

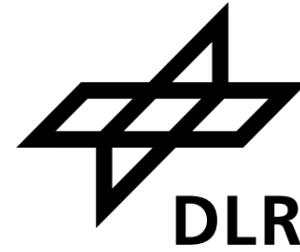
Titelbild

Es gibt viele Stellschrauben, mit denen man ein Flugzeug effizienter, leiser und klimaverträglicher machen kann. Eine wichtige ist das Triebwerk und speziell der Schubzeuger. Heutige Langstreckenmaschinen fliegen mit ummantelten Strahltriebwerken. Auf kurzen Strecken werden Propeller eingesetzt. Diese sind zwar generell effizienter, werden auf langen Strecken aber nicht genutzt. Das DLR entwickelt seit 20 Jahren innovative Antriebe. Schubzeuger wie der hier gezeigte ummantelte Propfan (CRISP) kombinieren das Beste aus beiden Welten: Sie sollen effizienter sein als Strahltriebwerke, aber dennoch leiser als Propeller.



DLRmagazin
177 online

DLRmagazin | Juni 2025



magazin

#177

Offen für
neue Antriebe

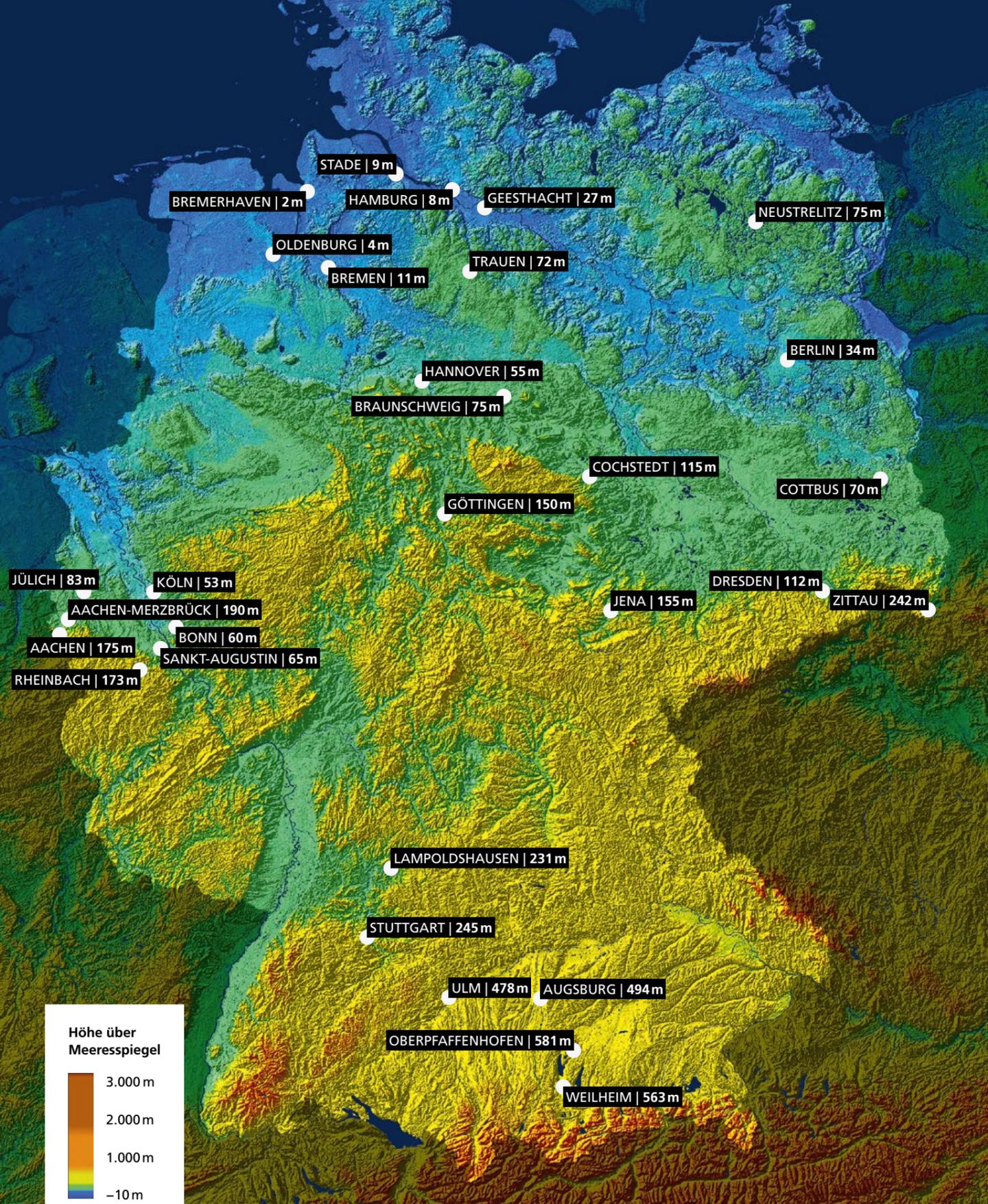
Neueste Trends
in Sachen Propeller



DLR à la carte

Unsere Standorte im Höhenmodell

(Angaben in Meter)



Auf der Höhe

Die 30 Standorte des DLR im Höhenmodell. „Spitzenreiter“ sind die Kolleginnen und Kollegen aus Oberpfaffenhofen mit 581 Meter über Meereshöhe. Die Daten stammen von den Zwillingssatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, die die Erde in rund 500 Kilometer Höhe umkreisen und deren Oberfläche mit ihren Radargeräten abtasten.



Weitere Informationen zur Mission

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 und Stefanie Huland (Redaktionsleitung), Michael Müller

Kommunikation

Linder Höhe, 51147 Köln
Telefon 02203 601-2116
E-Mail info-dlr@dlr.de
Web dlr.de
Instagram @germanaerospacecenter

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten

Datum der Drucklegung: 6. Mai 2025

Gestaltung: raufeld

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. Bei Bildern mit dem Copyright DLR sind alle Rechte vorbehalten.



Karte: DLR; Illustrationen: Martin Rummele/raufeld

Editorial

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

haben Sie uns erkannt? Nach zehn Jahren geben wir dem DLRmagazin einen neuen Look: Unsere Geschichten haben jetzt mehr Raum. An dem Gedanken, Ihnen spannende Themen des DLR zu präsentieren, halten wir fest. Nach wie vor finden Sie bei uns Interviews, Reportagen, Hintergründe und schöne Bilder aus Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit. Wie gefällt Ihnen unser neues Aussehen? Schreiben Sie uns gerne unter magazin@dlr.de.

Wir wünschen Ihnen eine gute Reise durch das Heft, die Redaktion.



Jens Berdermann
Kommissarischer Leiter des DLR-Instituts für Solar-Terrestrische Physik

„Gerade ist wieder eine Zeit erhöhter Sonnenaktivität. Wir beobachten die aktuelle Lage und liefern über unseren Weltraumwetterdienst IMPC Daten, um kritische Infrastrukturen zu schützen.“

Mehr auf Seite 24



Jessika Wichner
Leiterin des Zentralen DLR-Archivs

„In Anbetracht der markanten Aufbauten fand ich es erstaunlich, dass die Physik hinter dem Rorschiff Buckau – der Magnus-Effekt – eigentlich recht simpel ist.“

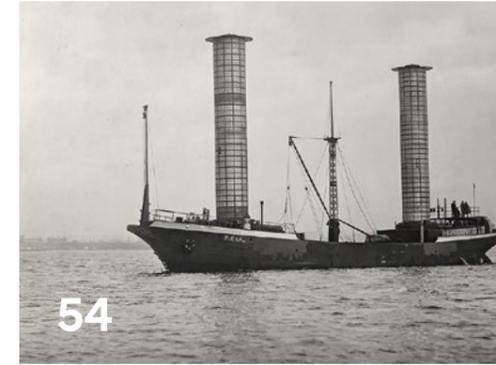
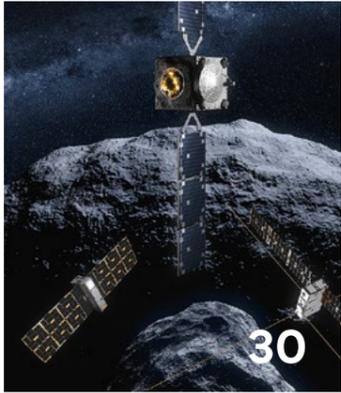
Mehr auf Seite 54



Frank Sill Torres
Leiter DLR-Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen

„Offshore-Windkraftanlagen erzeugen knapp fünf Prozent unserer Energie. Wenn sie ausfallen, hat das spürbare Auswirkungen.“

Mehr auf Seite 18

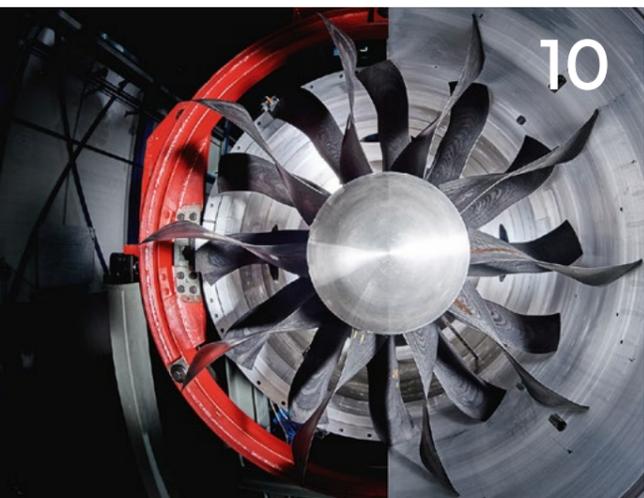


Inhalt

DLRmagazin 177

STARTEN

- 06** **Meldungen**
- 09** **Podcast**
Sina Kürtz, Online- und Medienbeauftragte in der DLR-Nachwuchsförderung
- 10** **Neueste Trends in Sachen Propeller**
Unsere Titelgeschichte zeigt vielversprechende Ansätze im Triebwerksbau



ENTDECKEN

- 16** **Infografik**
Quantenforschung – Historische Meilensteine in der Anwendung
- 18** **Offshore-Windparks**
Das DLR erforscht, wie sich abgelegene maritime Infrastrukturen schützen lassen
- 23** **Karriere**
Die wissenschaftliche Projektleiterin Gabriela Calistro Rivera
- 24** **Weltraumwetter**
In Neustrelitz beschäftigen sich DLR-Forschende mit der Vorhersage und den Auswirkungen des Sonnenwinds
- 30** **Asteroidenabwehr**
Die Mission Hera liefert neues Wissen zu kleinen, potenziell gefährlichen Asteroiden
- 35** **Projekträger**
Die passende Ladetechnik für elektrische Lkw

- 38** **ERKUNDEN**
- 40** **Einblick**
Mondstaub im Gegenlicht
- 44** **Interview**
Dr. Ulrich Herrmann über die Ergebnisse des größten europäischen Luftfahrtforschungsprogramms
- 47** **Menschen im DLR**
Dr. Sarah Barnes ist Expertin für Myonen-Tomografie
- 50** **Intelligente Flügel**
Vorausschauende Lastkontrolle spart Treibstoff und schont die Umwelt
- 50** **Vernetzte Daten**
Base-X verbindet Daten für eine nachhaltige Mobilität

LANDEN

- 52** **Museumsbesuch**
Ein Tag im Planetarium Bochum
- 54** **Aus dem Archiv**
Wie Strömungsforschung zur Erfindung eines neuen Schiffsantriebs beitrug
- 57** **Medientipps**
- 60** **Marktreif**
Die Gründerinnen von atSTAKE helfen Kommunen, ihre Mobilitätskonzepte zu verbessern
- 61** **Gute Frage**
Was macht eine 60-Meter-Antenne im All?



DLR-Roboter Rollin' Justin (rechts) und ESA-Rover Interact

Roboter weichen nachgiebig aus

OBERPFAFFENHOFEN: Der Einsatz von Robotern in menschlichen Umgebungen nimmt rasant zu. Zunehmend wichtiger wird dabei deren Nachgiebigkeit. Diese Fähigkeit, sich flexibel an die Gegebenheiten anzupassen, macht den Unterschied aus zwischen einem reibungslosen Einsatz und möglichen Gefahren wie Zusammenstößen mit Menschen. Am DLR-Institut für Robotik und Mechatronik wurde ein Ansatz entwickelt, bei dem die Roboter nachgiebig ausweichen, ohne sich wie eine Feder in den Ausgangszustand zurückzubewegen. So ähnelt ihr Verhalten mehr dem von Menschen, wenn gemeinsame praktische Aufgaben erledigt werden sollen. Das erhöht die Sicherheit und Effektivität von Robotern und kann deren Integration in den Alltag beschleunigen.

Neue Sensoren

UEDEM: Das deutsche Weltraumlagezentrum erhält bis 2027 neue Sensoren, um Weltraumschrott zu verfolgen und hochgenau zu vermessen. Mit den Daten entsteht ein Lagebild des erdnahen Weltraums, auf dessen Basis im drohenden Kollisionsfall Entscheidungen getroffen werden können. Das Weltraumlagezentrum wird von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR und dem Weltraumkommando der Bundeswehr betrieben.

„Blue Ghost“ liefert Daten über den Mond

Die Mission war zwei Wochen lang im Mare Crisium aktiv

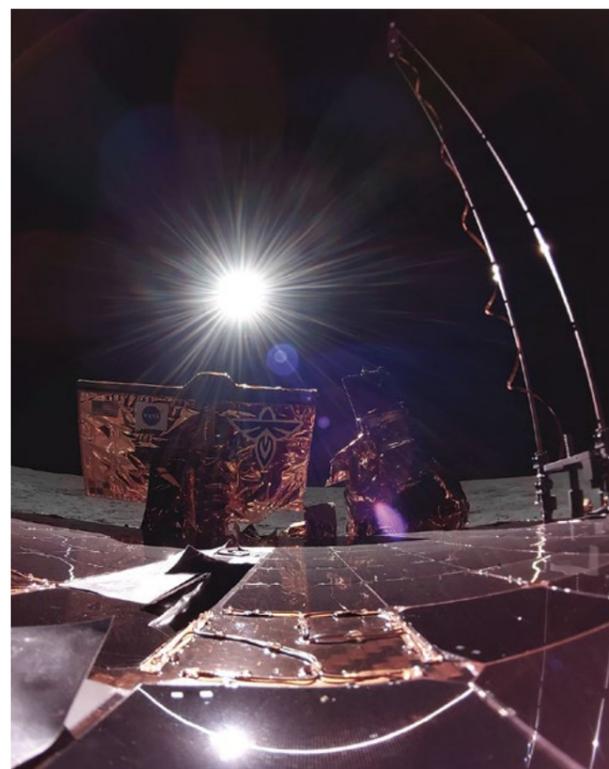
Zwei Wochen lang sammelte die Raumsonde Blue Ghost Daten auf dem Mond. Die Mission des privaten New-Space-Unternehmens Firefly Aerospace ist Teil der NASA-Initiative „Commercial Lunar Payload Services“ (CLPS). Blue Ghost landete am 2. März 2025 vollkommen autonom im Mare Crisium, einem mit erstarrter Lava gefülltem Einschlagsbecken im Nordosten der Mondvorderseite.

Instrumente arbeiteten erfolgreich

An Bord hatte die Sonde zehn wissenschaftliche und technische Instrumente, die alle erfolgreich aktiviert wurden. Das DLR ist an dem Experiment LISTER (Lunar Instrumentation for Sub-surface Thermal Exploration with Rapidity) beteiligt. LISTER untersuchte den Wärmefluss aus dem Mondinneren. Die Elektronik zur Temperatur- und Wärmeleitfähig-

keitsmessung basiert auf dem für die NASA-Marsmission InSight entwickelten DLR-Experiment „Heat Flow and Physical Properties Package“ HP³.

Am 14. März nahm Fireflys Blue Ghost Bilder einer totalen Sonnenfinsternis auf, als sich die Erde vor die Sonne schob und sie verdeckte. Die Sonde lieferte auch Daten darüber, wie der Mondstaub im Gegenlicht der untergehenden Sonne das Leuchten des Mondhorizonts erzeugt. Weiterhin untersuchte Blue Ghost den feinen, elektrostatisch aufgeladenen Mondstaub, den Regolith. Während der gesamten Mission übermittelte Blue Ghost insgesamt 119 Gigabyte an Daten zur Erde, darunter 51 Gigabyte an wissenschaftlichen und technischen Messwerten. Aktuell werden die Messungen ausgewertet. Sie kommen der Mondforschung im Allgemeinen sowie zukünftigen Mondmissionen zugute.



Blue Ghosts erster Blick auf die Sonnenfinsternis am 14. März. Der glühende Lichtring in der Reflexion des Solarpanels (unten) zeigt, wie die Erde beginnt, die Sonne zu verdecken.

Grundstoffe mit Sonnenenergie

KÖLN: Viele chemische Grundstoffe für die Produktion von Kunststoffen, Kraftstoffen oder Düngemitteln werden bisher aus Erdöl und Erdgas hergestellt. Im EU-Projekt FlowPhotoChem hat das DLR-Institut für Future Fuels gemeinsam mit Beteiligten aus Industrie und Forschung eine Demonstrationsanlage aufgebaut und getestet, die den Grundstoff Ethylen klimaverträglicher produzieren kann: Drei miteinander verbundene Module erzeugen mithilfe von konzentrierter Solarstrahlung aus Wasser und Kohlenstoffdioxid Ethylen.



Bestrahlung der FlowPhotoChem-Reaktoren im Hochleistungsstrahler des DLR in Köln.

17

DLR_School_Labs gibt es inzwischen, in denen junge Menschen selbst forschen können. Das jüngste eröffnete am 15. Mai in Zittau. Auf dem Programm stehen Experimente zu nachhaltigen Energien, modernen Werkstoffen, industriellen Prozessen und Umweltforschung.

Bilder: Firefly Aerospace (S. 06 unten); Getty/MelkImages (S. 07 rechts)



Eine DLR-Studie untersuchte die Rahmenbedingungen des Luftverkehrs in Deutschland im europäischen Vergleich.

Luftverkehr in Deutschland erholt sich langsamer

DLR-Studie zu den Standortkosten

Im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr erstellte das DLR ein umfassendes Gutachten zu den Standortkosten im deutschen Luftverkehr, das im März 2025 veröffentlicht wurde. Die Untersuchung des DLR-Instituts für Luftverkehr analysiert die Rahmenbedingungen des Luftverkehrs in Deutschland im europäischen Vergleich und benennt mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit. Das Gutachten zeigt, dass sich der Luftverkehr in Deutschland langsamer erholt als in anderen europäischen Ländern. Während das Passagieraufkommen in Deutschland im Jahr 2024 bei rund 80 Prozent des Vorkrisenniveaus lag, haben viele europäische Länder ihr Vor-Corona-Niveau nahezu vollständig wieder erreicht.

Mehrere Einflussfaktoren

Ein Faktor für diese Entwicklung sind die Standortkosten wie Steu-

ern, Gebühren und Flughafenentgelte. Sie fallen im europäischen Vergleich in Deutschland, aber auch den Niederlanden, Großbritannien und Österreich besonders hoch aus. In Deutschland sind sie zudem zwischen 2019 und 2024 um 38 Prozent gestiegen – der europäische Durchschnitt liegt bei 26 Prozent. Laut der Studie sind allerdings nicht nur diese hohen Standortkosten für die langsamere Erholung verantwortlich. Einen wichtigen Einfluss hat auch die schwache wirtschaftliche Entwicklung. Weiterhin sind geänderte Reisegewohnheiten – besonders die verstärkte Nutzung der Bahn für innerdeutsche Reisen – sowie strukturelle Veränderungen im Luftverkehrsmarkt, wie eine innerdeutsche Konsolidierung, zu beobachten. Hinzu kommen geopolitische Faktoren wie Luftraumsperrungen im Zusammenhang mit dem Krieg in der Ukraine sowie Engpässe durch Fachkräftemangel und verzögerte Flugzeugauslieferungen.

Auftrag für Forschungsschiff

GEESTHACHT: Das DLR hat die Lloyd Werft mit dem Bau eines neuen Forschungsschiffs beauftragt. Das Hochseeschiff wird 48 Meter lang und 11 Meter breit sein, mit einem Tiefgang von 3,2 Metern. Erforscht werden Technologien für eine kohlenstoffarme, klimaverträgliche Schifffahrt auf Basis von wasserstoffbasierten Treibstoffen und Batterien.

