und Freiheit ins Wanken geraten. Angesichts der Corona-Pandemie rufen Forschende in Erinnerung, dass auch in einer liberalen Gesellschaft Freiheitsrechte zugunsten von Sicherheit eingeschränkt wurden, zumindest vorübergehend. Ist angesichts der Herausforderungen unserer Gegenwart das „liberale Skript“ auserzählt? Der Diskurs bricht recht unvermittelt ab und gibt den eigenen Gedanken Nahrung.

Interaktiv und partizipativ

Der Rückkanal war den Ausstellungsmacherinnen und -machern bei der Konzeption ein wichtiges Anliegen. Per Twitter-Postings können die Besuchenden quasi in Echtzeit auf die laufenden Diskurse reagieren und ihre eigenen Gedanken einbringen. Ausgewählte Postings werden neben den Video-Statements der Forschenden, Infografiken und musikalischen Intermezzi auf die sich ständig neu anordnenden Leinwand-Segmente projiziert – dieser technische Aspekt ist eine faszinierende Art der Vermittlung und ein Highlight für sich.

Zwei kleine Kritikpunkte: Dargestellt sind fast ausschließlich Projekte aus der universitären Forschung. Arbeiten anderer Einrichtungen wie der Helmholtz-Gemeinschaft, Fraunhofer-Gesellschaft oder Max-Planck-Gesellschaft, die ebenfalls mit Schwarmintelligenz arbeiten und mit der Humboldt-Universität vernetzt sind, bleiben außen vor. Zudem wirken die Humboldt-Archive zur Erforschung fremder Völker und lokaler Dialekte, die eine kleine Ecke einnehmen, ein bisschen wie Fremdkörper in einer ansonsten sehr modernen Ausstellungswelt.

Abschließend eine Empfehlung: Am besten vermeidet man die Spitzenzeiten und besucht die Ausstellung zum Beispiel abends, um den Raum auf sich wirken zu lassen und ungestört die etwa 30-minütigen Diskurse aufnehmen zu können. Übrigens werden regelmäßig öffentliche Führungen in verschiedenen Sprachen und Gruppenführungen für Familien sowie Workshops angeboten – für diejenigen, die die Ausstellung gerne im Schwarm besuchen möchten.

Michael Müller ist Redakteur in der DLR-Kommunikation.



DAS HUMBOLDT LABOR

Humboldt Forum, Schloßplatz, 10178 Berlin

Öffnungszeiten:
Mi.–Mo. 10:30–18:30
Di. geschlossen

Der Eintritt ins Humboldt Labor ist in der Regel frei.
Ausgenommen sind Sonderveranstaltungen.

📍 www.humboldt-labor.de



Die Exponatkästen hängen von der Decke und scheinen im Raum zu schweben.

AUFGELADEN

Auf dem Röhrenfernseher flackern Talkshows, im Küchenradio singen Boybands und am Stadtrand qualmen die Kraftwerke. Alles läuft, alles wächst, alles frisst Strom. Es sind die Neunzigerjahre: Computer, Mobiltelefone und Stereoanlagen stehen in nahezu jedem Haushalt und jedem Zimmer. Der Energiehunger von Industrie und Gesellschaft nimmt stetig zu. In windreichen Gegenden Europas wachsen Windkraftanlagen in die Höhe, vor den Städten regt sich Protest gegen die Umweltverschmutzung durch Kohlekraftwerke. Erste Märkte setzen zunehmend auf erneuerbare Quellen statt auf fossile Energieträger. Können sie den wachsenden Bedarf zuverlässig decken?

Die kunstvoll anmutende Landkarte auf dem Spielbrett von **Gigawatt (Play for the Future, Amsterdam)** offenbart die Stärken verschiedener europäischer Landstriche: An der Nordsee stürmt der Wind, am Mittelmeerstrand scheint die Sonne, in den Bergen strömt das Wasser und im Osten strahlt das Atom. Bis zu sechs Spielerinnen und Spieler übernehmen jeweils in einer dieser Regionen die Verantwortung für die Energieversorgung. Alle starten mit mehreren Kohle- und Gaskraftwerken – als zuverlässigen, aber umweltschädlichen Altlasten –, dem gleichen Strombedarf und der gleichen Produktionsmenge, die von in Farbe und Form unterscheidbaren Spielfiguren repräsentiert werden. Mit jeder Runde steigt der Bedarf und man muss dafür sorgen, ihn zu decken. Dies geschieht in fünf Phasen: Man kauft Technologiekarten, baut und verbessert Kraftwerke, Energiespeicher oder Stromtrassen, würfelt Bedarf, Einkommen und Energiebilanz, handelt mit dem, was übrig bleibt oder fehlt, und versucht letztlich, Abschaltrechte für fossile Kraftwerke zu ersteigern – sofern es das Budget erlaubt. Es gilt, mithilfe verschiedener Technologien und eines strategisch günstigen Strommixes den Bedarf nachhaltig zu decken und möglichst sinnvoll auf einem internationalen Energiemarkt zu kooperieren. Das Spiel ist beendet, sobald in einer Region alle Kohle- und Gaskraftwerke abgeschaltet sind und dort mehr Strom erzeugt als verbraucht wird.