Lösungen für die letzte Meile

BRAUNSCHWEIG: Mit insgesamt 35 Millionen Euro fördert das Bundesministerium für Digitales und Verkehr das Projekt „Innovative modulare Mobilität Made in Germany“ (IMoGer) unter Leitung des DLR. Es zielt darauf ab, mittels modularer Elektrofahrzeuge sowohl den öffentlichen Personennahverkehr als auch Pakettransporte zu verbinden. Der ganzheitliche Mobilitätsansatz liefert Lösungen für die sogenannte „letzte Meile“. Mit einer kleinen Testflotte aus mehreren U-Shifts – automatisierten modularen Fahrzeugen, die im DLR entwickelt wurden – soll das Konzept in Braunschweig erprobt werden.

08



IMoGer-Visualisierung mit zwei U-Shift-Fahrzeugen



Europäische Spitzenforschung unter deutschem Vorsitz

GARTEUR vernetzt die internationale Luftfahrt-Forschung

Deutschland hat aktuell den zweijährigen Vorsitz für das internationale Luftfahrtforschungsnetzwerk GARTEUR (Group for Aeronautical Research and Technology in Europe) inne. Es ist auf europäischer Ebene das älteste Forschungsnetzwerk der führenden europäischen Luftfahrtorganisationen und eine unabhängige Organisation für die wissenschaftliche Zusammenarbeit in Europa im Bereich der zivilen und militärischen Luftfahrtforschung. „Auf ziviler und militärischer Ebene bietet das Netzwerk die Chance, Synergien zu heben“, sagt Jan Bode, Leiter des Projektträgers Luftfahrtforschung und aktuell Vorsitzender des Councils.

Ziele des Netzwerks

Ziele des deutschen Vorsitzes sind insbesondere Maßnahmen, um die in GARTEUR vorhandenen internationalen Expertisen in die luftfahrtbezogene Forschungsgemeinschaft sowie internationale Gremien einzubringen. Ein erstes erreichtes Zwischenziel ist

die Kooperation mit dem ICAS (International Council of the Aeronautical Sciences).

Der Projektträger Luftfahrtforschung nimmt in diesem Rahmen auch die Verwaltung des GARTEUR-Sekretariats wahr und ist für den Zeitraum des Vorsitzes der zentrale Ansprechpartner der Forschungsgruppen sowie verantwortlich für die Koordinierung, Verfolgung und Bewertung der Forschungsaktivitäten der Forschungsgruppen.



Der Projektträger Luftfahrtforschung koordiniert die Forschungsaktivitäten im GARTEUR-Netzwerk.

Bild: Max_Leitmeier_Schwarzbild (oben)

Die Edutainerin

„Ich möchte nur Dinge präsentieren, die ich auch selber cool finde. Ich glaube, das ist die Grundvoraussetzung, wenn man Wissen vermittelt ... irgendwas, das in einem brennt, für das man eine Leidenschaft hat, wo man eine Flamme sieht, dann kriegt man das am besten rüber!“

Sina Kürtz, Online- und Medienbeauftragte der DLR-Nachwuchsförderung

09



Der Podcast FORSCHtelligsgespräch ist zu hören auf dlr.de/podcast und allen gängigen Streaming-Plattformen. Als Video ist er auch auf YouTube und Spotify verfügbar.



Bild: Bolzphotography

Das DLR forscht an leistungsstarken Schuberzeugern, wie dem hier gezeigten ummantelten Propfan (CRISP), der eine Kombination aus Mantelstromtriebwerk und Propeller ist. Das auf den folgenden Seiten vorgestellte Open-Fan-Triebwerk ist ein weiterer Schritt Richtung hocheffizienter Antriebe.

Offen für neue Antriebe

Neueste Trends in Sachen Propeller

von Michael Müller

Eigentlich entstand die Idee schon in den 1940er Jahren: offene gegenläufige Rotoren zum Antrieb von Flugzeugen. Im Fokus standen die Verbesserung der Treibstoffeffizienz sowie die Ausdauer von Langstreckenbombern und Seeüberwachungsflugzeugen. In der Ölkrise der 1970er Jahre gewann die Idee neue Relevanz. Der GE36 von General Electric war 1989 der erste Demonstrator mit zwei gegenläufig drehenden Rotoren, der in ein Forschungsflugzeug integriert und in der Luft getestet wurde. Als die Ölkrise endete, schiefen Projekte wie dieses jedoch ein. Der Standard blieb unverändert: auf der Kurzstrecke Propellermaschinen, auf der Langstrecke ummantelte Turbinen-Strahltriebwerke. Offene Rotoren sind in der Luftfahrt bislang nicht im Einsatz – noch nicht, denn unabhängig von wirtschaftlichen Auf- und Abschwüngen beschäftigen sich verschiedene DLR-Institute seit ungefähr 20 Jahren mit neuen Ansätzen im Triebwerksbau – vom Contra-Rotating Open Rotor (CROR) bis hin zu Rotor-Stator-Kombinationen.

Das große Ziel

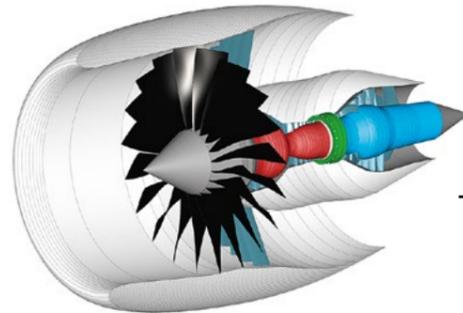
Heute ist die Vorgabe politischer Natur: weniger Klimawirkung durch Effizienzsteigerung in der Luftfahrt. Im Forschungs- und Innovationsprogramm „Clean Aviation Joint Undertaking“ der Europäischen Union ist unter anderem festgeschrieben, dass die Antriebseffizienz in den kommenden 25 Jahren um mindestens 30 Prozent gegenüber 2020 steigen soll. Einen Weg, um dies zu schaffen, sehen Forschende in der Weiterentwicklung des Triebwerks. Und hier kommt das vermeintlich ad acta gelegte Konzept des offenen gegenläufigen Rotors wieder zum Zuge. Die Technologie ist besonders für den Einsatz in Mittelstreckenjets interessant.

Das DLR-Institut für Antriebstechnik in Köln und das für Aerodynamik und Strömungstechnik in Braunschweig forschen in verschiedenen Projekten an offenen Rotoren, sowohl an klassischen Propellern (Turboprops) als auch an gegenläufigen offenen Konzepten (Open-Fans). Auch ummantelte Konzepte (Turbofans) nehmen sie in den Blick.

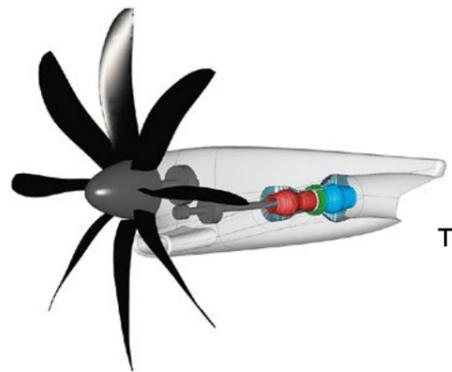
Offen versus ummantelt

Die Lage ist komplex: Unterschiedliche Triebwerke kommen in verschiedenen Fluggeräten zum Einsatz – wer eine Effizienzsteigerung erreichen möchte, wird mit einer pauschalen Lösung nicht weit kommen. Für kurze Strecken und eine Passagierobergrenze von 50 sind Propellermaschinen das Mittel der Wahl. Sie fliegen mit ungefähr 500 Kilometern pro Stunde. Geht es um längere Strecken, auf denen die Passagiere mehr Platz haben, muss das Flugzeug schneller fliegen. So erreicht ein A320, der für circa 180 Personen ausgelegt ist, im

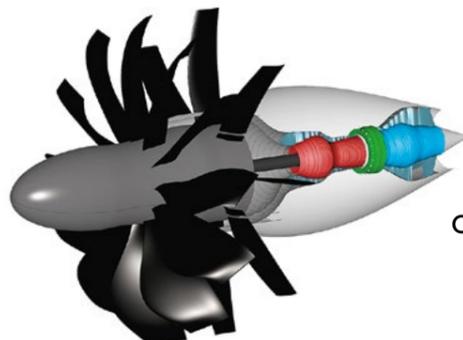
Triebwerke – Was ist was?



Turbofan



Turboprop



Open-Fan

- Schuberzeuger
- Verdichter
- Brennkammer
- Turbine

Heutige Mittelstrecken- und Langstreckenflugzeuge fliegen mit ummantelten Strahltriebwerken (Turbofans). Auf Kurzstrecken finden sich auch klassische Propeller (Turboprops). Gegenläufige, offene Antriebe (Open-Fans) sind noch nicht im Einsatz.



„Der Rotor muss trotz stark variierender Windlasten immer stabil arbeiten.“

Carola Rovira Sala,
DLR-Institut für Antriebstechnik

Von links:
Dr. Rainer Schnell,
Dr. Christian Frey
und Carola Rovira
Sala vom DLR-Institut für Antriebs-
technik mit einem
3D-Modell des
Open-Fans

Reiseflug typischerweise eine Geschwindigkeit von 750 Kilometern pro Stunde. Konventionelle Propeller (Turboprops) können dies nicht leisten. Obwohl sie generell effizienter sind, verlieren sie bei hohen Geschwindigkeiten deutlich an Vortriebseffizienz.

Deshalb werden für Mittel- und Langstrecken ummantelte Strahltriebwerke (Turbofans) verwendet. Turboprops müssten größer sein, um diese Strecken zu schaffen – viel größer. Um einen Schub zu erzeugen wie den eines A320-Mantelstrom-Triebwerks mit zwei Metern Durchmesser, müsste ein konventioneller Propeller theoretisch so groß sein, dass er weder unter noch auf die Flügel passen würde. Auch am Heck und mit dem Leitwerk ließe er sich kaum integrieren. Ein kleinerer Propeller müsste sich viel schneller drehen, um den erforderlichen Schub zu erzeugen. Doch lässt sich die Drehzahl nur begrenzt steigern, denn für die Rotorblätter ergibt sich ab einer gewissen Geschwindigkeit eine zu hohe Belastung. Dann sinkt die Effizienz und der Lärm nimmt zu.

Dilemma gelöst

Um dieses Problem zu lösen, kamen Forschende auf die Idee, die ansonsten ungenutzte Drallenergie in Schub umzuwandeln, vom Prinzip her vergleichbar mit der Umwandlung von Brems- in Antriebsenergie beim Auto. Bei dem neuen Konzept des Open-Fans wurde zur Vermeidung dieses Verlustes ein Rotor entwickelt, dessen Blätter speziell für hohe Geschwindigkeiten ausgelegt sind. Ein dem Rotor nachgeschalteter Stator wandelt die Drallenergie in Schub um. Ein solches Triebwerk wäre sogar effizienter als ein vergleichbares Mantelstromtriebwerk – auch, weil der Strömungswiderstand ohne den Mantel sinkt. Allerdings verliert auch die-

ses Konzept bei mehr als 800 Stundenkilometern durch wachsende Reibungskräfte deutlich an Effizienz. Um offene Rotoren anzutreiben, ist ein konventionelles Kerntriebwerk nötig. Dieses muss klein und gleichzeitig hocheffizient sein. Dieser Herausforderung widmet sich das DLR-Institut für Antriebstechnik.

Lärmemission und aerodynamische Integration

Im Rahmen des EU-Projekts PANDORA* entwickeln die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler in Köln unter der Leitung der Universidad Politécnica de Madrid zusammen mit Safran Aircraft Engines sowie der École Centrale de Lyon und dem Imperial College ein neuartiges Rotor-Stator-Konzept. Zunächst entwarfen sie die Struktur und Performance des Triebwerks mithilfe neuartiger und hochentwickelter numerischer Algorithmen virtuell am Computer. Im zweiten Schritt konstruieren sie

* Dieses Projekt wird von der Europäischen Union im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon Europe“ unter dem Förderkennzeichen 101096156 finanziert.

ein Modell, das sie im aeroakustischen Niedergeschwindigkeitswindkanal am DLR-Standort Braunschweig testen. Der Windkanal wird betrieben von der Stiftung Deutsch-Niederländische Windkanäle.

Herausfordernd für die Forschenden in der Antriebstechnik und der Aerodynamik sind neben der Performance vor allem die Lärmemissionen und die aerodynamische Integration. Dr. Rainer Schnell vom DLR-Institut für Antriebstechnik betont: „Ohne den Mantel fällt viel Schutz weg. Deshalb konzentriert sich unsere Forschung darauf, einen offenen Rotor so auszulegen, dass er in jeder Flugsituation auch strukturell stabil bleibt. Darüber hinaus soll er nicht mehr Lärm abstrahlen als heutige Rotoren und gleichzeitig im langen Reiseflug einen hohen Wirkungsgrad erzielen.“

Dabei müssen die Forschenden viele Vorgaben im Blick behalten, die wichtig sind, um das Triebwerk durch Zulassungsbehörden zertifizieren lassen zu können: Auf Ebene der Rotorblätter etwa müssen aus Stabilitätsgründen bestimmte Dicken eingehalten werden. Dies geht zulasten des Wirkungsgrades. Des Weiteren ist die Struktur des Rotors in verschiedenen Flugphasen ein großes Thema. Dazu Carola Rovira Sala vom DLR-Institut für Antriebstechnik: „Beim Start beträgt der Anstellwinkel – also der Winkel, in dem die Luft das Triebwerk anströmt – bis zu 20 Grad. Der Rotor muss trotz stark variierender Windlasten immer stabil arbeiten.“

Individuell verstellbare Statorblätter

Gerade bei Antrieben mit offenen Rotoren oder auch Propellern ist es essenziell, die Effekte, die neue Installationen hervorrufen, umfassend zu

berücksichtigen. Dann lässt sich ein vielversprechendes Triebwerk optimal in das Gesamtsystem aus Flugzeugzelle und Antrieb integrieren. Zusammen mit Airbus und Safran erforschte das DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik im Rahmen des europäischen Forschungsprogramms Clean Sky 2, wie sich die Integration verschiedener Open-Rotor-Konzepte auf die Umströmung der Flügel und die Aufhängung – insbesondere den Auftrieb und den Strömungswiderstand – auswirkt. Dazu betrachteten die Forschenden das Verhalten des Triebwerks zunächst isoliert und danach bei verschiedenen Anstellwinkeln. Mit einer speziellen Strömungssoftware analysierten sie zuerst die Aerodynamik des kompletten, nicht-angetriebenen Flugzeugentwurfs am Computer. Anschließend wurden Triebwerksgondeln – zunächst ohne, dann mit Rotorblättern und mit Schub – unter den virtuellen Tragflächen addiert.

Untersuchungen der Stator-Umströmung zeigten, dass hohe Anstellwinkel die aerodynamische Leistung einiger Statorschaufeln beeinflussen. Das kann sich auf die Effizienz des gesamten Motors auswirken und zu Vibrationen und Lärm führen. Diese Erkenntnis motivierte Dr. Arne Stürmer und sein Team aus dem DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, das Stator-Setup des Open-Fan-Antriebs umzudenken. Statt der ursprünglichen Idee, dass jeder Stator einen identischen Einstellwinkel hat, untersuchen sie nun ein Konzept, bei dem jeder Stator einen eigenen Einstellwinkel bekommt, um die ungünstige Aerodynamik bei hohen Anstellwinkeln zu vermeiden und die Effizienz des Antriebssystems zu verbessern. Das Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, bei der Entwicklung und Analyse von neuartigen Flugzeugen und Antrieben frühzeitig mit Simulationen zu arbeiten. So lassen

sich aerodynamische Probleme rasch erkennen und entsprechende Lösungen erarbeiten.

Kompromiss als Schlüssel zum Erfolg

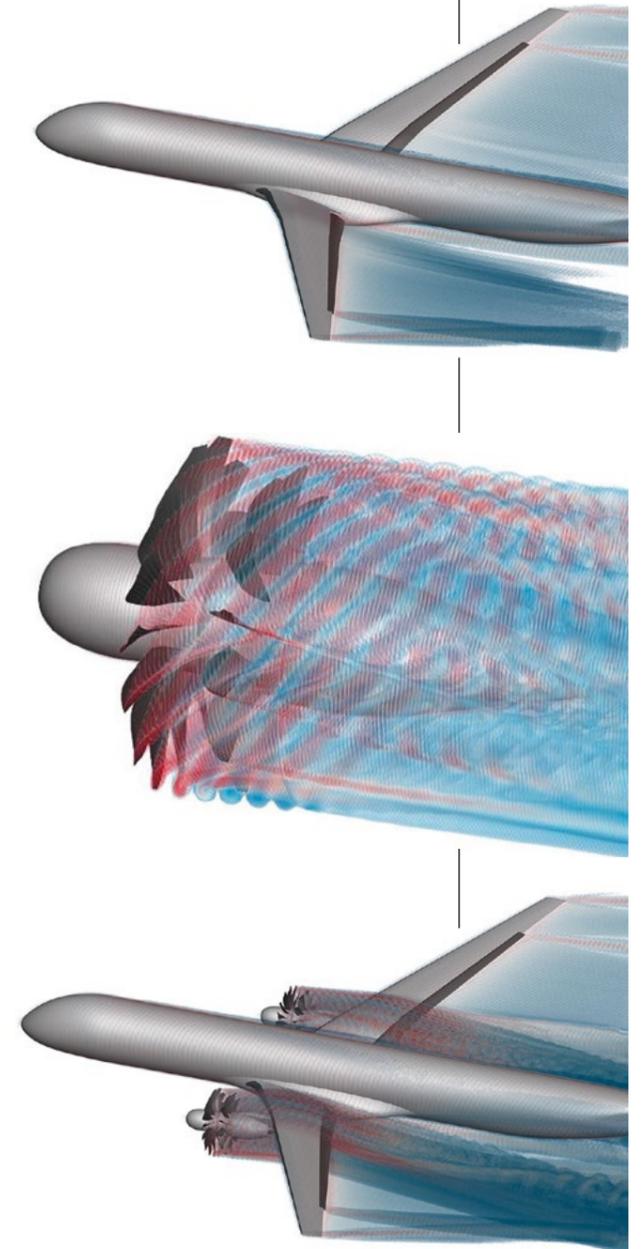
Sowohl bei einem Open-Fan-Triebwerk als auch bei propellergetriebenen Flugzeugen ist die Drehrichtung des Rotors eine wichtige Designentscheidung. In einer für Triebwerk-Hersteller idealen Welt säße auf jedem der beiden Flugzeugflügel ein Triebwerk, bei dem sich die Rotoren in dieselbe Richtung drehen. Der Vorteil: Man muss nicht für zwei verschiedenartige Triebwerke die Zulassung beantragen. Ein symmetrisches Design, bei dem sich die Rotoren an jedem Flügel in entgegengesetzter Richtung drehen, ist aerodynamisch und flugregelungstechnisch zwar einfacher und besser, in der Regel in vielen Aspekten aber auch teurer, denn es müssen separate Ersatzteile wie Rotorblätter für das linke und das rechte Triebwerk vorrätig gehalten werden. Theoretisch könnte der Stator den Drall vollständig auffangen und damit die Auswirkung der Rotordrehung auf den Flügel verhindern. Hierzu sind entsprechende Studien zum Stator-Design notwendig.

Dr. Stürmer bilanziert für die komplexe Aufgabe der Antriebsintegration: „Es ist gerade bei offenen Rotoren fast immer so: Die Positionierung, in welcher der Antrieb eines neuartigen Flugzeugentwurfs am effizientesten ist, ist nicht die, in der die Flugzeugzelle am effizientesten ist. Alle Beteiligten müssen daher gemeinsam den Kompromiss finden, der für das Gesamtsystem am besten ist.“

Theorie und Praxis

Wenn es um die nächsten Schritte hin zur praktischen Demonstration eines offenen Rotor-Stator-Entwurfs geht, sind sich die DLR-Expertinnen und -Experten einig: Simulationen am Rechner allein – so ausgereift sie auch sein mögen – reichen nicht; benötigt werden realitätsnahe Tests. Letztes Jahr wurden in einem Kooperationsprojekt von Airbus und Safran erfolgreiche Windkanalversuche durchgeführt. Diese waren ein wichtiger erster Schritt bei der Entwicklung eines nächsten Passagierflugzeugs, das bereits mit einem offenen Rotor ausgestattet sein könnte. Ende 2025 startet ein weiteres Kooperationsprojekt mit Airbus, dessen Schwerpunkt auf der geräuscharmen und effizienten Integration eines Open-Fans in ein Flugzeug liegt. Damit wird das Open-Fan-Konzept vom Rechner in den Windkanal getragen.

Michael Müller ist Redakteur in der DLR-Kommunikation. Seit seiner Kindheit, als er das Space Shuttle auf dem Rücken einer Boeing 747 am Flughafen Köln/Bonn sah, begeistern ihn Forschung und Entwicklung in Luft- und Raumfahrt.



Numerische Strömungssimulationen sind ein wichtiges Werkzeug für die Integration des Triebwerks. Wenn man ein widerstandsarmes Flugzeug mit einem hocheffizienten Open-Fan kombiniert, ergibt sich aufgrund der komplexen Wechselwirkungen nicht automatisch ein gutes Verkehrsflugzeug.



Blick in den Niedergeschwindigkeitswindkanal in Braunschweig

Die Grenzen des Wissens sprengen

2025 ist das internationale Jahr der Quantenwissenschaft und Quantentechnologien der Vereinten Nationen. Eine Zeitreise zeigt, wo sich historische Meilensteine der Quantenphysik heute in der DLR-Forschung wiederfinden.

1994

PETER SHOR STELLT SEINEN QUANTENALGORITHMUS VOR

Die Sicherheit klassischer Datenverschlüsselung beruht auf der Mühsamkeit, die Zahlengrößen in ihre Primfaktoren zu zerlegen. Der Shor-Algorithmus schafft dies sehr effizient in kurzer Zeit durch Überlagerung und Verschränkung von Quantenzuständen.

HEUTE: MIT QUANTEN SCHNELLER ZUM ERGEBNIS

Das DLR untersucht zusammen mit der Industrie praxisnahe Anwendungen für Quantencomputer. Dazu zählen beispielsweise die Optimierung von Flugrouten, Einsatzplanung oder das Stromungsverhalten von Flugzeugen. Weitere Einsatzfelder sind die Sektoren Energie, Verkehr und vernetzte Mobilität oder auch Erdbeobachtung und Materialforschung.

1987

RICHARD P. FEYNMAN DENKT AN QUANTENCOMPUTER

Klassische Bits können sie nicht nur die Werte 0 und 1 annehmen, sondern auch alle Zwischenwerte. Die Rechenschritte von Quantencomputern sind durch Überlagerung und Verschränkung von Qubits um Aufgaben zu lösen, an denen klassische Computer scheitern.

HEUTE: VOM PROTOTYP BIS ZUR APP

Quantencomputer bieten enorme Chancen für Wirtschaft, Industrie und Forschung, denn sie können gewaltige Datenmengen oder komplexe Simulationen verarbeiten. Das DLR treibt in der Quantencomputing-Initiative (DLR QCI) die Industrialisierung von Quantencomputern voran und identifiziert praxisnahe Anwendungen.

1960

THEODORE MAIMAN BAUT DEN ERSTEN LASER

Ein Laser erzeugt einen Lichtstrahl mit einer definierten Wellenlänge. Er besteht aus einem laseraktiven Medium, einem Resonator und einer Energiequelle. Diese regt die Atome im Medium zum Leuchten an. Der Resonator spiegelt das Licht immer wieder in das Lasermedium zurück. Trifft das Licht auf Atome im angeregten Zustand, senden diese ihrerseits Licht in dieselbe Richtung aus – dadurch entsteht der gebündelte, hochintensive Laserstrahl.

HEUTE: OPTISCHE UHREN SETZEN NEUE ZEITSTANDARDS

Das DLR entwickelt und erprobt weltraumtaugliche Laseruhren für die zentimetergenaue Satellitennavigation und -kommunikation. Außerdem entwickeln DLR-Institute Laserinterferometer, mit denen sich Abstände von Satelliten bis auf wenige Milliardenstel Millimeter genau bestimmen lassen.

1935

EINSTEIN-PODOLSKY-ROSEN-PARADOXON – SPUKHAFTE FERNWIRKUNG

Das EPR-Paradoxon zeigt, dass zwei verschränkte Quantenobjekte sich so überlagern und verbinden lassen, dass der Zustand des Gesamtsystems sich nicht mehr als Kombination zweier einzelner Quantenobjekte beschreiben lässt. Es verhält sich wie ein einzelnes Objekt. Eine Messung an einem Teilchen legt unmittelbar den Zustand des zweiten Teilchens fest.

HEUTE: DAS PARADOXE IM QUANTENCOMPUTING UND IN DER QUANTENKOMMUNIKATION

Die quantenmechanische Verschränkung ist die Grundlage für die hohe Leistungsfähigkeit von Quantencomputern. Bei der abhörsicheren Übermittlung von Daten in der Quantenkommunikation können nicht kopiert werden. Das DLR forscht in den Bereichen zum Lesen der codierten Information. Quantenzustände können in einem Quanteninternet. Außerdem entwickelt das DLR laserbasierte Send- und Empfangsterminals für die Quantenkommunikation sowie Quantenspeicher.

1925

GOUDSMIT, UHLENBECK UND PAULI – DER SPIN DES ELEKTRONS

Der Spin ist eine grundlegende Quanteneigenschaft aller Elementarteilchen. Mathematisch gleichen Spins einer mechanischen Drehbewegung, jedoch ohne bewegte Masse. Sie sind die Ursache des Magnetismus. Mit ihnen lassen sich der Schalenaufbau der Elektronenhülle von Atomen, ihre Spektren sowie die makroskopischen Eigenschaften von Materie erklären.

HEUTE: SENSOREN UND COMPUTER MIT SPINS

Das DLR forscht an Quantensensoren für elektrische und magnetische Felder auf Basis von Spins. Die Sensoren sind so feinfühlig, dass sie das Erdmagnetfeld im Weltall messen können. Einige Spins können auch als Informationsträger hochgenau detektieren und werden, als sogenannte Qubits, in Quantencomputern verwendet.

1905

ALBERT EINSTEIN ERKLÄRT DEN PHOTOEFFEKT

Die Sicherheit klassischer Datenverschlüsselung beruht auf der Mühsamkeit, die Zahlengrößen in ihre Primfaktoren zu zerlegen. Der Shor-Algorithmus schafft dies sehr effizient in kurzer Zeit durch Überlagerung und Verschränkung von Quantenzuständen.

HEUTE: VOM PHOTOEFFEKT ZUM BILD

Das DLR entwickelt hochspezialisierte, multispektrale Kameras und Hochgeschwindigkeitselektronik für die vernetzte Mobilität, Kommunikation und Navigation, Klima- und Katastrophenschutz sowie Raumfahrtmissionen wie die High-Resolution-Stereo-Kamera an Bord der Sonde Mars Express.

1924

LOUIS DE BROGLIES MATERIEWELLEN UND DER WELLE-TEILCHEN-DUALISMUS

Auch Materie hat Welleneigenschaften – dies zeigt sich auf atomarer Ebene. Wellen breiten sich im Raum aus und sind gleichzeitig an mehreren Stellen messbar. Teilchen können zu einem Zeitpunkt nur an einem bestimmten Ort sein. Quantenobjekte haben Wellen- und Teilchencharakter. Sie besitzen einen Impuls und eine Wellenlänge.

HEUTE: MATERIEWELLEN BLICKEN INS INNERE NEUER WERKSTOFFE

Das DLR arbeitet mit Beugung von Materiewellen auf die Eigenschaften von nur wenige Atomlagen dünnen Membranen, beispielsweise für hochkompakte Elektronikbauteile.

1924

DAS BOSE-EINSTEIN-KONDENSAT

Ein Bose-Einstein-Kondensat ist ein Aggregatzustand eines ultrakalten Gases aus sogenannten Bosonen mit ganzzahligem Spin. Wenige Millionenstel Kelvin über dem absoluten Nullpunkt sind die Atome alle im gleichen Quantenzustand über Gaswolke verteilt. Der experimentelle Nachweis gelang zum ersten Mal 1995.

HEUTE: KALTE ATOME FÜR SENSOREN UND KOMMUNIKATION

DLR und NASA planen, die Experimentierplattform BECCAL (Bose-Einstein-Condensate Cold Atom Laboratory) zur Internationalen Raumstation ISS zu schicken. Forschende weltweit können dann nutzen. Das Ziel ist, diese beispielsweise in Mikrogravitation experimenten zu nutzen. Die Anwendungen reichen von der Erdbeobachtung bis zur Überprüfung fundamentaler Theorien wie der Allgemeinen Relativitätstheorie.

Angelehnt an Max Plancks Lichtquantenhypothese entwickelt Einstein seine Theorie: Beim photoelektrischen Effekt löst Licht Elektronen aus Metall heraus. Dies zeigt, dass Licht zusätzlich zu seinem Verhalten als Welle auch die Eigenschaften von Teilchen haben muss.

Moderne Kameras beruhen auf einem inneren Photoeffekt. Das Bild wird in ein elektrisches Signal umgewandelt. Das DLR entwickelt hochspezialisierte, multispektrale Kameras und Hochgeschwindigkeitselektronik für die vernetzte Mobilität, Kommunikation und Navigation, Klima- und Katastrophenschutz sowie Raumfahrtmissionen wie die High-Resolution-Stereo-Kamera an Bord der Sonde Mars Express.



Sicher auf See

Das DLR erforscht, wie sich Offshore-Windparks
gegen Angriffe schützen lassen

von Denise Nüssle

Bild: Dotir/Mathias Ibelor

Sie heißen Alpha Ventus, Amrumbank West, Albatros oder Wikingen – weit weg von der nächsten Küste erzeugen die Offshore-Windparks im steifen Meereswind der Nord- und Ostsee zuverlässig Strom. Menschen kommen bei ihnen nur für Service, Wartung und Sicherheitschecks vorbei – per Schiff oder Helikopter. Ein Team des DLR-Instituts für den Schutz maritimer Infrastrukturen baut Wissen und Technologie auf, wie sich diese Anlagen besser gegen Bedrohungen wappnen können. Damit sind sie Vorreiter auf einem Feld, das aufgrund aktueller Ereignisse mehr in den Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit rückt.

Massiver Ausbau geplant

Im Sommer 2024 hatten die rund 30 deutschen Windparks eine Leistung von fast neun Gigawatt – so viel wie ein halbes Dutzend Kernkraftwerke mittlerer Größe. Sie produzieren zwischen vier und fünf Prozent der deutschen Energieleistung. In Deutschland und Europa ist ein ambitionierter Ausbau der Offshore-Windenergie geplant. Denn wir werden mehr Strom benötigen: für die Elektromobilität, den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft sowie den klimaverträglichen Umbau des Industrie- und Wärmesektors. Windkraft ist dafür eine vielversprechende Option: Denn sie nutzt erneuerbare Ressourcen und ermöglicht es, unabhängiger von Importen zu werden. Zudem zählt die Nordsee zu den windreichsten Gewässern der Welt. Folglich soll national die Leistung der Offshore-Windkraft bis 2030 verdreifacht und bis 2045 versiebenfacht werden. Dies würde dann mehr als 25 Prozent der deutschen Energieleistung entsprechen.

Kritische Infrastruktur und Sicherheitslage

Neben den mitunter milliardenschweren Investitionskosten zählen die Anlagen auch zur sogenannten kritischen Infrastruktur: „Offshore-Windparks sind weit weg. Man sieht sie nicht und hat sie deshalb weniger auf dem Schirm. Trotzdem produzieren sie bereits so viel Energie, dass sich ein größerer Ausfall auf unser Energiesystem auswirken kann“, beschreibt Dr. Frank Sill Torres die Hintergründe. Er ist kommissarischer Direktor des DLR-Instituts für den Schutz maritimer Infrastrukturen in Bremerhaven. „Kraftwerke oder Umspannstationen an Land schützen wir umfassend, zum Beispiel mit Sicherheitskonzepten, Zäunen, Zugangsbeschränkungen und Überwachungssystemen. Das müssen wir auch verstärkt für unsere maritime Infrastruktur wie Offshore-Windparks machen. Denn diese Anlagen sind zwar schwerer zu erreichen, aber nicht unzugänglich“, erklärt der DLR-Experte weiter.

Seit 2022 schreibt die Europäische Union vor, dass die Betreibenden kritischer Infrastruktur diese bes-

ser gegen Bedrohungen schützen und deren Resilienz stärken müssen. Darunter versteht man die Widerstandskraft gegen Vorkommnisse, zu denen auch Spionage, Sabotage und Anschläge gehören. In Deutschland soll das KRITIS-Dachgesetz die europäische Regelung zeitnah umsetzen. Damit sind Betreiber von Offshore-Windparks in Zukunft verpflichtet, sich mit der Sicherheit ihrer Anlagen auseinanderzusetzen, Risikoanalysen durchzuführen und entsprechende Vorkehrungen zu treffen. „Bisher gibt es für diesen Bereich allerdings keine Standards und Konzepte. Gleichzeitig ist der Handlungsdruck durch Ereignisse wie den Anschlag auf die North-Stream-Pipelines oder die Sabotageakte an Glasfaserkabeln in der Ostsee erheblich gestiegen“, fasst Frank Sill Torres die Situation zusammen.

DLR als internationaler Vorreiter

Mit dem Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen forscht das DLR seit 2017 auf diesem Gebiet. Politik, Sicherheitsbehörden und Unternehmen fragen die Expertise des DLR an und arbei-



Mit dem unbemannten DLR-Hubschrauber superARTIS wurde im EnBW-Windpark Schwienau II unter anderem die Kommunikation zwischen Drohne, Windenergieanlage und Leitwarte erprobt.



Offshore-Windenergieprojekte im Überblick, Stand Juni 2024

ten mit ihm zusammen. „Maritime Infrastrukturen sind komplexe Systeme. Am DLR untersuchen wir die Fähigkeiten dieser Systeme, auf kritische Ereignisse vorbereitet zu sein, sie zu überstehen und aus ihnen zu lernen“, erläutert Sill Torres den Ansatz seines Instituts. „Um diese Fähigkeiten zu messen, zu bewerten und zu verbessern, entwickeln wir computerbasierte Methoden und erstellen umfassende, generalisierte Modelle von kritischen Infrastrukturen. So können wir simulieren, wie gefährliche Situationen entstehen, ablaufen und welche Auswirkungen sie haben können. Daraus lassen sich dann Empfehlungen ableiten, wie man am besten handeln und reagieren kann.“

Das Team von Frank Sill Torres interessiert vor allem, was bei größeren Ereignissen und Ausfällen kritischer Infrastruktur passiert. Bei Offshore-Windparks wäre das zum Beispiel, wenn eine Konverter-Plattform ausfallen würde. Konverter-Plattformen haben eine zentrale Funktion: Sie mi-

nimieren Verluste und vereinfachen die Übertragung elektrischer Energie von den Windparks zum Festland. „Mit unseren Simulationen und Modellen können wir herausfinden, welche Auswirkungen ein größeres Schadensereignis auf die Energieproduktion hat oder wie lange es dauert, bis eine Störung behoben ist. Auch die Wahrscheinlichkeit für bestimmte Szenarien lässt sich so ermitteln“, beschreibt der DLR-Forscher. Um die Auswirkungen solcher Ereignisse auf das Stromnetz zu untersuchen, arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit der Abteilung Energiesystemanalyse des DLR-Instituts für Vernetzte Energiesysteme in Oldenburg zusammen.

Offshore-Windparks als erstes Praxisbeispiel

Für das noch junge DLR-Institut in Bremerhaven mit mehr als 60 Mitarbeitenden sind Offshore-Windparks ein erster konkreter Anwendungsfall für

Karte: Stiftung Offshore Windenergie

ihre Forschungsarbeiten. Sie weisen viele Eigenschaften anderer maritimer Infrastrukturen auf, sind aber nicht so groß und komplex wie ein Hafen.

Drei Faktoren beeinflussen die Ausgangslage bei Offshore-Windparks maßgeblich. Erstens: Potenzielle Gefahren können aus vielen Richtungen kommen: von See, unter Wasser und aus der Luft. Sicherungsmaßnahmen wie Absperrungen oder Zäune sind auf dem Meer deshalb schwierig umzusetzen. Zweitens: Aufgrund von Lage und Witterung ist die konstante, umfassende Überwachung von Windparks eine Herausforderung. Zudem dauert es länger als an Land, bis Einsatz- oder Sicherheitskräfte im Notfall vor Ort sind – selbst mit Helikopter. Und drittens: Am Aufbau, Betrieb und an der Wartung sind viele Akteure beteiligt. Dazu zählen Eigner, Hersteller- und Montagefirmen für Windenergieanlagen, Konverter-Plattformen und Leitungen sowie Unternehmen für Betrieb, Steuerung, Wartung und Sicherheit.



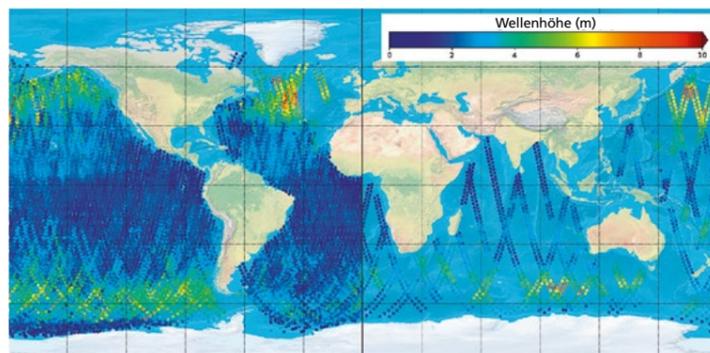
DROHNEN FÜR DEN TRANSPORT VON GÜTERN

Bei Inspektionen in On- und Offshore-Windparks haben sich Drohnen als wichtige Helfer erwiesen. Zukünftig könnten sie auch Werkzeuge, Material und möglicherweise sogar Personal transportieren – bislang übernehmen dies ausschließlich Schiffe und bemannte Hubschrauber. Das erfordert modernste Technologie sowie eine hohe Automatisierung und eine nahtlose operationelle Integration. Im Forschungsprojekt Upcoming Drones Windfarm des DLR-Instituts für Flugsystemtechnik und des Energieversorgers EnBW geht es um Lösungen für den Transport mit Drohnen. Sie sollen Lasten bis zu 200 Kilogramm über 100 Kilometer zu Offshore-Windparks bringen. Ein Highlight des Forschungsprojekts war die Offshore Drone Challenge im Juni 2024 am Nationalen Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme des DLR in Cochstedt. Internationale Drohnenhersteller und -betreiber präsentierten ihre technischen Lösungen in einer exemplarischen Mission. Die Drohnen wurden in Flugmanövern getestet, wie beim Aufnehmen und Absetzen von Lasten sowie bei Flügen außerhalb der Sichtweite, bei denen die Drohne vollständig automatisch agieren muss. Dazu richteten die DLR-Fachleute eine temporäre Geozone zur Erweiterung des Drohnenbetriebs ein.



Zum Video der Offshore Drone Challenge 2024





**NEUER ALGORITHMUS
ERFASST DEN SEEGANG**

An der Forschungsstelle für Maritime Sicherheit des DLR in Bremen entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Algorithmen, die die Wellenhöhe und -periode mit einer Genauigkeit von etwa 25 Zentimetern messen können. Das sind weltweit die präzisesten Messungen. Aktuelle Informationen und Prognosen zum Seegang sind essenziell für den Küstenschutz, die Schifffahrt und die Konstruktion von Offshore-Windparks. Die Algorithmen nutzen die Aufnahmen von Radarsatelliten. Im Rahmen des ESA-geförderten Projekts CCI Sea State wurde das gesamte Archiv des Copernicus-Sentinel-1-Satelliten verarbeitet, mit Bojen und Modelldaten abgeglichen und mit Algorithmen anderer weltweit führender Institutionen verglichen. Die Erkenntnisse sind besonders wichtig für Gebiete, in denen keine Daten von Vor-Ort-Messungen vorliegen.

Abdeckung der Weltmeere durch den Radarsatelliten Copernicus Sentinel-1 am 1. Februar 2021 (rechts) und für den gesamten Februar 2021 (links). Die Farben zeigen die aus den Radardaten abgeleiteten Wellenhöhen.