Dabei wird schnell klar, wie herausfordernd und dynamisch ein weit vernetzter und nachhaltiger Strommarkt ist. Setzt man zu einseitig auf Wind- oder Sonnenenergie, zwingt einen die nächste gewürfelte Flaute, Strom aus anderen Regionen einzukaufen. Lässt man hingegen Kohle- und Gaskraftwerke zu lange am Netz, riskiert man immer höhere CO₂-Strafsteuern und schlimmstenfalls den Bankrott. Zwar hat das Spiel in seiner ersten Auflage nach dem erfolgreichen Crowdfunding noch Verbesserungspotenzial in Regelwerk und Spielmechanik, doch die Schwächen fallen dank der logischen Zusammenhänge und der überaus ansehnlichen Gestaltung nicht weiter ins Gewicht. Immer wieder zieht man Parallelen zur realen Welt und das Spiel vermittelt einen oberflächlichen, aber nachvollziehbaren, mitunter gar lehrreichen Eindruck von der Funktionsweise des europäischen Energiemarktes. Nicht nur deshalb sorgt Gigawatt für Spannung – die Herausforderung hinter alldem elektrisiert die Welt zurzeit mehr denn je.

Daniel Beckmann

DAS UNDENKBARE DENKEN

Der im Deutschen beliebig wirkende Titel **Bereit für die Zukunft (Penguin)** wird dem Buch der amerikanischen Spieleentwicklerin, Autorin und Forscherin Jane McGonigal nicht gerecht. Der englische Originaltitel „Imagineable“ („Denkbar“) drückt treffender aus, was eine der einflussreichsten Zukunftsforscherinnen unserer Zeit vermitteln möchte: sich kreativ auf die Zukunft einzulassen, das Undenkbare für möglich zu halten und bereits heute eine Einstellung zu entwickeln, die einen dazu in die Lage versetzt, Potenziale zu erkennen und zu nutzen – seien es Virtual oder Augmented Reality, künstliche Intelligenz, Roboter, Raumfahrt oder Ernährungstrends. „Denkbar“ ist der Gegenpol zu „Undenkbar“. Viele Ereignisse – Pandemie, Krisen und Kriege der letzten Jahre – galten als undenkbar, prägen aber unsere Wirklichkeit bis ins kleinste Detail.

Jane McGonigal führt im Buch durch interaktive Zukunftsszenarien, deren Gedankenspiele und Simulationserfahrungen den Leserinnen und Lesern helfen sollen, eine Art Krisenschock-Resilienz aufzubauen, nämlich „Undenkbares“ schneller für möglich zu halten, rascher zu handeln und sich anzupassen. Sie zitiert den Zukunftsforscher Alvin Toffler aus den 1970er Jahren: „Beim Blick in die Zukunft sind Fantasie und Beobachtung wichtiger, als recht zu haben.“ McGonigals Prognosen bewahrheiteten sich bereits mehrfach auf erschreckende Weise. Beispielsweise entwickelte sie 2008 in „Superstruct“ ein Pandemieszenario, das zahlreiche Parallelen zur Corona-Pandemie aufweist. Auch „Evoke“ und „World Without Oil“ beschäftigen sich mit Problemszenarien in der realen Welt.

Während der erste Teil des Buchs Perspektiven und Spiele von Zukunftsforschenden aufführt, bietet der zweite Teil Techniken an, mit deren Hilfe das Undenkbare gedacht werden kann. Im dritten Teil entwirft McGonigal eine zehntägige Simulation einer möglichen Zukunft im Jahr 2033, die den Inhalt der ersten beiden Teile kombiniert. Eine gut lesbare Lektüre, die uns anleitet, die Grenzen des „Denkbaren“ neu zu setzen.