Windpark in der Ostsee vor der dänischen Küste



**Risiken früh erkennen,
Handlungsräume schaffen**

Potenzielle Gefahrensituationen einzuschätzen und frühzeitig zu erkennen, hat eine große Bedeutung für den Schutz maritimer Infrastrukturen. Welche Verfahren sich für die sogenannte Detektion von Anomalien und Gefahren am besten eignen – bei diesem Thema kann das Team um Sill Torres aus dem Vollen schöpfen und auf Technologien und Know-how vor allem aus den Forschungsbereichen Luftfahrt und Raumfahrt des DLR zurückgreifen.

Große Gebiete lassen sich zum Beispiel mit hoch spezialisierten Kamera-, Radar- oder Laser-Sensoren überwachen. Das ist aus der Luft per Flugzeug oder Drohne möglich oder mit Satelliten im Weltraum. „Das Wissen, das unsere Kolleginnen und Kollegen im DLR in diesen Bereichen haben, können wir für den Schutz maritimer Infrastrukturen sehr gut nutzen. Außerdem kennen wir uns im DLR damit aus, die mit diesen Sensoren gesammelten großen Datenmengen zusammenzuführen und mit modernster IT-Technik und Methoden der künstlichen Intelligenz auszuwerten“, erklärt er die vielfältigen Synergieeffekte innerhalb des DLR. Für den maritimen Bereich wie hier bei Offshore-Windparks wären auch Sensor-Systeme denkbar, die direkt an den Plattformen des Windparks angebracht sind. Oder solche, die an Bord kleiner, autonom oder ferngesteuerter U-Boote das Gebiet überwachen. Zu diesen Ideen ist das DLR mit Firmen im Austausch, die Sensoren herstellen. Wenn diese ihre vorhandenen Systeme für den speziellen maritimen Anwendungsfall anpassen können, erschließen sie damit einen weiteren Markt.

„Unser übergeordnetes Ziel ist es, Technologien zu entwickeln, mit denen wir die Lage effizient beobachten und bewerten können, um dann die Verantwortlichen mit diesen Informationen bei wichtigen Entscheidungen zu unterstützen“, bilanziert der Wissenschaftler. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten können zudem für die Entwicklung von Sicherheitskonzepten und -architekturen sowie für das Training von Sicherheitskräften genutzt werden. „Damit baut das DLR wissenschaftlich basiertes und verlässliches Wissen auf und gestaltet den technologisch, politisch wie wirtschaftlich extrem wichtigen Bereich des Schutzes der maritimen Infrastrukturen entscheidend mit.“

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR und berichtet vorwiegend über die Forschungsbereiche Energie und Verkehr. Als im Südwesten wohnende Landratte entdeckt sie gerne auch spannende DLR-Themen aus der maritimen Welt.

Bild: BWE/Christian Hirsch (unten)

Bild: DLR

Mein Job im DLR



Mein Name ist Gabriela Calistro Rivera. Ich bin Astrophysikerin und erforsche Galaxien und Schwarze Löcher. Ich kam 2024 zum DLR. Davor war ich Postdoktorandin bei der Europäischen Südsternwarte (ESO). Jetzt arbeite ich im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation in Oberpfaffenhofen als wissenschaftliche Projektleiterin für eine ESA-Weltraummission zur Quantenkommunikation. Die Mission ist von zentraler Bedeutung für die Sicherheit der Kommunikation auf der Erde. An den Grenzen der Wissenschaft zu forschen, ist spannend und oft ein Abenteuer.



Join our fascination –
die Karriereseite des DLR

Rasende Feuerfuchse am Firmament

In Neustrelitz erforscht das DLR das Weltraumwetter

von Melanie-Konstanze Wiese

Grüne, rote oder violette Lichter flimmern am Himmel. Faszinierend schön, geheimnisvoll oder auch bedrohlich. In der Geschichte deuteten Völker die Polarlichter verschieden: ob Heldenerscheinungen, Seelen Verstorbener, im Himmel rasende Feuerfuchse, die mit ihren Schwänzen Berge streifen und so Funken erzeugen, oder auch ein schlechtes Omen für bevorstehende Ereignisse. Heute kennen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Ursprung für die Entstehung der Polarlichter: Sie sind die sichtbaren Auswirkungen des Weltraumwetters auf unserer Erde. Dennoch gibt es auf dem Feld der Weltraumwetterforschung noch viele blinde Flecken und offene Fragen, mit denen sich das DLR-Institut für Solar-Terrestrische Physik in Neustrelitz befasst.

Die Sonne im Maximum

In den letzten Monaten waren Polarlichter vielerorts nicht nur wie üblich in den Polarregionen, sondern auch in

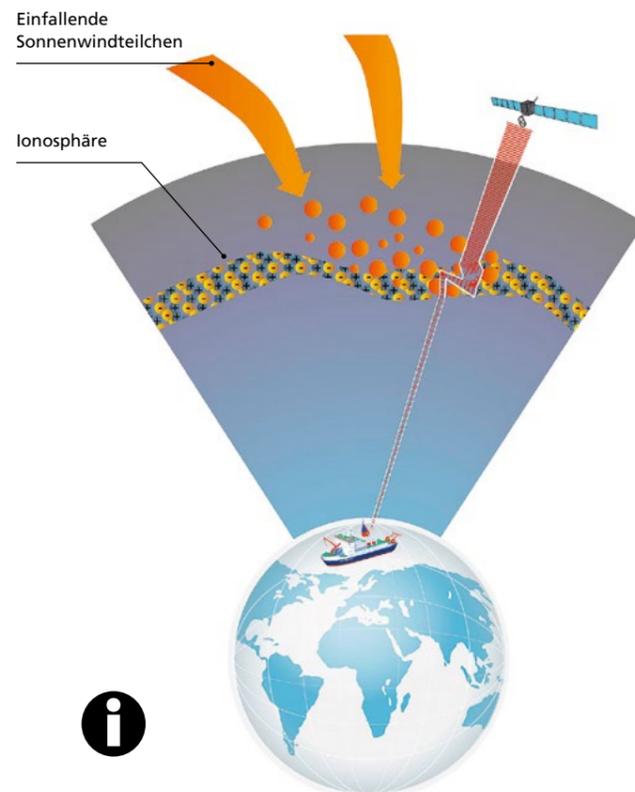
Deutschland zu sehen. Grund dafür ist die derzeit erhöhte Sonnenaktivität. Aber warum ist das so? Bereits seit der Antike ist die Sonne Gegenstand von Beobachtungen, bei denen man dunklere Flecken auf ihrer Oberfläche erkannte. Mit dem Aufkommen der ersten Teleskope in der Neuzeit konnten die Astronomen diese Sonnenflecken auch zählen und dokumentieren. Dabei stellten sie fest, dass deren Anzahl einem elfjährigen Zyklus folgend regelmäßig zu- und abnahm. Ab 1755 begannen die Astronomen diese Zyklen zu zählen, weil sie festgestellt hatten, dass die Anzahl der Sonnenflecken als ein Maß für die Sonnenaktivität gelten konnte. Dieser Zählung folgend befindet sich die Sonne aktuell im Zyklus 25 und erreichte im Oktober 2024 wieder ihr Maximum an Aktivität.

Die Sonnenflecken erscheinen dunkler, da sie kühler sind als der Rest der Sonnenoberfläche und daher weniger sichtbares Licht abstrahlen. Wir wissen heute, dass Sonnenflecken durch Magnetfeldschleifen entstehen, die die Sonnenoberfläche durchstoßen. In Phasen mit vielen Sonnenflecken, also einer hohen Aktivität, gibt es auch mehr solare Ausbrüche, wie etwa koronale Massenauswürfe. Dabei werden plötzlich riesige Mengen geladener Teilchen, hauptsächlich Elektronen und Protonen, in den Weltraum geschleudert. Treffen diese Teilchen auf das Magnetfeld der Erde, werden sie zu den magnetischen Polen gelenkt, weil dort das Magnetfeld am stärksten ist. Hier können sie in die obere Atmosphäre, in etwa 80 bis 500 Kilometer Höhe, eindringen und kollidieren dort mit den Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen. Dieser Aufprall regt die Moleküle an, was bedeutet, dass sie zusätzliche Energie aufnehmen. Kehren die angeregten Moleküle wieder in ihren normalen Zustand zurück, so geben sie die aufgenommene Energie in Form von Licht ab. Dieses Licht ist das, was wir als Polarlichter sehen.

Welche Farbe die Polarlichter annehmen, hängt von den Gasmolekülen ab, die bei diesem Prozess angeregt werden: Grüne Polarlichter entstehen durch Sauerstoffmoleküle in einer Höhe von etwa 100 Kilometern, rote in einer Höhe von über 200 Kilometern. Werden Stickstoffmoleküle angeregt, dann leuchten die Polarlichter in Blau und Violett.

Solare Ereignisse mit Folgen für die Erde

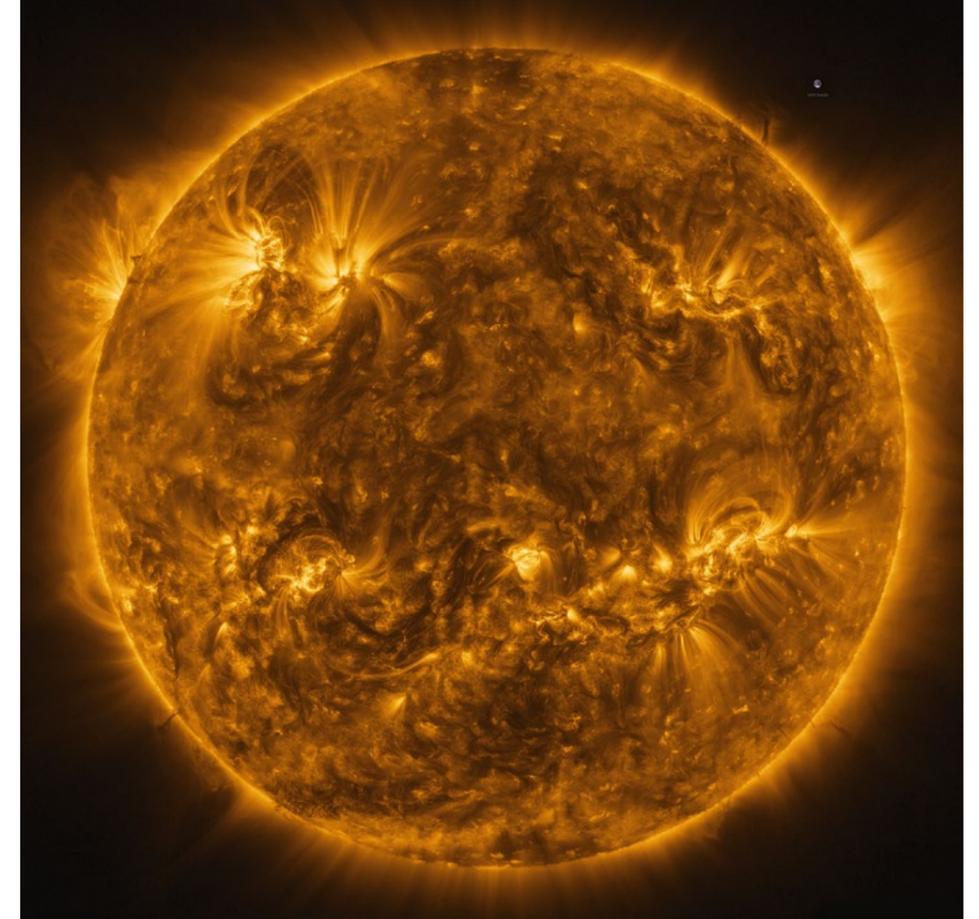
Neben den faszinierenden Lichterscheinungen können solare Ereignisse auch schwerwiegende Folgen für das Leben auf der Erde mit sich bringen. Bei dem Sonnenwind, einem kontinuierlichen Strom geladener solarer Teilchen, wirkt das Magnetfeld der Erde als Schutzschild. Größere Ereignisse wie Sonnenstürme können hingegen Auswirkungen auf die Funktionalität vieler techno-



SONNENWIND TRIFFT DIE ERDE

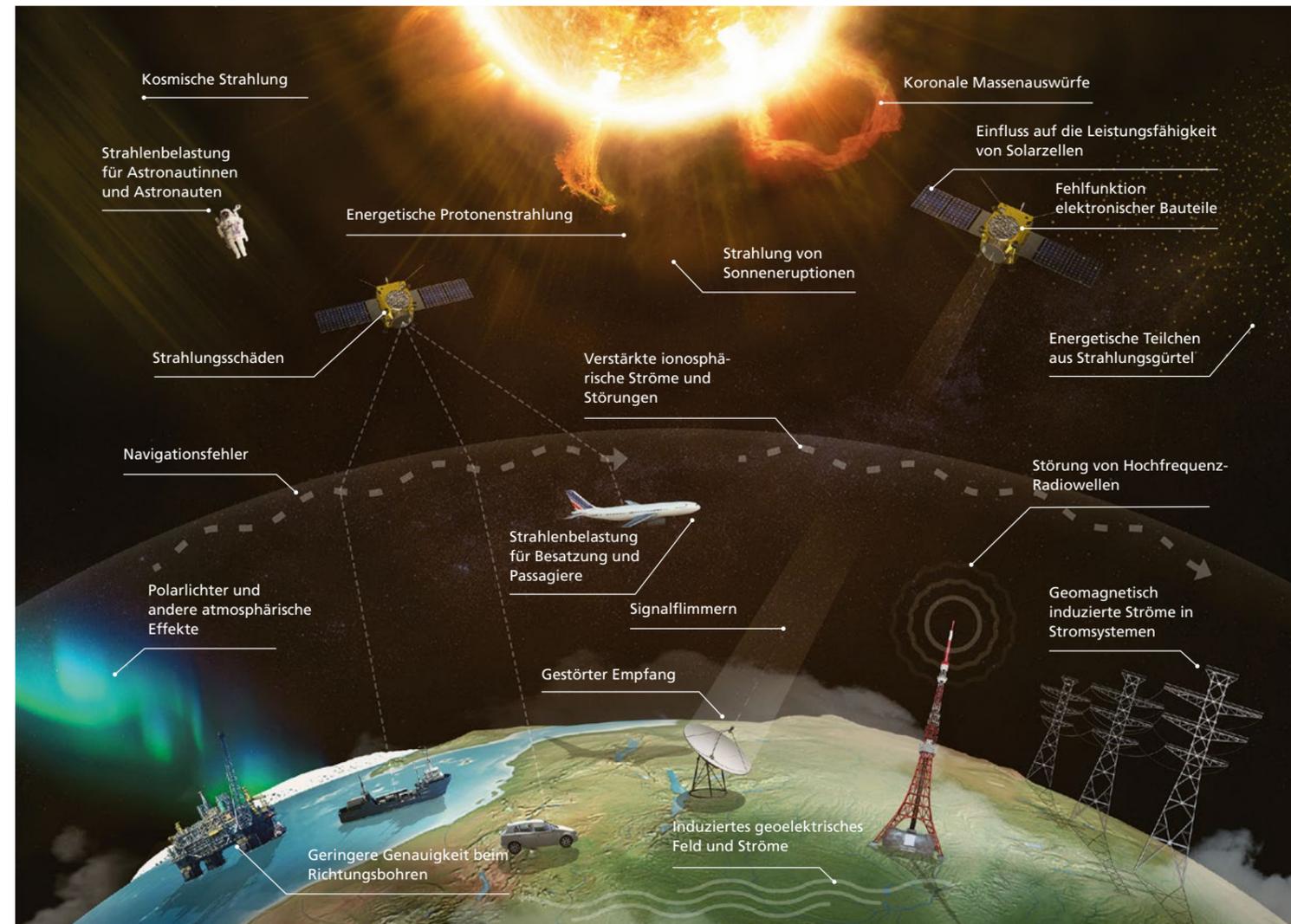
Wenn die elektrisch geladenen Teilchen des Sonnenwinds, die durch Sonnenstürme beschleunigt werden, auf die Ionosphäre unserer Erde treffen, verändern sie diese, indem sie sie stark ionisieren, also Gasatome beziehungsweise -moleküle in Elektronen und Ionen aufspalten. Das stört Radiosignale auf dem Weg vom Satelliten zur Erde. Gerade Navigationssignale können so stark beeinflusst werden, dass eine präzise Positionierung zeitweise nicht mehr möglich ist.

Bilder: ESA/NASA (S. 27 oben), ESA (S. 27 unten)



Die Sonne ist 150 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. An ihrer Oberfläche herrschen 5.500 Grad Celsius, in ihrem Kern ist es mit bis zu 15 Millionen Grad Celsius jedoch viel heißer.

Weltraumwetter und seine Auswirkungen





Am DLR-Standort in Neustrelitz sind seit mehr als 100 Jahren Antennen in Betrieb. Sie empfangen unter anderem Signale von einem Satelliten, der in 1,5 Millionen Kilometer Entfernung die Sonnenaktivität beobachtet.

Treffen die elektrisch geladenen Teilchen eines Sonnensturms auf das Magnetfeld der Erde, hat das sicht- und spürbare Auswirkungen.

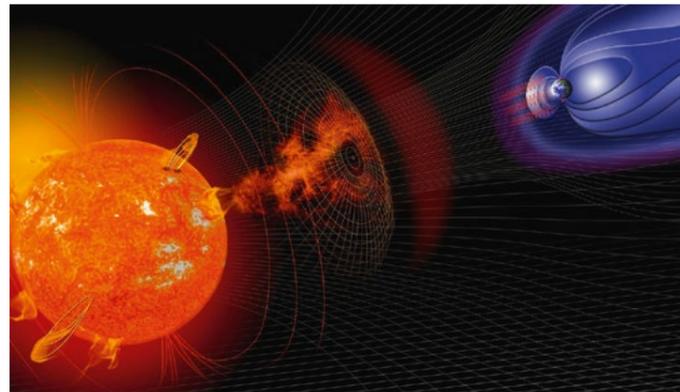


Bild: NASA (unten)

logischer Systeme haben, darunter Satelliten, Navigationssysteme wie GPS, Kommunikationseinrichtungen und Stromnetze.

Daten aus Millionen Kilometer Entfernung

Um verlässliche Voraussagen zu treffen, mögliche Risiken zu erkennen und vorzubeugen, erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Solar-Terrestrische Physik in Neustrelitz den Einfluss des Weltraumwetters auf technische Systeme und Dienste. Dabei beobachten sie zum einen kontinuierlich die Sonnenaktivitäten mit Satelliten wie dem Advanced Composition Explorer (ACE) und dem Deep Space Climate Observatory (DSCOVR). Empfangen werden diese Daten aus 1,5 Millionen Kilometer Entfernung, der Region des Lagrange-Punkts L1, unter anderem auch direkt in Neustrelitz im Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum. Lagrange-Punkte sind Punkte zwischen Erde und Sonne, an denen die Gravitationskräfte der Erde und der Sonne sowie die Zentrifugalkraft eines Körpers miteinander im Gleichgewicht sind, sodass sich die Position dieses Körpers relativ zu den beiden Himmelskörpern nicht ändert. Zusätzlich nutzen die Forschenden Daten von Satelliten, die den Sonnenwind, also die Teilchenströme, die von der Sonne ausgehen, messen. Diese Messungen sind entscheidend für das Verständnis, wie der Sonnenwind die Erde beeinflusst.

Das Weltraumwetter hat Auswirkungen auf komplexe Prozesse in der oberen Atmosphäre – genauer in dem miteinander gekoppelten System aus Iono-, Thermo- und Magnetosphäre. Welche Eigenschaften diese Sphären besitzen und wie sie miteinander in Wechselwirkung stehen, untersuchen die Forschenden des in Mecklenburg-Vorpommern angesiedelten Instituts. Sie entwickeln physikalische Modellierungen, um die Bewegung, Verbreitung und die Auswirkungen der Teilchenströme zu simulieren. Mit diesen Modellen lassen sich schließlich die Bedingungen im erdnahen Weltraum sowie mögliche Auswirkungen auf die technische Infrastruktur vorhersagen. Obgleich das Institut mit seiner Gründung im Mai 2019 noch recht jung ist,

nimmt es deutschlandweit bereits eine führende Rolle ein und richtet beispielsweise den nationalen Weltraumwetterworkshop aus, in dem sich regelmäßig Expertinnen und Experten austauschen sowie Behörden und Unternehmen informieren oder beraten lassen. Auch auf dem internationalen Parkett spielen die Neustrelitzer Weltraumwetterforschenden eine wichtige Rolle: Innerhalb der Internationalen Initiative für Weltraumwetter des Ausschusses der Vereinten Nationen für die friedliche Nutzung des Weltraums ist das Institut koordinierend für Deutschland tätig und liefert dem Netzwerk Daten für Weltraumwettervorhersagen.

Notwendigkeit präziser Vorhersagen

Wie wichtig wissenschaftliche Erkenntnisse über das Weltraumwetter und dessen zuverlässige und zeitnahe Vorhersagen für unser technologiegeprägtes Leben sind, zeigt ein Blick auf die etwaiigen Auswirkungen. Risikobehaftet sind beispielsweise Kommunikationssysteme, die auf Funkverbindungen angewiesen sind wie die, die in Flugzeugen, auf Schiffen oder in militärischen Einrichtungen zum Einsatz kommen. In extremen Fällen können diese Störungen tagelang anhalten, was zu erheblichen Problemen führt. Neben den Funk- und Radiowellen breiten sich auch GPS-Signale in der Ionosphäre aus. Verändert sich nun die Dichte der Elektronen in diesem Bereich, können GPS-Systeme ungenaue Standortbestimmungen liefern oder sogar ganz ausfallen.

Ein intensiver Sonnensturm kann das Magnetfeld der Erde stören und zu einem geomagnetischen Sturm führen. Diese Stürme können in elektrischen Leitungen induzierte Ströme erzeugen, die Transformatoren und andere Teile von Stromnetzen beschädigen. In extremen Fällen kann dies zu großflächigen Stromausfällen führen, die mehrere Tage oder sogar Wochen andauern können. Ein Beispiel für einen solchen Vorfall war der Quebec-Sturm von 1989, bei dem ein Sonnensturm das Stromnetz in Kanada lahmlegte und Millionen von Menschen ohne Strom zurückließ.

In der Regel rechnen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit etwa

einem Tag, bis ein Sonnensturm die Erde erreicht. Viel Zeit für Schutzmaßnahmen bleibt dann nicht. Umso wichtiger sind präzise und frühzeitige Vorhersagen zu Risiken, damit entsprechende Maßnahmen getroffen werden können. So kann die Information, dass ungenaue Messungen zu erwarten sind, an betroffene Unternehmen und Behörden weitergegeben werden. Auch das Abschalten von Satelliten kann eine vorbeugende Maßnahme sein.

Blinde Flecken in der Weltraumforschung

Die Vorhersagegenauigkeit hat sich in den letzten Jahren dank fortschrittlicher Technologien und Modelle deutlich verbessert, aber aufgrund der Komplexität der Wechselwirkungen im Weltraum bleibt es immer noch eine Herausforderung. Insbesondere die physikalischen Prozesse in der oberen Atmosphäre sind noch nicht vollständig verstanden. Ein Grund dafür liegt unter anderem an fehlenden Daten in der Thermosphäre zwischen 100 und 300 Kilometern.

Zudem ließe sich die Vorhersagegenauigkeit weiter verbessern, wenn die Forschenden Ankunftszeit und Stärke der Sonnenaktivität früher bestimmen könnten. Dazu müssten sie Parameter wie Geschwindigkeit, Protonendichte und interplanetares Magnetfeld bereits am Lagrange-Punkt L1 errechnen können. Weitere Beobachtungen von den Lagrange-Punkten L4 und L5 würden die Forschung ebenfalls voranbringen. Ein Lichtblick ist die Mission VIGIL, die die Europäische Weltraumorganisation ESA unter anderem in Zusammenarbeit mit der amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA plant. Dieses Weltraum-Observatorium soll zukünftig die Sonne vom Lagrange-Punkt L5 aus, der auf der Erdumlaufbahn hinter der Erde liegt, beobachten und Informationen über das Weltraumwetter sammeln. Der Start für das bislang erste Raumfahrzeug in dieser Region ist für 2031 avisiert.

Melanie-Konstanze Wiese ist zuständig für die Kommunikation an den DLR-Standorten Berlin, Cottbus, Dresden, Jena, Neustrelitz und Zittau. Mit Beginn des Sonnenmaximums nahmen auch die Medienanfragen rund um die Polarlichter zu.



WELTRAUMWETTER-VORHERSAGEN

Das vom DLR entwickelte und betriebene „Ionosphere Monitoring and Prediction Center“ (IMPC) liefert nahezu in Echtzeit Informationen und Daten über den aktuellen Zustand der Ionosphäre sowie entsprechende Vorhersagen und Warnungen. Als Nachfolger des etablierten „Space Weather Application Center – Ionosphere“ (SWACI) bietet das IMPC deutlich verbesserte Wetterinformationen und -vorhersagen zur Ionosphäre und stellt zusätzlich das SWACI-Langzeitdatenarchiv zur Verfügung.



Hier geht es zu den Wetterinformationen des IMPC.

Aus der Bahn!

Die Erde vor Asteroideneinschlägen schützen

von Ulrich Köhler

Die Raumsonde Hera (Mitte) wird zwei Kleinsatelliten aussetzen, Milani (links) und Juventas.

Ein gewaltiger, aber lautloser Crash im kosmischen Vakuum des Sonnensystems: Vor bald drei Jahren, im September 2022, schlug die NASA-Raumsonde DART mit einer Geschwindigkeit von rund 22.000 Kilometern in der Stunde auf dem knapp 150 Meter großen Asteroiden Dimorphos ein. Das war genau so beabsichtigt. Die Wissenschaft spricht trocken von einem „gezielten kinetischen Impuls“. Nächstes Jahr wird mit der ESA-Mission Hera nachgeschaut, was der Impuls der DART-Sonde tatsächlich angerichtet hat.

DART (Double Asteroid Redirection Test) hat getestet, ob mit einem Impakt die Bahn von Dimorphos, der um den fünfmal größeren Asteroiden Didymos kreist, verändert werden kann. Das Ergebnis war verblüffend: Von der Erde aus gemessen verkürzte sich der Orbit um Dimorphos um über eine halbe Stunde. Die Fachwelt hatte zuvor mit maximal zehn Minuten gerechnet. Mission accomplished? Gewiss, aber das reicht längst nicht für eine zukünftige, auf soliden Beinen stehende Asteroidenablenkung.

Also wird jetzt noch einmal ganz genau geprüft, was diese Kollision einer modernen irdischen High-tech-Blechbox mit viereinhalb Milliarden Jahre alter steiniger Urmaterie aus dem Asteroidengürtel in elf Millionen Kilometer Entfernung bewirkte. Dazu startete am 7. Oktober 2024 die europäische Sonde Hera. Sie wird Didymos und Dimorphos Ende 2026 erreichen und dort die Veränderungen, die DART verursacht hat, beobachten und messen. Es geht dabei um nichts weniger als unsere Sicherheit. „Planetary Defense“ ist das Schlagwort: die Abwehr einer der Gefahren, die uns aus dem Weltall drohen.

Was passiert, wenn ein Asteroid die Erde trifft?

Es muss nun nicht gleich der Weltuntergang sein. Aber es könnte trotzdem eine der größten Naturkatastrophen der Menschheitsgeschichte werden – vielleicht die größte: der Einschlag eines mehrere hundert Meter großen Asteroiden auf der Erde. Die gute Nachricht ist, dass die Astronomie unter den erdbahnkreuzenden Kleinkörpern in unserem Sonnensystem keinen Kandidaten hat, der über einhundert Meter misst und noch in diesem Jahrhundert mit der Erde kollidieren würde. Das ist in Anbetracht der über 36.000 erdbahnkreuzenden Asteroiden von einhundert Metern Durchmesser und mehr, den „Near-Earth Objects“ (NEOs), zunächst beruhigend. In fast allen Fällen sind die meist stark elliptischen Bahnen dieser um die Sonne kreisenden Objekte sehr genau bestimmt. In der Fachwelt wird niemand nervös, wenn die Zahlen sagen, dass selbst größere Asteroiden unterhalb des Orbits geostationärer Satelliten, die sich in einer Entfernung von 36.000 Kilometern befinden, an der Erde vorbei-

schießen werden. Ein Kandidat ist der 340 Meter große Apophis im Jahr 2029. Oder der Ende 2024 entdeckte, zwischen 50 und 90 Meter große NEO 2024-YR4, von dem man eine Weile dachte, er könne mit der Erde kollidieren. Aktuell sieht es jedoch so aus, als träfe er, wenn überhaupt, den Mond.

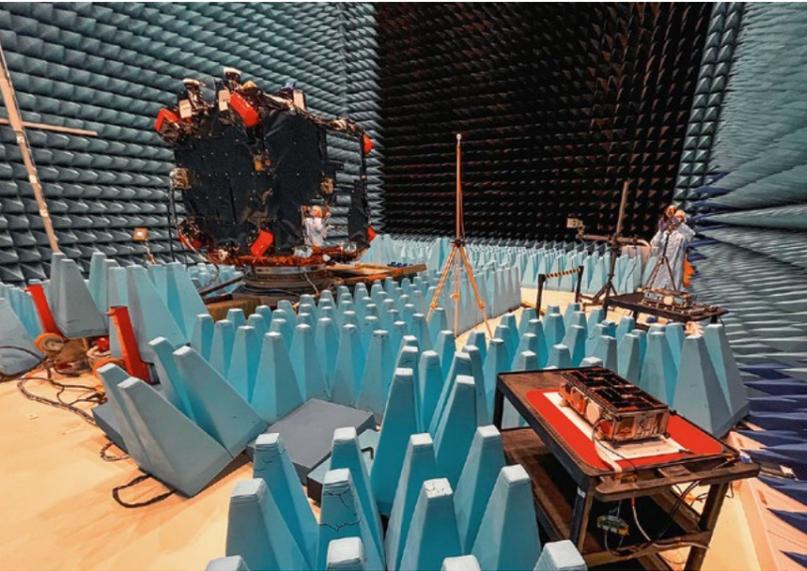
Eine Frage der Zeit

Aber die Zahl von über 36.000 NEOs bedeutet auch, dass es irgendwann passieren wird, dass es mal wieder zu einem Zusammenstoß zwischen der vergleichsweise riesigen Erde mit einem dieser steinigen, oft kohlenstoffreichen, manchmal sogar metallischen Winzlinge kommen wird. Es sind die Geschwindigkeiten, sowohl die der Erde als auch die der Asteroiden, die für das gewaltige Zerstörungspotenzial sorgen. Insbesondere bei Frontalzusammenstößen. Schließlich bewegt sich schon die Erde, für uns unmerklich, mit 30 Kilometern pro Sekunde um die Sonne. Kommt ihr dann ein Asteroid mit derselben Geschwindigkeit entgegen, addiert sich die Kollisionsgeschwindigkeit auf 60 Kilometer pro Sekunde: Leipzig-Dresden in zwei Sekunden, umgerechnet rund 220.000 Kilometer pro Stunde. Da passieren dann gewaltige Dinge beim Eindringen in die Atmosphäre und beim Aufschlag auf der Erdoberfläche.

Kleine Körper mit Durchmessern von unter zehn Metern zerbersten in der immer stärker zusammengepressten Luft des Eindringkanals mit einer heftigen Explosion in der Stratosphäre. Ein noch nicht einmal hundert Meter großer Eindringling zerstörte 1908 nach seiner Detonation in 20 Kilometer Höhe ein unbesiedeltes Waldgebiet in Sibirien, die Steinige Tunguska. Auf einer Fläche der Größe des Saarlands wurden Millionen von Bäumen wie Streichhölzer umgeknickt. Hätte der Asteroid die Erde eine Stunde später auf derselben Bahn erreicht, wäre diese so weit nach Osten rotiert, dass es im heutigen Sankt Petersburg zu einer Katastrophe unermesslichen Ausmaßes gekommen wäre.

Pech für die Dinosaurier, Glück für uns

Und dann waren da noch die Dinosaurier, die vor 66 Millionen Jahren von der Erde verschwanden, weil auf der Halbinsel Yucatán das Chicxulub-Ereignis stattfand, der Einschlag eines bis zu 15 Kilometer großen Asteroiden. Die Auswirkungen waren auf der ganzen Erde zu spüren: Die Temperaturen durch Staub und Aerosole in der Atmosphäre fielen global so stark, dass dies die wechselwarmen Großreptilien nicht überlebten. Zu unserem Glück! Denn am Übergang von Kreide zu Tertiär, zwischen Erdmittelalter und Erdneuzeit, begannen die Säugetiere die Kontinente der Erde zu dominieren.



DIE ASTEROIDENMISSION HERA

Hera ist der europäische Beitrag zum Projekt AIDA (Asteroid Impact & Deflection Assessment) der amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA und der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Die Mission startete am 7. Oktober 2024, um das Doppelasteroidensystem Didymos/Dimorphos zu untersuchen. Die ESA vergab den Auftrag zum Bau der Sonde an die Firma OHB in Bremen. Mit Kosten von 130 Millionen Euro ist Hera eine vergleichsweise günstige Tiefraummission. Deutschland als größter Finanzier leistet einen Beitrag von 37,5 Prozent, 14 weitere ESA-Mitgliedsstaaten tragen zu Hera bei. Deutschland ist mit zahlreichen technischen und wissenschaftlichen Beiträgen an der Mission beteiligt. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR koordiniert all diese deutschen Beiträge mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz.

In der sogenannten Maxwell-Kammer wird die Funkverbindung von Hera (links) zu den Kleinsatelliten Milani (im Vordergrund rechts) und Juventas (weiter hinten) getestet.

Deren Gattung Homo entwickelte sich bekanntlich zum Homo sapiens und ist seit bald 70 Jahren imstande, mit eigens entwickeltem Gerät ins Weltall vorzustößen und seine unmittelbare kosmische Nachbarschaft zu erforschen. Es ist der schiere Zufall, dass seit dem Beginn des Raumfahrtzeitalters 1957 und zudem in dem winzigen Zeitraum seit 1801, als der erste Asteroid, die tausend Kilometer große Ceres, von Giuseppe Piazzi in Palermo entdeckt wurde, bis heute kein NEO auftauchte, der mit der Erde kollidierte. Gleichzeitig könnte die Menschheit, womöglich noch in diesem Jahrhundert, in der Lage sein, mit den Mitteln der Raumfahrt die Katastrophe eines kosmischen Zusammenstoßes zwischen Erde und Asteroiden zu verhindern.

Hera wird Wissenslücken schließen

Zurück also zu den Missionen DART und Hera, mit denen erstmals eine praktische Umsetzung von über mehrere Jahrzehnte entwickelten Überlegungen und Konzepten zur Abwehr von Asteroiden getestet werden. Zunächst: Wir wissen nicht genug über die potenziellen Katastrophenmacher. Hera soll deshalb nicht nur die Folgen der DART-Kollision untersuchen, sondern generell neue Erkenntnisse zu kleinen, wirklich gefährlichen Asteroiden liefern. So ist diese europäische Mission die erste, die ein Asteroidentandem, ein sogenanntes Binärsystem, aus der Nähe untersucht wird, das zudem auf einem die Erdbahn kreuzenden Orbit die Sonne umkreist.

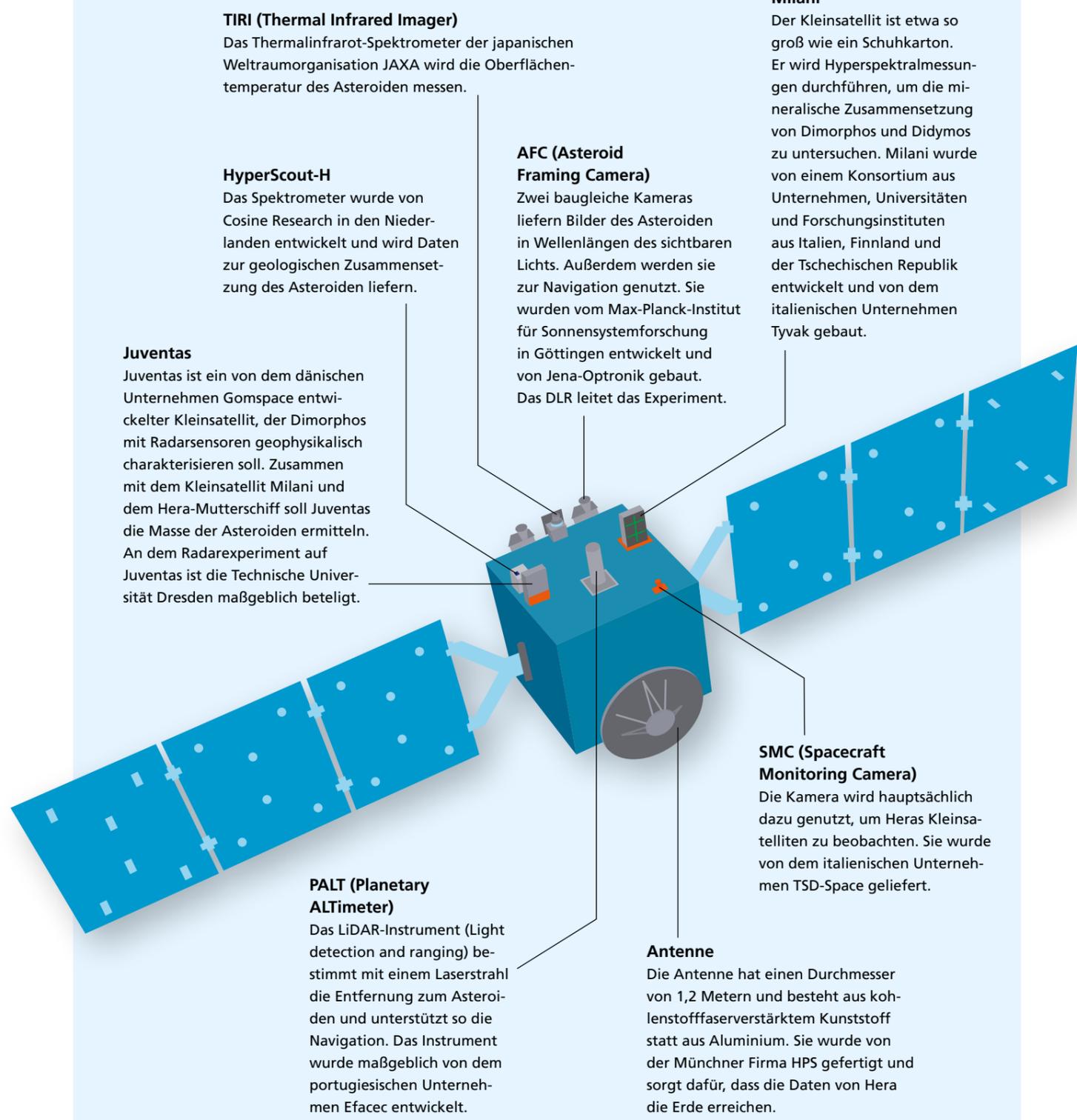
Die Asteroidenmissionen der letzten Zeit haben nämlich eine verblüffende Beobachtung gemein: Kleine Asteroiden von nur wenigen hundert Metern oder einigen Kilometern Durchmesser scheinen gar keine festen Körper zu sein, sondern nur ein Konglomerat aus locker angehäuften Bestandteilen mit losem Zusammenhalt und einem hohen Anteil an Hohlräumen. Die Fachwelt spricht von „rubble piles“, Schutthaufen aus Gesteinsfragmenten. Wäre das die Regel und nicht die Ausnahme, könnte das Konsequenzen für das Explosionsszenario beim Eindringen in die Erdatmosphäre und möglicherweise einem „Beschuss“ der Oberfläche der Erde wie mit einer Schrotflinte haben.

Bedrohung durch Binärsysteme

Ein weiteres interessantes Phänomen ist die sich abzeichnende Tatsache, dass ein großer Teil der Körper im Asteroiden-Hauptgürtel zwischen den Planeten Mars und Jupiter Binärsysteme zu sein scheinen, also zwei (oder mehr) kleine Körper, die sich gegenseitig umkreisen. Modellrechnungen sagen, dass diese Konstellationen bei bis zu einem Fünftel der Asteroiden unter einem Kilometer Größe

Bild: ESA/F. Perez Lissi

Die Hera-Sonde



TIRI (Thermal Infrared Imager)
Das Thermalinfrarot-Spektrometer der japanischen Weltraumorganisation JAXA wird die Oberflächen-temperatur des Asteroiden messen.

HyperScout-H
Das Spektrometer wurde von Cosine Research in den Niederlanden entwickelt und wird Daten zur geologischen Zusammensetzung des Asteroiden liefern.

Juventas
Juventas ist ein von dem dänischen Unternehmen Gomspace entwickelter Kleinsatellit, der Dimorphos mit Radarsensoren geophysikalisch charakterisieren soll. Zusammen mit dem Kleinsatellit Milani und dem Hera-Mutterschiff soll Juventas die Masse der Asteroiden ermitteln. An dem Radarexperiment auf Juventas ist die Technische Universität Dresden maßgeblich beteiligt.