Tim Suckau



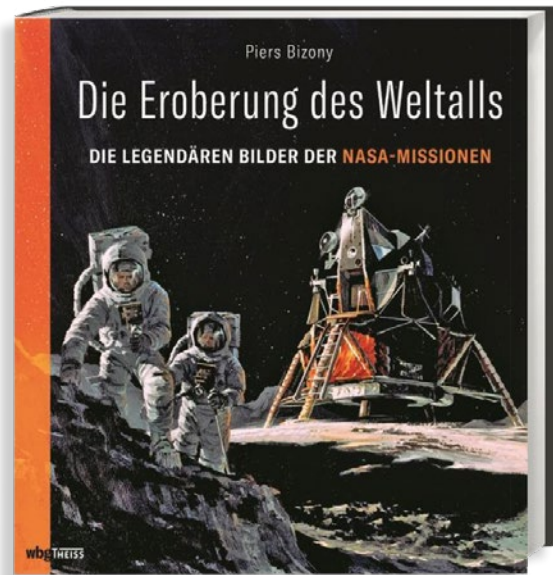
REISEFÜHRER DURCH AUSGESTORBENE WELTEN

„Reisen müssen zu Hause beginnen“, schreibt Thomas Halliday, Paläontologe, Evolutionsbiologe und Autor von **Urwelten (Hanser)** in der Einleitung seines außergewöhnlichen Werks. Sein Buch beginnt mit dem Blick aus dem Fenster auf World's End in London – wie bezeichnend. Von dort aus führt Halliday in die Vergangenheit der Erdgeschichte. Dabei reist er nicht nur durch die Zeit, sondern auch über die Welt. Von Alaska vor 20.000 Jahren, wo wir den dämmernden Morgen gemeinsam mit einer Herde Alaska-Pferde erleben, bis nach Australien, 550 Millionen Jahre zurück.

Hallidays Worte sind die Farbpalette, mit der er auf den Buchseiten ausgestorbene Welten in bunten Farben auferstehen lässt. Vor dem inneren Auge entstehen die erste Steppe des Planeten im Australien des Oligozäns vor 32 Millionen Jahren, Pinguinkolonien in der Antarktis vor 41 Millionen Jahren, in denen die kleinsten Exemplare so groß sind wie die heutigen Königspinguine – die größten erreichten eine Höhe von bis zu zwei Metern –, oder Meeresflugsaurier auf Fischfang in einem Gebiet, das wir heute, 155 Millionen Jahre später, als Schwäbische Alb kennen. Jeder Abschnitt beginnt mit einer Illustration – einem Fenster, hinter dem sich verschiedenste Szenen abspielen. Nie driftet Halliday dabei ins Reißerische ab.

Am Ende, zurück in der nahen Gegenwart, wirft Halliday einen Blick auf die vom Menschen geformte Welt. Unsere Geschichte ist zwar kürzer als ein Wimpernschlag im Vergleich zu der unseres belebten Planeten, gleichzeitig ist die Idee einer unangetasteten Erde heute absurd. Aber „Urwelten“ erzählt nicht nur von untergegangenen Zeitaltern, sondern auch davon, dass die Erde in der Lage ist, sich anzupassen. Nicht umsonst beginnt der Epilog in einer antarktischen Siedlung namens Hoffnung.

Julia Heil



VON TRÄUMEN, DIE WAHR WURDEN

Sie wirken fantastisch, verträumt und romantisieren die anspruchsvollen Jobs von Raumfahrtpionierinnen und -pionieren auf der Erde und im All. Vergleicht man historische Illustrationen mit den heutigen Aufnahmen und fotorealistischen Renderings von Raumfahrtmissionen, so wecken sie vor allem Science-Fiction-Nostalgie. Auf großformatigen Seiten präsentiert **Die Eroberung des Weltalls (wbg Theiss)** 200 teils seltene Illustrationen aus der Geschichte der NASA-Missionen. Die vielfältige Sammlung führt chronologisch technische Zeichnungen der Anfänge und Renderings der Gegenwart auf. Auch überzeichnete Visionen riesiger, perfekt geometrischer Raumschiffe und -stationen im Erdborbit, wie man sie in Perry-Rhodan-Geschichten oder frühen Star-Trek-Filmen erwarten würde, sind in dem Buch zu finden.

Der Wissenschaftsjournalist und Raumfahrtshistoriker Piers Bizony war bei seiner Recherche insbesondere auf private Sammlungen angewiesen. Denn die bunten Darstellungen dienten nicht nur der Illustration von Ideen, sondern auch als PR-Mittel für die NASA sowie amerikanische Luft- und Raumfahrtunternehmen. Einmal in Zeitungen oder Magazinen abgedruckt, hatten die meisten Originale ausgedient und wurden entsorgt. Dabei beschreibt Bizony sie in seinem Vorwort schützend als Hilfsmittel für den Traum von zukünftigen Missionen. Auch wenn sich Vision und Realität oft stark unterschieden, zeigen die Bilder eindrucksvoll und emotional Entdeckungsdrang und Ideenreichtum. Bereits 1905 schrieb der Raketenforscher Konstantin Ziolkowski dazu treffend: „Zuerst kommt zwangsläufig die Idee, die Fantasie, das Märchen. Dann die wissenschaftliche Berechnung. Am Ende wird der Traum wahr.“