AFC (Asteroid Framing Camera)
Zwei baugleiche Kameras liefern Bilder des Asteroiden in Wellenlängen des sichtbaren Lichts. Außerdem werden sie zur Navigation genutzt. Sie wurden vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Göttingen entwickelt und von Jena-Optronik gebaut. Das DLR leitet das Experiment.

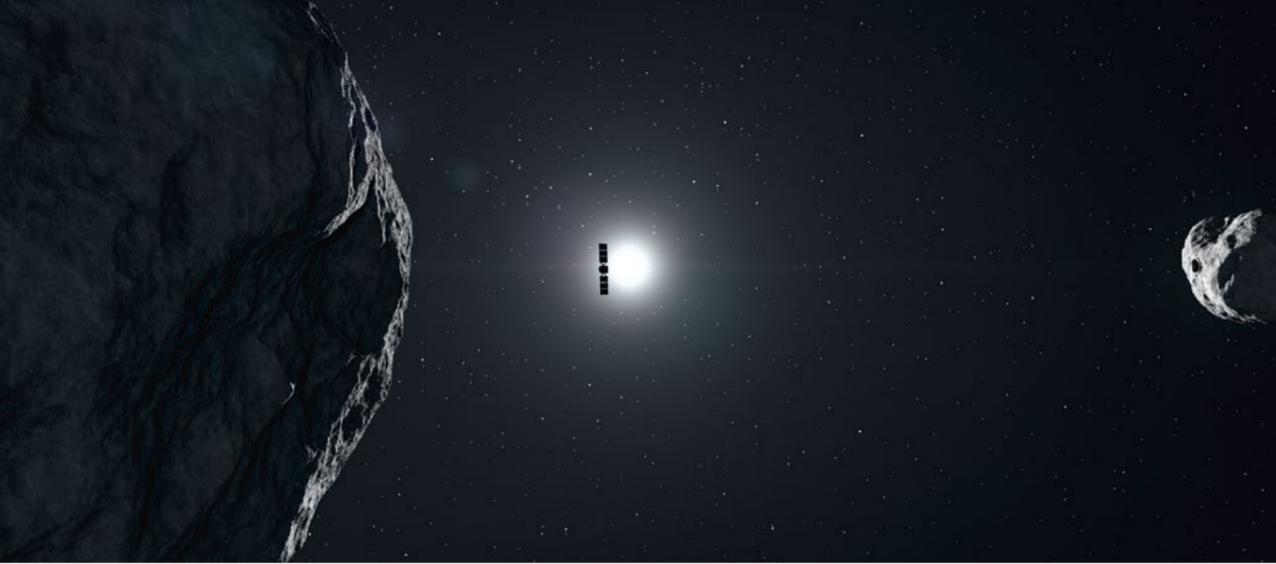
Milani
Der Kleinsatellit ist etwa so groß wie ein Schuhkarton. Er wird Hyperspektralmessungen durchführen, um die mineralische Zusammensetzung von Dimorphos und Didymos zu untersuchen. Milani wurde von einem Konsortium aus Unternehmen, Universitäten und Forschungsinstituten aus Italien, Finnland und der Tschechischen Republik entwickelt und von dem italienischen Unternehmen Tyvak gebaut.

PALT (Planetary ALTimeter)
Das LiDAR-Instrument (Light detection and ranging) bestimmt mit einem Laserstrahl die Entfernung zum Asteroiden und unterstützt so die Navigation. Das Instrument wurde maßgeblich von dem portugiesischen Unternehmen Efacec entwickelt.

SMC (Spacecraft Monitoring Camera)
Die Kamera wird hauptsächlich dazu genutzt, um Heras Kleinsatelliten zu beobachten. Sie wurde von dem italienischen Unternehmen TSD-Space geliefert.

Antenne
Die Antenne hat einen Durchmesser von 1,2 Metern und besteht aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff statt aus Aluminium. Sie wurde von der Münchner Firma HPS gefertigt und sorgt dafür, dass die Daten von Hera die Erde erreichen.

Quelle: iopscience.iop.org



Darstellung der Raumsonde Hera zwischen dem etwa 800 Meter großen Didymos und seinem kleineren Begleiter Dimorphos. Auf Zweiterem schlug im September 2022 die Raumsonde DART ein, um ihn aus der Bahn zu bringen.



Gleich kracht's! Mosaik der letzten Bilder der DART-Sonde vor dem Einschlag auf Dimorphos. Gut sichtbar die „Schutthaufen“-Morphologie des Asteroiden.

bestehen könnten. Dieses Phänomen ist nur in Ansätzen verstanden.

Eine Ursache dafür könnte sein, dass die Geschwindigkeit der Eigenrotation bei solchen Körpern durch die Bestrahlung mit Sonnenlicht und der verzögerten Abstrahlung der Wärme während der Asteroidennacht ganz langsam zunimmt. Wird ein Grenzwert überschritten, der die Stabilität von solchen Körpern mit losem Zusammenhalt gewährleistet, spaltet sich ein Tochterkörper ab. Hat dies zur Konsequenz, dass bei der Planung der Asteroidenabwehr mit zwei die Erde bedrohenden Körpern anders kalkuliert werden muss? Im Binärsystem Didymos/Dimorphos rotiert der größere, Didymos, mit fast genau diesem angenommenen Stabilitätsgrenzwert um seine eigene Achse. Was passiert, wenn Didymos und ähnliche Körper schneller rotieren und den Grenzwert überschreiten? Hera soll hier wichtige Erkenntnisse liefern.

Benannt ist die ESA-Mission übrigens nach der Göttin Hera aus der griechischen Mythologie, einer der (nicht wenigen) Partnerinnen des Zeus. Ihr werden viele unterschiedliche Schutzfunktionen zugeschrieben. Der Schutz der Erde vor Asteroideneinschlägen ist mit den Mitteln der Raumfahrt heute tatsächlich in greifbare Nähe gerückt, und man mag mit den Galliern aus den Asterix-Comics an die Götter appellieren, dass sie dafür sorgen mögen, dass uns „der Himmel nicht auf den Kopf falle“, ehe die Menschheit verlässliche Methoden erdacht, getestet und verfügbar hat, sollten neue Bahnrechnungen eine Kollision mit einem erdbahnkreuzenden Asteroiden anzeigen. Die Fachwelt geht davon aus, dass ein Körper der Größe von Dimorphos alle paar tausend Jahre auf der Erde einschlägt. Das erscheint viel Zeit, aber wie sagt der scheinbar gebildete Lateiner gerne: Tempus fugit.

Ulrich Köhler ist Planetengeologe am DLR-Institut für Weltraumforschung. Aufgewachsen nahe dem Nördlinger Ries, einem 25 Kilometer großen Krater, der vor 15 Millionen Jahren durch einen kilometergroßen Asteroiden in die Schwäbische Alb gerissen wurde, fasziniert ihn das Thema erdbahnkreuzende Asteroiden ganz besonders.

Bilder: ESA (oben); NASA/Johns Hopkins APL

Wie der Strom in den Lkw kommt

Der DLR Projektträger moderiert den Wettlauf um die passende Ladetechnik für den elektrischen Lkw

von Dr. Jens Erler und Lovis Krüger



Dieser eTGX ist das erste Fahrzeug von MAN, das mit dem Megawatt-Ladesystem ausgestattet ist.

Vor wenigen Sekunden hat Hubert Aiwanger, bayerischer Staatsminister für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie, einen Lkw ans Stromnetz angeschlossen. Vor 200 Gästen aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Medien demonstriert das Forschungsprojekt NEFTON an diesem Tag erstmals das Megawatt-Ladesystem. Ein Display neben dem Fahrzeug zeigt die aktuelle Ladeleistung an. Das Kabel, das den Lkw mit der Ladestation verbindet, ist so dick wie ein Arm und muss ständig gekühlt werden, denn in knapp drei Stunden fließt etwa so viel Strom hindurch, wie ein Dreipersonenhaushalt im Jahr verbraucht. Die große Batterie einer elektrischen Sattelzugmaschine lässt sich damit in weniger als 30 Minuten laden. Ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg hin zu klimaneutralem Güterverkehr auf der Straße.

Die Klimawende im Verkehr stockt

Während die Treibhausgasemissionen in den Sektoren Energie und Wirtschaft stetig sinken, bleibt der Verkehr ein Problem. Er ist für etwa ein Fünftel der deutschen Emissionen verantwortlich. Elektrische Pkw gehören zwar langsam zum Alltag auf der Straße, eLkw jedoch bleiben eine Rarität. Doch gerade bei

den Nutzfahrzeugen lohnt sich der Umstieg. Eine einzelne Sattelzugmaschine stößt im Jahr durchschnittlich so viele Treibhausgase aus wie 50 Pkw. Insgesamt erzeugen schwere Nutzfahrzeuge mehr als fünf Prozent der deutschen Treibhausgase. Wenn große Lkw auf deutschen Straßen schnell klimaverträglicher werden, könnte die Hälfte der Emissionen des Güterverkehrs eingespart werden.

In Deutschland fahren die meisten Personen- und Güterzüge heute schon mit erneuerbarem Strom. Eine umfassende, kurzfristige Verlagerung des Güterverkehrs von der Straße auf die Schiene ist aber aufgrund mangelnder Kapazitäten im Schienennetz nur begrenzt möglich. Um den Güterverkehr schnell klimaverträglicher zu machen und die nationalen Klimaziele 2030 und 2040 zu erreichen, müssen deshalb Ansätze im Vordergrund stehen, die den Straßengüterverkehr direkt betreffen.

eLkw stehen in den Startlöchern

Die gute Nachricht: eLkw sind schon Realität. Bei der wichtigsten Messe für Nutzfahrzeuge, der IAA Transportation, haben 2024 alle großen Fahrzeughersteller elektrische Sattelzugmaschinen vorgestellt, die etwa 500 Kilometer

Bild: MAN



DAS MEGAWATT-LADESYSTEM

Das Megawatt-Charging-System (MCS) ist ein neuer, speziell für die Anforderungen von Lkw und anderen schweren Nutzfahrzeugen ausgelegter Gleichstrom-Ladestandard. Das MCS wird seit 2018 entwickelt. Es soll eine bis zu zehnfach höhere Ladeleistung (3,75 Megawatt) als der übliche Schnellladestecker für Elektrofahrzeuge liefern. Die Abwärme, die durch den Strom von bis zu 3.000 Ampere entsteht, wird über große und aktiv gekühlte Gleichstrom-Kontakte und gekühlte Kabel abgeführt. Erste Serienfahrzeuge und Ladesäulen sollen noch in diesem Jahr mit dem MCS-Standard ausgestattet werden.

weit fahren können. Tonnenschwere Akkus in den Fahrzeugen speichern ausreichend Strom, um auch die ganz großen Lkw mit Anhängern über lange Strecken quer durch Europa zu bringen. Nur ein Problem ist noch nicht gelöst: Die Ladezeiten der Riesen-Akkus sind noch zu lang. Damit eLkw tatsächlich in großem Stil zum Einsatz kommen, müssen die Batterien auch in den 45-Minuten-Lenkpausen der Fahrenden so weit geladen sein, dass die Reise weitergehen kann. Herkömmliche Ladesäulen geben das nicht her. Deswegen arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Projekten wie NEFTON an neuen schnellen Ladesystemen. Ihre Forschungsergebnisse sind vielversprechend.

Der Wettlauf der Ladetechnologien

Mit dem Programm „Elektro-Mobil“ fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz die vielversprechendsten Ansätze für Ladetechnologien. Der DLR Projektträger koordiniert das Programm, moderiert den Wettlauf um die Technologien, die zum Markt passen, und begleitet die Forschenden in den geförderten Verbundforschungsprojekten. Diese beschäftigen sich unter anderem mit kabellosen, induktiven Ladesystemen, mit Oberleitungen und mit bidirektionalen Ladesystemen. Bei Letzteren könnten Pkw und Lkw Strom laden und bei Bedarf wieder abgeben. So werden sie zu einem Schwarm mobiler Stromspeicher. Mit dieser Technologie könnten Flottenbetreiber und Spediteure auch mit geparkten Fahrzeugen Geld verdienen. Die größten Hoffnungen ruhen allerdings auf zwei weiteren Ladetechniken: dem Megawatt-Ladesystem und den Wechselakkus.

Im Verbundforschungsprojekt NEFTON erforschen MAN, die TU München und fünf weitere Beteiligte das Megawatt-Ladesystem, das im vergangenen Sommer der Öffentlichkeit präsentiert wurde. Fahrzeughersteller favorisieren solche kabelgebundenen Ladesysteme. Ein aktuelles Ziel des Förderprogramms „Elektro-Mobil“ ist, Technologien zu identifizieren, die das kabelgebundene Schnellladen ergänzen und Synergien ermöglichen. Denn das Megawatt-Ladesystem bringt ein Problem mit sich: Für Stromnetze sind Ladeparks mit dutzenden Lkw, die jeweils rund 1.000 Kilowatt Leistung aus dem Netz ziehen, ein Problem. Bis entsprechend leistungsstarke Netzanschlüsse bereitgestellt sind, kann es fünf Jahre oder länger dauern. Schon heute fehlen zudem tausende Lkw-Stellplätze in Deutschland und durch die zukünftige Ladeinfrastruktur wird



„Wenn Flottenbetreiber selbst erzeugten Solarstrom vom eigenen Hallendach zwischenspeichern und verkaufen oder Energie an der Strombörse handeln, kann das die Gesamtkosten von eLkw senken und das Stromnetz resilienter gegen Störungen machen.“

Dr. Michael Schier, Abteilungsleiter im DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte

der Platzbedarf für stehende Sattelzugmaschinen weiter steigen.

Im Projekt eHaul arbeiten Forschende an einer Alternative, die die Netzengpässe umgehen könnte. Auch dieser Forschungsverbund aus TU Berlin, Bosch und fünf weiteren Beteiligten nutzt Fördergelder aus dem Programm „Elektro-Mobil“, und auch er wird vom DLR Projektträger begleitet. Statt Fahrzeuge im Stand zu laden, entwickelt eHaul ein automatisiertes Batteriewechselsystem, das entladene Batterien durch geladene ersetzt. Dieses Konzept feiert in China seit 2020 große Erfolge, wo mittlerweile etwa jeder zweite eLkw mit wechselbaren Batterien ausgestattet ist und immer mehr davon zugelassen werden. Prof. Stefanie Marker leitet bei der TU Berlin das eHaul-Forschungsprojekt. Sie sagt: „Schnellladen und Batteriewechsel sollten keine konkurrierenden Methoden sein. Sie können nebeneinander existieren und einen zuverlässigen E-Verkehr auf der Langstrecke ermöglichen. Idealerweise fungieren Batteriewechselstationen als Übergangslösung, bis der Energienetzausbau flächendeckend abgeschlossen ist, und darüber hinaus an Strecken, wo ein Mangel an Ladesäulen besteht.“ Allerdings müssen für ein Wechselsystem zusätzliche Batterien bereitgehalten werden, und zurzeit gibt es noch keinen einheitlichen Technikstandard.

Eines aber ist schon sicher: Das Wettrennen um die zukünftige Infrastruktur für eLkw ist in voller

Fahrt. Sobald die richtige Technologie gefunden ist, kann es ganz schnell gehen mit dem Umschwung im Güterverkehr.

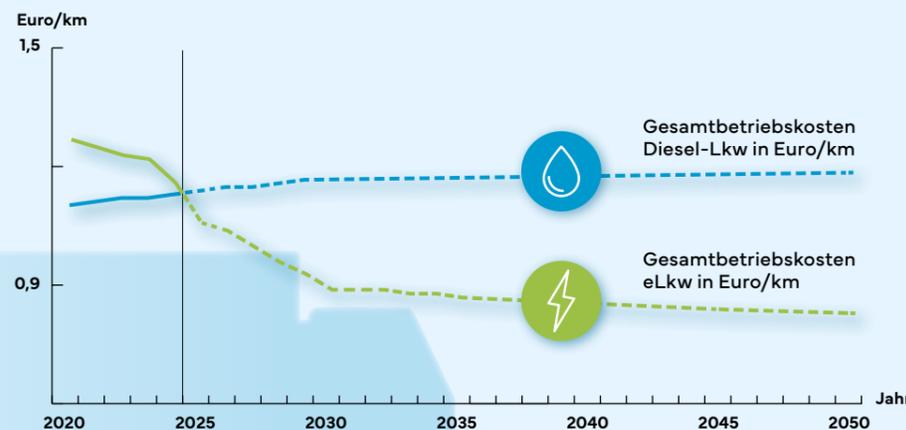
Wann eLkw den Markt erobern können

Anders als Pkw verkaufen sich Sattelzugmaschinen nicht über Emotionen, sondern über Zahlen. Logistikunternehmen stehen im harten Wettbewerb um geringe Margen und handeln streng nach betriebswirtschaftlicher Logik. Sobald die Gesamtkosten für Anschaffung, Betrieb und Wiederverkauf eines eLkw und Beschaffung von Ladeinfrastruktur für das eigene Depot geringer sind als die Kosten für herkömmliche Diesel-Lkw, steigen sie um – wenn die Ladesysteme reibungslos zum Betriebsablauf passen. Für deutsche Spediteure könnte es sich schon ab diesem Jahr finanziell lohnen, auf eLkw zu setzen. Eine Sattelzugmaschine legt am Tag etwa 600 bis 800 Kilometer zurück. In acht Jahren kommt sie so auf etwa eine Million Kilometer – und ans Ende ihrer Lebenszeit. In diesem Turnus erneuern Spediteure ihre Flotte. Sobald die eLkw einen Preisvorteil haben, könnte also ein Jahrzehnt später die deutsche Lkw-Flotte elektrifiziert sein.

Dr. Jens Erler ist wissenschaftlicher Referent für den Themenbereich Elektromobilität im DLR Projektträger und engagiert sich auch privat für die Energiewende. Lovis Krüger arbeitet in der Unternehmenskommunikation des DLR Projektträgers und fährt gerne Fahrrad.

Vergleich der Betriebskosten von eLKW und Diesel-Lkw

Modellrechnung des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte



Die Gesamtkosten für Anschaffung und Betrieb von eLkw könnten ab 2025 die Gesamtkosten von Dieselfahrzeugen unterschreiten. Neben dem technischen Fortschritt spielen hierbei die Mautbefreiung für eLkw und der steigende CO₂-Preis eine wichtige Rolle. Das zeigt eine Szenariobetrachtung des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte.

Mondstaub im Gegenlicht

Wolken feinsten Staubs schimmern im Scheinwerferlicht. Und dieser ist alles andere als gewöhnlich, denn er ist Mondstaub, also Regolith, täuschend ähnlich. Die Aufnahme entstand bei einem der ersten Experimente in der LUNA-Halle, die das DLR gemeinsam mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA im September 2024 in Köln eröffnet hat. Hier herrschen, bis auf die Temperatur und das Vakuum, Verhältnisse wie auf der Mondoberfläche. So können sich Astronautinnen und Astronauten oder Roboter für den Einsatz auf dem Mond vorbereiten. Das Institut für Kommunikation und Navigation des DLR hat in LUNA untersucht, wie sich Nutzlast-Boxen, Sensoren, Rover und Explorationscrawlers zu einem Netzwerk verbinden lassen. Dabei tauschten sie Signale aus, die für Kommunikation und Navigation gleichermaßen verwendet werden können. Das am Institut entwickelte Schwarmnavigationssystem kann zum Beispiel bei der Erkundung der Mond- oder Mars-Oberfläche helfen. Auch in Lavahöhlen oder Umgebungen auf der Erde, wo Satellitennavigation nicht zur Verfügung steht, kann es zur besseren Orientierung beitragen.

Bild: DLR

„Die europäische Luftfahrt muss wettbewerbsfähig bleiben“

Interview mit Dr. Ulrich Herrmann, DLR-Programmdirektion Luftfahrt und DLR-Koordinator von Clean Sky 2 sowie dem Nachfolgeprogramm Clean Aviation



Bild: DLR/Zana Jozeljic

Clean Sky 2 war das größte europäische Luftfahrtforschungsprogramm. Zehn Jahre forschte das DLR an möglichen Lösungen für eine klimaneutrale Luftfahrt.

Worum ging es in diesem großen Forschungsprogramm?

Clean Sky 2, dessen Vorgänger Clean Sky sowie das Folgeprogramm Clean Aviation, das 2023 gestartet ist, sind große Initiativen der Europäischen Kommission. Die Grundgedanken dieser Programme sind, dass die europäische Luftfahrt wettbewerbsfähig bleiben und bis 2050 klimaneutral sein soll. Zu Beginn von Clean Sky, also vor 20 Jahren, stellten wir fest, dass wir zwar eine Menge Forschung betreiben, uns aber große Flugexperimente oder integrierte Prototypen, sogenannte Demonstratoren, fehlten. Deshalb schlossen sich für diese Forschungsprogramme mehr als 800 europäische Luftfahrt-Organisationen zusammen: von großen Industrieunternehmen über kleine und mittlere Unternehmen bis zu Universitäten und Forschungsorganisationen wie dem DLR. Clean Sky 2 wurde mit 1,7 Milliarden Euro gefördert, dabei erhielt das DLR als fünftgrößter Empfänger über 80 Millionen Euro. Mit dem Geld wurden in neun Hauptprojekten mehr als 100 Demonstratoren und 1.000 Technologien entwickelt. Insgesamt engagierte sich das DLR in 27 Projekten.

Können Sie dafür Beispiele nennen?

Geforscht haben wir an Lösungen für Verkehrsflugzeuge, Businessjets, aber auch an Hubschraubern. Einerseits ging es um die Fluggeräte, aber auch um ihre Komponenten, also Flügel, Rumpf, Leitwerke, Antriebe und Kabinen. Im Programm wurde darüber hinaus an Produktionstechnik, Simulationsverfahren sowie an der Verbesserung von Messverfahren gearbeitet. Besonders interessant war die Erforschung von laminarer Strömung im Reiseflug. Beim Fliegen möchten

wir am Flügel oder am Triebwerk idealerweise viel laminare Strömung, also geringen Reibungswiderstand. Wenn es gelingt, diese Bauteile so zu entwerfen, dass sie möglichst laminar und nicht turbulent umströmt werden, sinken Widerstand und Treibstoffverbrauch. Außerdem wurde im Projekt Multi-Functional Fuselage Demonstrator, MFFD, daran gearbeitet, das Gewicht des Rumpfes zu reduzieren und diesen automatisiert produzieren zu lassen. Bei MFFD war das DLR prominent beteiligt. Der Rumpfdemonstrator wurde übrigens Anfang 2025 mit dem renommierten Innovationspreis der Verbundwerkstoffindustrie ausgezeichnet. Übergeordnet kam dem DLR die Aufgabe zu, alle Technologiebeiträge von Clean Sky 2 zu analysieren und bewerten. Diese Betrachtungen sind im sogenannten Technology Evaluator gesammelt.

Das ist ja eine ganze Menge. Was würden Sie noch hervorheben?

Neben dem RACER-Hubschrauber und dem MFFD war für mich persönlich die Installation und Inbetriebnahme des Verdichterprüfstands im Projekt 2Shaft Compressor herausragend: Mit der Hardware im DLR in Köln ist ein für die deutsche Industrie essenzieller Prüfstand entstanden, ebenso wie der neue Turbinenprüfstand in Göttingen. Das alles innerhalb der Laufzeit des Programms hinzubekommen, war eine Mammutaufgabe, die wir gut gemeistert haben.

Ein weiteres Beispiel sind die Arbeiten, die wir zur Laminarisierung von Verkehrsflugzeugen zusammen mit Airbus und Dassault gemacht haben. Dieser Technologie fehlte noch, sie so weiterzuentwickeln, dass sie einen Business-Case, also eine lohnende Investition, darstellt und dass sie in Serienflugzeuge integriert werden kann. Da sind wir wirklich weit gekommen.

Besonders beeindruckend war für mich, dass in Zusammenarbeit mit Dassault unser Forschungsflugzeug ISTAR mit künstlicher Vereisung geflogen ist. Eisansätze an den Flügelvorderkanten sind gefährlich und können dazu führen, dass das Flugzeug manövrierunfähig wird. Dementsprechend wurden strenge Zulassungsregularien eingeführt. Mit dem ISTAR haben wir im Flug vermessen, wie sich die Flugeigenschaften und die Flugleistung durch „simulierte“, künstliche Vereisung verändern. Flüge mit diesen Eisansätzen gab es bei der Zulassung dieses Flugzeugtyps, jedoch hat Dassault nicht die Steuerbarkeits- oder Leistungsänderungen erfasst. Unsere neuen Daten bilden die Grundlage, um das reale Verhalten des Flugzeugs mit Eisansätzen mit digital simulierten abzugleichen. Danach können Zulassungen neuer Flugzeuge teilweise am Computer erfolgen. Das wird viele teure und gefährliche Erprobungsflugstunden ersparen.

Bei welchen Ergebnissen sehen Sie die bedeutendsten Anknüpfungspunkte für die Luftfahrt?

Im Luftfahrzeug-Markt ist beispielsweise eine A320 durchaus 40 Jahre im Einsatz. Dementsprechend lang sind auch die Produkt- und Innovationszyklen. So werden mit jeder Generation größere technische Fortschritte umgesetzt. Besonders vielversprechend sind Gewichtsreduktion, Widerstandsreduktion und Kraftstoffeinsparung. Auch die Produktionskosten spielen eine Rolle. Eine neue Klappenauslegung am Flügel kann relativ schnell eingepflegt werden. Ein hybrid-laminare System hingegen muss in einen völlig neuen Flügelentwurf integriert werden. Für die Hersteller ist das ein hohes finanzielles Risiko. Mit unseren Arbeiten und Entwicklungen konnten wir zeigen, unter welchen Bedingungen ein solches System wirtschaftlich betrieben werden kann.

Welche Bilanz ziehen Sie aus Clean Sky 2?

Ich würde sagen, dass wir – und das meint alle DLR-Mitarbeitende, die an Clean Sky 2 beteiligt waren – unseren Job zu 110 Prozent erfüllt haben: Wir haben Probleme gelöst und Technologien erheblich reifer gemacht, sodass sie von den Herstellern in ihre Flugzeuge integriert werden können. Ob das tatsächlich geschieht, ist allerdings von Faktoren wie der weltweiten Wettbewerbssituation abhängig, die wir als DLR nicht beeinflussen können.

Unsere Herausforderung in Europa wird sein, unsere neuen, umweltfreundlichen Flugzeuge, die weniger verbrauchen, konkurrenzfähig günstig anbieten zu können. Was ich feststelle, ist, dass die Hersteller beginnen, die Umweltbelastung mit zu bedenken, denn sie haben jetzt eine Menge neuer, vielversprechender Technologien in der Schublade, mit denen sie diesen Schritt wirtschaftlich umsetzen können. Und wir als Aeronautics-Community haben erneut gezeigt, dass wir in Europa eine Menge erreichen können, wenn wir gemeinsam an einem Strang ziehen.

Und welchen Nutzen haben die Bürgerinnen und Bürger von dem Programm?

Sobald die nächste Generation von Verkehrsflugzeugen auf den Markt kommt, also ab etwa 2035, werden in ihnen viele Technologien zu finden sein, die in Clean Sky und Clean Sky 2 erarbeitet worden sind. Dessen bin ich mir sicher. Konkret könnte es sein, dass der Außenflügel eines neuen Verkehrsflugzeugs, das die A320 ersetzt, laminar betrieben wird, um Widerstand zu sparen. Das werden neue Arten von Triebwerken sein, die größer und effizienter sind. Das wird bedeuten, dass die Kabinen leiser werden. Einerseits durch Maßnahmen wie aktiven Gegenschall, also Active Noise Cancelling, eine Technik, die Sie vielleicht von Ihren Kopfhörern kennen, andererseits durch bauliche Veränderungen, durch die der Schall sich gar nicht so weit vom Ort des Entstehens bis in die Kabine ausbreiten kann. Das DLR hat auch an neuen Materialien, Produktionstechniken und Methoden

gearbeitet, die in der Umsetzung die Kosten senken können. Letztendlich forschen wir daran, dass Flugzeuge so umweltfreundlich werden, dass es auch in Zukunft und unter schärferen Umweltrandbedingungen möglich sein wird, mit dem Flugzeug zu reisen.

Clean Aviation, das Nachfolgeprogramm, ist schon gestartet ...

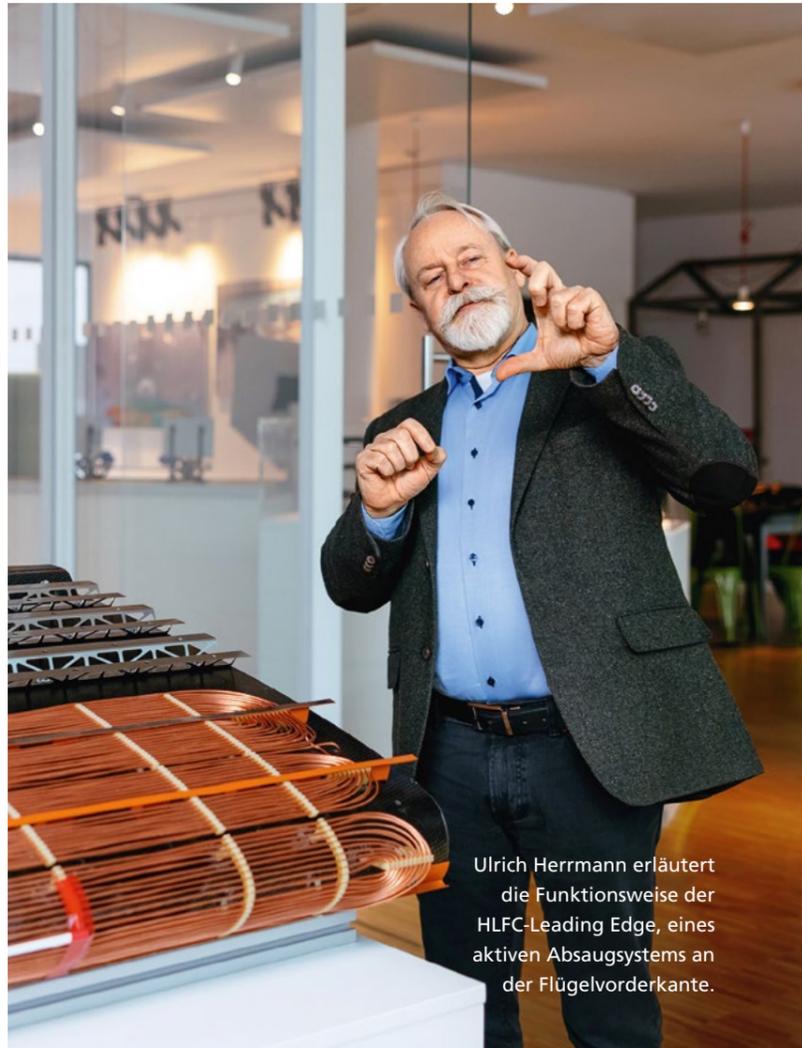
Wenn die Luftfahrt bis 2050 klimaneutral sein soll, müssen die relevanten Entscheidungen und Entwürfe 2035 fertig sein. Das ist schon recht bald. Und darauf konzentriert sich Clean Aviation. Es gibt daher keine Forschungsaktivitäten mehr zu Hubschraubern oder Businessjets, der Fokus liegt auf Verkehrsflugzeugen und deren Antrieben. Wir forschen weniger an Kabine und Flügel, sondern zusätzlich an Systemen. Damit das neue Flug-

zeug schneller kommt, wird in Clean Aviation außerdem die Zulassung neuer Technologien von Anfang an intensiv mit bearbeitet.

Und sind Sie wieder Koordinator des Projekts im DLR?

Ja, ich sehe meine Aufgabe ein bisschen wie die eines Pfadfinders durch den EU-Dschungel. Es ist toll, mit so vielen motivierten Leuten zusammenzuarbeiten, und ich möchte dafür sorgen, dass diese auch die entsprechenden Mittel erhalten, um ihre konstruktiven Ideen zusammen mit den europäischen Beteiligten in umweltfreundliche und anwendbare Technologien umsetzen zu können.

Die Fragen stellte **Julia Heil**. Sie ist Redakteurin und kam kurz nach dem Start von Clean Sky 2 in die DLR-Kommunikation.



Ulrich Herrmann erläutert die Funktionsweise der HLFC-Leading Edge, eines aktiven Absaugsystems an der Flügelvorderkante.

Technology Evaluator

Die Ergebnisse von Clean Sky 2

In dem großen europäischen Luftfahrtforschungsprogramm Clean Sky 2 ging es um eine umweltverträglichere, leisere Luftfahrt. Ein Projekt war der sogenannte Technology Evaluator, in dem die Technologien und Demonstratoren ganzheitlich bewertet wurden. Die Daten für die jeweiligen Analysen lieferte die Industrie an das DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt, das die Bewertungen für den Betrieb einzelner Flugzeuge (Missionsebene) durchführte. Danach übertrug das DLR-Institut für Luftverkehr zusammen mit Beteiligten wie der Cranfield University und dem Netherlands Aerospace Centre (NLR) die Daten auf den Betrieb gesamter Flughäfen (Flughafenebene)

sowie auf den globalen Luftverkehr in Europa bis 2050 (Gesamtsystemebene).

Die Ergebnisse zeigen, dass allein durch die Clean-Sky-2-Technologien – noch ohne den Einsatz alternativer Energieträger – der Anstieg der CO₂-Emissionen im Zeitraum von 2019 bis 2050 auf 23 statt 43 Prozent begrenzt werden kann. Beim Fluglärm ist sogar eine Reduktion um bis zu 44 Prozent des effektiv wahrgenommenen Lärms möglich. Zudem zeigen die Auswertungen im Technology Evaluator positive Effekte auf Beschäftigung und Bruttowertschöpfung im europäischen und globalen Luftfahrtsektor.

ZIELE VON CLEAN SKY 2*



* bezieht sich auf die Technologien, die auf Missionslevel entwickelt wurden, im Vergleich zu typischen Flugzeugen aus dem Jahr 2014

BEWERTUNGSEBENEN



BEWERTUNG DER MISSIONSEBENE

	-CO ₂	-NO _x	☰
Langstrecke	-18,2 %	-44,9 %	-20,1 %
Mittelstrecke	-25,8 bis -30,4 %	-2,3 bis -5,1 %	-11,5 bis -16,3 %
Kurzstrecke	-25 bis -32,5 %	-44 bis -60 %	+14 bis -44 %

Zum Abschlussbericht des Technology Evaluators mit weiteren Ergebnissen

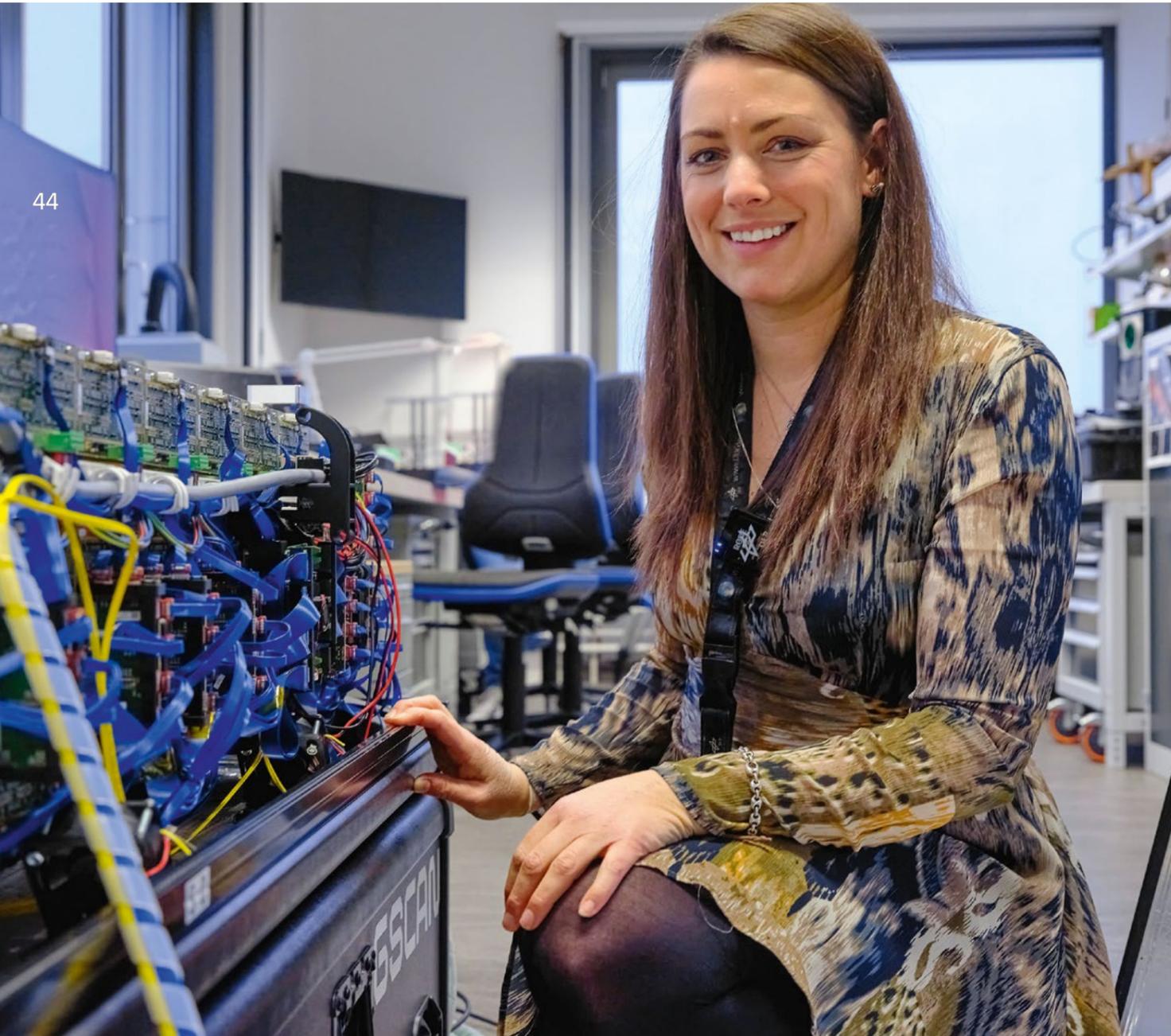


Quelle: Clean Aviation

Verborgenes sichtbar machen

Dr. Sarah Barnes ist Expertin für Myonen-Tomografie

von Lukas Lenz

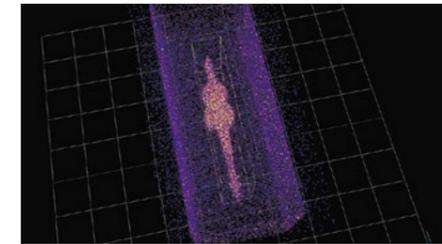
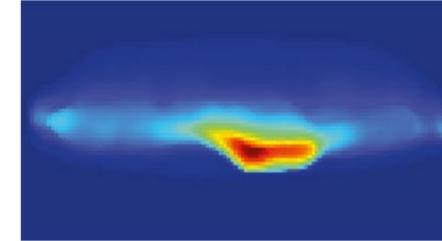
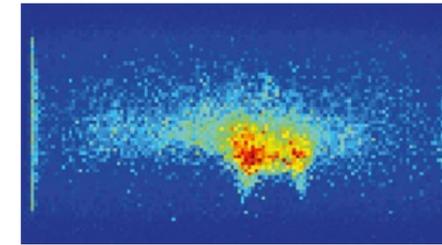


44

Ein Scanner, der die natürlich vorkommende Myonen-Strahlung nutzt, kann innerhalb weniger Minuten sichtbar machen, welches Material sich zum Beispiel im Inneren eines Schiffscontainers befindet und welche Form es hat.

Sarah Barnes vom DLR-Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen untersucht die Einsatzmöglichkeiten von Myonen. Das sind Elementarteilchen, die Bestandteil der kosmischen Strahlung sind und deswegen überall vorkommen.

Bilder: DLR (S. 44), DLR/Felix Sattler (S. 45)



prasselt auf die Erde herab. Sarah Barnes hat sich zum Ziel gesetzt, mit Myonen Objekte tomografisch zu untersuchen, um Verborgenes sichtbar zu machen. Solche Verfahren kennt man normalerweise aus der Radiologie – nur, dass die natürlich vorkommenden Myonen in der kosmischen Strahlung im Gegensatz zu künstlich erzeugten Röntgenstrahlen keine zusätzlichen negativen gesundheitlichen Auswirkungen haben.