Daniel Beckmann

HOCHGEEHRT, TIEF VERZWEIFELT

Das Leben ist paradox. Max Plancks Sohn Erwin sitzt in der Todeszelle. Aus der Enge schweifen seine Gedanken in die Ferne zu seiner Familie, zu seinen Freunden. Indessen plagt seinen Vater unweit von Berlin Ratlosigkeit. Wie soll er eine Huldigung an Hitler formulieren, der seinerseits gerade dabei ist, Todesurteile vollstrecken zu lassen gegen alle, die auch nur entfernt mit dem Attentat vom 20. Juli 1944 in Verbindung stehen, darunter Plancks Sohn.

Die Szenerie wechselt zum Sohn einer anderen Berühmtheit: Eduard Einstein hadert in einer Nervenheilanstalt nahe Zürich mit seinem Vater, der viel Herz für seine Freunde zeigt, aber für seinen Sohn keinen Deut Aufmerksamkeit hat. Albert Einstein und Max Planck sind befreundet. Doch ihre Wege trennen sich unter Hitlers Diktatur. Einstein geht ins Exil, Planck harrt aus. Beide durchleben im Privaten tragische Momente.

Das Buch **Planck oder Als das Licht seine Leichtigkeit verlor (rowohlt)** dokumentiert etwas mehr als ein halbes Jahr im Leben des theoretischen Physikers (1858–1947). Steffen Schroeders Roman ist kein Wissenschaftsbuch. Und doch kann es als Lehrbuch verstanden werden, über die deutsche Geschichte, über das Leben. Die letzten Weltkriegsmonate gewähren auch dem hochbetagten Nobelpreisträger keine Schonung: Gnadengesuche für seinen Sohn bleiben ungehört, die Wohnung fällt den Bomben anheim. Und doch muss es irgendwie weitergehen. Schroeders Buch lehrt uns, das Leben in seiner Widersprüchlichkeit zu sehen, das Sein hinter dem Schein wahrzunehmen. Der Roman bildet, bewegt und bleibt in lebhafter Erinnerung.

Cordula Tegen



WAS ES NICHT ALLES GAB!



Wer erinnert sich nicht an seinen ersten Flug? Selbst Jahrzehnte später haben viele das erste Flugzeug, seine Farben und das Logo der Airline noch vor Augen. So auch der Luftfahrtjournalist Andreas Spaeth, der mit seinen Eltern 1975 in einer BAC 1-11 der Germanair von Düsseldorf über Frankfurt am Main nach Malaga in den Urlaub flog. Fast 50 Jahre später stellte er sich die Frage, wer heute noch die Germanair kennt. Davon motiviert entstand sein neuestes Buch **Unvergessen – Legendäre deutsche Airlines (Motorbuchverlag)**. Es ist eine hochspannende und faktenreiche Reise in die Geschichte der (west-)deutschen Verkehrsluftfahrt. Beschrieben werden neun Fluggesellschaften, die in die Annalen eingegangen sind und die es heute nicht mehr gibt, deren Spuren man

allerdings immer noch findet. Die Spanne reicht von der Südflug, gegründet 1953, bis zur airberlin, deren Betrieb und deren Auflösung 2017 sicherlich noch viele vor Augen haben. Es sind aber nicht nur die Fakten, die beeindrucken. Spaeth zeigt auch die Entwicklungen, wirtschaftlichen Zusammenhänge und Zwänge auf, die zum Ende der Airlines geführt haben. Darüber hinaus wecken die Bilder und Illustrationen Erinnerungen: Das legendäre Schokoherz der airberlin, Flugpläne der dba, die Urkunde für eine Äquatorüberquerung, die von der Aero Lloyd an Passagiere überreicht wurde, und auch die Mode des Cockpit- und Kabinenpersonals lassen sich auf vielen situativen Bildern bewundern. Was es nicht alles gab!

Andreas Schütz

IM DSCHUNGEL, IN DER STEPPE UND AUF SEE



Von Kodiak an der Westküste Alaskas bis zum neuseeländischen Mahia – **The Atlas of Space Rocket Launch Sites** von Brian Harvey und Gurbir Singh bietet einen nahezu vollständigen Überblick über die „Weltraumbahnhöfe“ dieser Erde. Das 2022 im **Verlag DOM publishers** erschienene Buch versorgt die Leserinnen und Leser mit detaillierten geografischen und geopolitischen Informationen rund um aktuelle oder historische Startplätze, sei es an Land oder auf See, wie San Marco vor der Küste Kenias oder die mobile russische Sea-Launch-Basis im Pazifik.

In dem Nachschlagewerk sind einheitliche, detaillierte Geländepläne aller maßgeblichen Startplätze versammelt. Begleitendes Bildmaterial zeigt sowohl die Entstehung anhand historischer Archivaufnahmen als auch die Entwicklung über die Jahrzehnte und den aktuellen Stand. Einleitend beschäftigen sich die Autoren mit den Anfängen des Raumfahrtzeitalters: Peenemünde und V2, Baikonur und Sputnik, Cape Canaveral und das Apollo-Programm. Durchaus kritisch werden die rapide ansteigenden Weltraumaktivitäten der letzten Jahre – speziell die kommerziell und militärisch motivierten Missionen – sowie ihre Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft bewertet. Außer dem aus historischen Gründen interessanten Standort Peenemünde und dem von Frankreich bis zum Ende der Kolonialzeit in Algerien genutzten „Cosmodrom“ Hammaguir ist Mitteleuropa nicht vertreten. Der schwedische Startplatz Kiruna und der englische Spaceport Cornwall hätten hier durchaus mit aufgenommen werden können (Derzeit nur auf Englisch).

Michael Müller

LINKTIPPS

HALLO, WER CHATTET DA?

chat.openai.com

Die Firma OpenAI hat im November 2022 den Prototypen eines KI-basierten Chatbots veröffentlicht: Mit ChatGPT kann man natürlich wirkende Konversationen führen oder den Bot darum bitten, Sachverhalte zu erklären, Liedtexte oder sogar Code zu schreiben. Die Basis für die Antworten bilden die umfangreichen Daten, mit denen die KI trainiert wurde. Die KI selbst ist nicht mit dem Internet verbunden. Viele Anfragen funktionieren schon verblüffend gut, andere liefern eher witzige Ergebnisse – probieren Sie es selbst aus!

ENTKUPPELN BEI HOCHGESCHWINDIGKEIT

ngt.dlr.de

Dieser Kupplungsdemonstrator zeigt, was passiert, wenn Züge nicht mehr mechanisch verbunden, sondern virtuell über einen Datenlink gekuppelt werden. Beim sogenannten Slip Coaching verkehren mehrere Zugteile virtuell gekuppelt zwischen Knotenbahnhöfen. An Zwischenstationen halten nur einzelne Zugteile, während der Hauptzug mit voller Geschwindigkeit durchfahren kann. Im Demonstrator, der von drei DLR-Instituten entwickelt wurde, können sowohl virtuelles Kuppeln als auch Slip Coaching getestet werden (Englisch).

„WO LIEGT WAS?“ FÜR FORTGESCHRITTENE

geoportal.de

Das Geoportal des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie ist eine Datenbank für Nerds im besten Sinne. Hier sind Karten zu diversen Themengebieten abrufbar. Wo stehen in Deutschland Atomkraftwerke, wo nukleare Entsorgungseinrichtungen? Wie hoch sind Baulandpreise und wo liegen Bodenschätze? Zu vielen Fragen aus den Bereichen Umwelt, Landwirtschaft, Verkehr, Wirtschaft und mehr liefert das Geoportal die passenden Karten, skaliert von der Bundesebene bis hin zur kommunalen Ebene.

TAXI, TAXI

driveandlisten.herokuapp.com

Wer es genießt, in fremden Städten Taxi zu fahren, dem lokalen Radio zu lauschen und die Umgebung auf sich wirken zu lassen, wird diese Website lieben. Bei Drive and Listen hat man per Mausclick die Wahl, virtuell mit dem Taxi durch über 50 Städte rund um die Welt gefahren zu werden. Währenddessen laufen verschiedene Radiosender aus der jeweiligen Stadt. Vielleicht entdeckt man sogar die eine oder andere Kuriosität am Straßenrand. Viel Spaß und gute Fahrt!

DATEN UND FAKTEN

s.dlr.de/datenundfakten

Ohne Datensammlungen geht heutzutage nichts mehr. Meinungen, die nicht auf der Grundlage von Fakten beruhen, können mitunter Gesellschaften gefährden. In dieser Reihe stellt das DLR Informationen zu aktuellen gesellschaftlich, politisch oder wirtschaftlich relevanten Themen bereit. Die Grafiken und Texte basieren auf wissenschaftlichen Arbeiten des DLR, anderer Forschungseinrichtungen sowie von Ministerien und Behörden.