Jenseits der Röntgengrenzen

Diese neue Technologie eröffnet vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Beispielsweise könnte man mit einem Myonen-Scanner die Integrität von Brücken überprüfen, ohne sie für den Verkehr sperren zu müssen. In der Industrie könnten Prototypen aus besonders dichten Materialien inspiziert werden, ohne dass diese in ihre Bestandteile zerlegt werden müssten. Außerdem könnte die Myonen-Tomografie auch genutzt werden, um den Zustand von Atommüll-Containern zu überprüfen. So ließe sich feststellen, ob Container und Inhalt noch intakt sind – wichtige Informationen für die verlängerte Zwischen- und die notwendige Endlagerung.

In der Archäologie wird diese Technik aktuell angewendet, um beispielsweise Pyramiden auf versteckte Hohlräume zu untersuchen oder um alte Urnen zu durchleuchten, die zu zerbrechlich sind, um sie zu öffnen. In der Geologie nutzt man die Myonen-Tomografie, um Vulkankammern zu beobachten und potenzielle Ausbrüche einzuschätzen. Für das DLR steht eine weitere Anwendung im Fokus: Um die Sicherheit an Häfen und Grenzübergängen zu erhöhen, arbeiten Forschende in dem EU-finanzierten Projekt SilentBorder an einem Myonen-Tomografen, mit dem Schiffscontainer gescannt werden sollen.

Eine Reise fast in Lichtgeschwindigkeit

Für die Tomografie nutzt Sarah Barnes zwei sich gegenüberliegende Detektorplatten, auch Hodoskope genannt. Die Platten bestehen jeweils aus drei Doppelschichten Fasern, die senkrecht zueinander verlaufen. Wenn ein Myon solch eine Faser durchdringt, wird ein Lichtblitz erzeugt, der vom Computer aufgezeichnet wird. Dadurch kann die Position des Myons in den Detektoren bestimmt

Während wir hier stehen und reden, durchdringen uns Tausende von Myonen“, erklärt Dr. Sarah Barnes, Forscherin vom DLR-Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen, in aller Ruhe und zeigt in ihr Büro – eine Mischung aus Labor und Lagerhalle. Links ragen bunte Kabel aus Regalen und Wänden, rechts stehen ein paar Schreibtische mit Computern. „Das kam erst gestern rein“, sagt die gebürtige Britin und meint damit zwei schwarze Boxen, die mitten im Raum lagern, „Detektorplatten für die Myonen-Tomografie“.

Barnes ist Myonen-Forscherin. Für das DLR untersucht sie die Elementarteilchen, die überall um uns herum vorhanden sind und einen Teil der sogenannten kosmischen Strahlung bilden. Diese hochenergetische Teilchenstrahlung stammt aus den Weiten des Weltraums, zum Beispiel von Schwarzen Löchern, Supernovae oder unserer Sonne. Sie trifft als Protonen auf die Erdatmosphäre, woraufhin viele weitere Teilchen entstehen: Elektronen, Protonen, Neutronen und eben auch Myonen. Dieser Teilchenschauer

45



Sarah Barnes und ihr Kollege Maximilian Pérez Prada untersuchen die Ausleseelektronik des Myonendetektors.



SILENTBORDER

SilentBorder ist ein von der EU finanziertes Projekt, in dem DLR-Forschende zusammen mit neun europäischen Universitäten, Firmen und Behörden den Prototyp eines intelligenten und kostengünstigen Scanners entwickeln. Innerhalb von zwei bis fünf Minuten soll ein Container durch den Scanner fahren können, ähnlich der Gepäckkontrolle am Flughafen. Da die natürlich vorkommende Myonen-Strahlung kein zusätzliches Gesundheitsrisiko darstellt, erhoffen sich die Forschenden ein flexibleres und weniger bürokratisches Verfahren ohne die Einschränkungen der Strahlenschutzbestimmungen.

Aktive und passive Verfahren

Bei bildgebenden Verfahren unterscheidet man zwischen aktiven und passiven Verfahren. Bei aktiven Verfahren wird Strahlung emittiert, die gemessen wird. Beispiele sind Ultraschall oder Röntgen. Passive Methoden nutzen entweder Strahlung, die vom Objekt selbst emittiert wird, wie die Temperaturverteilung auf einer Wärmebildkamera, oder Strahlung, die ohnehin vorhanden ist, wie

die kosmische Strahlung. Ein Vorteil passiver Verfahren ist ihr geringer Energiebedarf. Ein Myonen-Scanner-Panel verbraucht nur etwa 100 Watt, so viel wie ein leistungsstarker Laptop. Außerdem ermöglicht die Myonen-Tomografie eine dreidimensionale Bildgebung der untersuchten Objekte, was ansonsten nur mithilfe von komplexen und teuren Techniken, wie der Computertomografie, möglich ist. Der Nachteil ist der Zeitaufwand bei der Untersuchung sehr großer Objekte, da die Anzahl der Myonen in der kosmischen Strahlung begrenzt ist. Es gilt: Je besser die Auflösung des Bildes sein soll, desto mehr Myonen müssen getrackt werden.

Weniger Bürokratie, mehr Sicherheit

Möglicherweise ließe sich beim Einsatz von Myonen-Scannern auch der Bürokratieaufwand reduzieren, da die Strahlenschutzvorgaben beim Umgang mit künstlichen Strahlungsquellen wegfallen. Weil keine speziellen Sicherheitsvorkehrungen getroffen und dokumentiert werden müssen, kann die Technologie einfacher vom Personal genutzt werden.

An Containerhäfen werden derzeit nur zwei bis zehn Prozent aller Container stichprobenartig auf illegale Güter geprüft. Dafür werden verschiedene Methoden angewendet. Am weitesten verbreitet sind Röntgen-Scans und die menschliche Kontrolle durch Öffnen des Containers. In einigen Fällen werden auch Spürhunde eingesetzt, um Drogen oder Menschen zu finden. Diese Methoden sind zeitaufwändig und kostenintensiv.

Am Ende unseres Gesprächs wirft Sarah Barnes einen Blick in die Zukunft: „Wir hoffen, dass durch unsere Arbeit die ersten Myonen-Scanner in den nächsten fünf bis zehn Jahren in den Häfen stehen werden. Der Traum für die ferne Zukunft wäre ein großes Myonen-Scan-System, durch das die Schiffscontainer direkt nach dem Entladen gefahren und innerhalb von wenigen Minuten gescannt werden, ähnlich wie Gepäck auf dem Flughafen – alles automatisch und ohne Strahlungsbelastung.“

Lukas Lenz ist Werkstudent in der DLR-Kommunikation. Für diese Geschichte ist er tief abgetaucht in die physikalische Welt und durfte aus nächster Nähe einen Blick auf Myonen bei der Arbeit werfen.

Bild: DLR

Bild: Getty Images/Matthew Micah Wright

Leichter fliegen

Intelligente Lastkontrolle spart Treibstoff und schont die Umwelt

von Vera Koopmann

Meine Damen und Herren, wir erwarten in Kürze leichte bis moderate Turbulenzen. Bitte kehren Sie zu Ihrem Sitzplatz zurück und schnallen Sie sich an. Stellen Sie sicher, dass Ihr Sicherheitsgurt ordnungsgemäß geschlossen ist.“ Wer häufiger mit dem Flugzeug fliegt, kennt diese Durchsage. Sie ertönt, wenn man durch wechselnde Luftschichten fliegt oder auf Gewitter und Sturmböen trifft. Was Passagiere als unangenehmes Ruckeln erleben – sogenannte Lasten, denen das Flugzeug während des Reisefluges zusätzlich ausgesetzt ist. Um diesen Kräften standzuhalten, benötigt es robuste Strukturen. Die Folgen sind ein höherer Treibstoffverbrauch

und ein weniger effizienter Flug. Doch moderne Technik könnte dieses Problem bald lösen: mit intelligenter Lastkontrolle.

Wie funktioniert intelligente Lastkontrolle?

Im DLR-Projekt oLAF (Optimal Lastadaptive Flugzeug) arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, zusätzliche strukturelle Belastungen zu erkennen und diese zu reduzieren. Bisher halten Flugzeuge Turbulenzen passiv durch stabile Konstruktionen stand. Hochmoderne Lastkontrollsysteme dagegen arbeiten aktiv: „Man kann sich das vorstellen wie eine

1,75 Meter ist der Glasfaserflügel lang, der für das Projekt oLAF im Niedergeschwindigkeitswindkanal in Braunschweig getestet wurde (unten). Die kleinen Punkte sind Sensoren einer optischen Messtechnik, mit deren Hilfe sich die Verformung des Flügels unter Last präzise berechnen lässt (rechts). Moderate Turbulenzen erzeugen Lasten zwischen 0,5 und 1,5 g.



Federung im Auto, die Unebenheiten auf der Straße ausgleicht. Während herkömmliche Stoßdämpfer passiv auf Schlaglöcher reagieren, passt sich eine aktive adaptive Federung vorausschauend an – sie erkennt Veränderungen und gleicht sie gezielt aus. Genauso funktioniert unser System in der Luft: Es reagiert in Echtzeit auf Böen und reduziert die zusätzlichen Belastungen auf das Flugzeug“, erklärt Dr. Lars Reimer, Projektleiter am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik. „Durch die Integration der innovativen Lastregelung können wir leichtere, effizientere Flugzeug-Konfigurationen entwickeln, ohne die Sicherheit zu gefährden, und gleichzeitig den Passagierkomfort erhöhen.“

Frühe Integration der Lastkontrolle

Grundsätzlich ist die Idee einer Lastkontrolltechnologie nicht neu – bei vielen Flugzeug-Baureihen gibt es bereits Systeme, die Böen und Manöverlasten entgegenwirken. Doch meist wurden sie erst nach Abschluss der grundlegenden Designentwicklung eingebracht, wenn an der Struktur kaum noch Änderungen möglich waren. „In oLAF haben wir die Technologie von Beginn des Entwurfs an integriert“, betont Reimer. Mithilfe von Computersimulationen verglich das Projektteam ein Flugzeug mit heutiger Technik und einen Entwurf mit innovativer Lastkontrolltechnologie. Es zeigte sich, dass moderne Lastkontrolle Tragflügel potenziell nicht nur leichter macht, sondern darüber hinaus auch aerodynamisch optimiert.

Von der Simulation in den Windkanal

Im nächsten Schritt testeten die Forschenden einen solchen leichten Tragflügel im Niedergeschwindigkeitswindkanal. „Unser elastischer Flügel war mit be-

weglichen Klappen und Spoilern ausgestattet, die wir mit einem eigens entwickelten Böengenerator auf die Probe stellten“, erklärt Prof. Wolf Krüger, Co-Projektleiter des DLR-Instituts für Aeroelastik. Ziel war es, die Kräfte zu analysieren, die auf den Flügel wirken, wenn die Hinterkantenklappen durch das intelligente Lastkontrollsystem ausschlagen und den Belastungen entgegenwirken – oder wenn sie dies nicht tun.

Das DLR-Team verglich die resultierenden Schwingungen am Flügel für unterschiedliche Fälle ohne und mit eingeschaltetem Lastregler. „Mit aktiver Lastkontrolle verformte sich der Flügel deutlich weniger und die Belastung am Flügelansatz konnte um bis zu 80 Prozent reduziert werden“, berichtet Krüger.

Wirtschaftlich und nachhaltig

Die Ergebnisse aus der Simulation und den Versuchen zeigen das große Einsparpotenzial solcher Systeme. „In oLAF sind wir zu dem Ergebnis gekommen, dass intelligente Lastkontrollsysteme, wenn wir sie früh in den Flugzeugentwurf mit einbeziehen, den Treibstoffverbrauch eines Flugzeugs um bis zu 7,2 Prozent senken können“, bilanziert Reimer. Bei einer typischen Langstreckenmaschine entspricht das mehreren Tonnen Kerosin pro Flug – genug, um jährlich Millionen Euro einzusparen und den CO₂-Ausstoß erheblich zu reduzieren. Weniger Material- und Treibstoffverbrauch bedeutet nicht nur eine Entlastung für die Umwelt, sondern auch wirtschaftliche Vorteile. Konkret heißt das eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit um bis zu sieben Prozent aufgrund des geringeren Verbrauchs – und das trotz potenziell höherer Wartungskosten. „Während wir die Lastkontrolle anfangs vor allem als Methode zur Gewichtsreduktion gesehen haben, ist sie jetzt ein Schlüssel für Tragflächen mit besserer Aerodynamik und höherer Effizienz“, freut sich Lars Reimer.

Vom Boden in die Luft

Damit das Flugzeug Turbulenzen schon erkennt, bevor sie es erreichen, wird die Lastabminderungstechnologie in der nächsten Phase in die Luft gebracht. In Nachfolgeprojekten soll sie am DLR-Forschungsflugzeug ISTAR getestet werden. Dieses wird mit sogenannten LiDAR-Sensoren (Light Detection and Ranging) ausgestattet, die in der Lage sind, ein Windfeld schon weit im Voraus zu erfassen. Vielleicht gehört die Ansage „Bitte schnallen Sie sich an, wir erwarten Turbulenzen“ bald der Vergangenheit an – dank intelligenter Lastkontrolle und Flugzeugen, die mitdenken.

Vera Koopmann ist für die Kommunikation am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik verantwortlich. Sie ist fasziniert, wenn Ingenieurskunst und Aerodynamik zusammenkommen, um das Fliegen effizienter und umweltfreundlicher zu machen.

„Zu Beginn dachten wir, Lastkontrolle sei eine Methode zur Gewichtsreduktion. Jetzt sehen wir: Sie ist ein wichtiger Schlüssel für bessere Aerodynamik und höhere Effizienz.“

Dr. Lars Reimer, Projektleiter am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

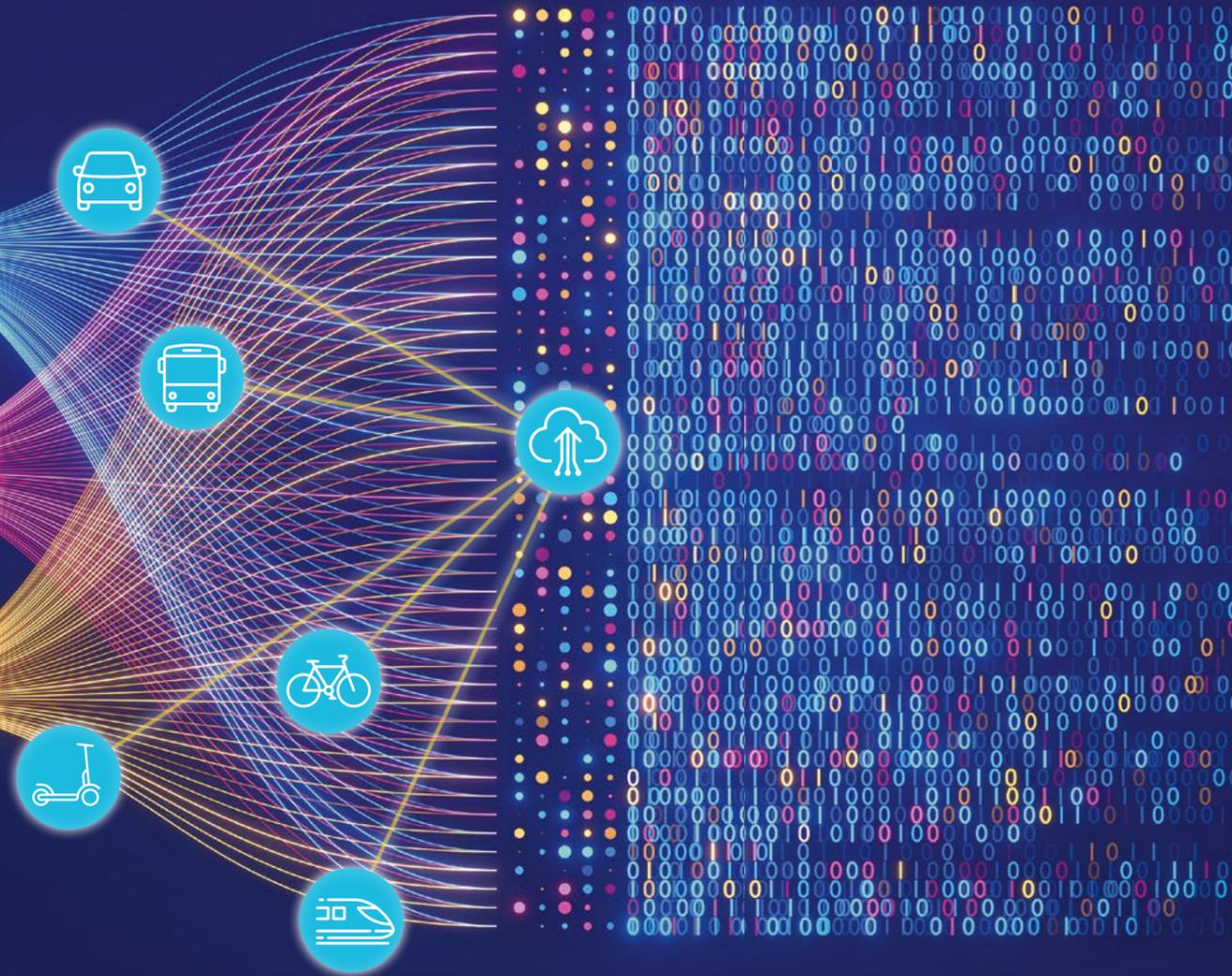


Neue Türen für Datenräume

Base-X verbindet Daten für eine nachhaltige Mobilität

von Katja Lenz

50



Was sind eigentlich Datenräume? Im übertragenen Sinne kann man sie sich so vorstellen: Eine Menge Zimmer, in denen sortiert genau das liegt, was man braucht. Sie können nur von denen geöffnet werden, die einen passenden Schlüssel haben und sich identifizieren. Nur diejenigen dürfen auch etwas dazulegen oder ein neues Zimmer einrichten. Weil unfassbar viel Material gelagert ist, das schnell miteinander kombiniert werden muss, sind die Zimmer miteinander verbunden. Natürlich alles virtuell. Mit den Worten von DLR-Wissenschaftler Maximilian Stäbler: „Ein Datenraum ermöglicht die vertrauensvolle Umsetzung datenbasierter Anwendungen und Geschäftsmodelle. Dabei wird allen Akteuren ein hohes Maß an Flexibilität und Souveränität geboten.“ Maximilian Stäbler leitet im DLR-Institut für KI-Sicherheit das Projekt Base-X. „Base-X ist eine umfassende technische Lösung, die Transportmittel,



DAS DLR-INSTITUT FÜR KI-SICHERHEIT

Das DLR-Institut für KI-Sicherheit erforscht und entwickelt KI-bezogene Methoden, Prozesse, Algorithmen und Technologien. Sie werden in Energie, Verkehr, Luft- und Raumfahrt eingesetzt sowie in weiteren für den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Deutschland relevanten Bereichen. Der Fokus des Instituts liegt unter anderem auf Cybersicherheit sowie Automatisierung in Mobilität und Logistik.

Mobilitätsdienste und Infrastrukturen zu einem vernetzten Ökosystem integriert, um nahtlose, effiziente und nachhaltige Verkehrslösungen für städtische und ländliche Gebiete zu ermöglichen.“

Daten schnell miteinander verknüpfen

Base-X ist außerordentlich flexibel und deswegen für viele Anwendungen geeignet – sozusagen ein Tausendsassa in der Datenraum-Welt. Die ersten Pilotprojekte laufen in Hamburg und Ulm sowie in Daegu, Südkorea. An allen drei Orten bringt Base-X unterschiedliche Daten zusammen, die bisher nicht zueinander gefunden haben oder nicht für eine integrierte Anwendung gedacht waren. Das heißt, dass Pendlerinnen und Pendler in Zukunft womöglich nicht mehr von App zu App wechseln müssten, wenn sie vom Zug auf ein Fahrrad oder einen E-Scoo-

ter umsteigen wollen. Intermodales Reisen ist ein besonders komplexer, aber gut geeigneter Fall für Base-X: Die Daten der unterschiedlichen Anbieter liegen ordentlich in ihren „Zimmern“ bereit, allerdings kann man sie nicht in eine gemeinsame Anwendung übertragen. In dem Bild vom Anfang hieß das: Wenn man sich in einem Zimmer zurechtfindet, bedeutet es nicht, dass das in einem anderen Zimmer auch gelingt – zum Beispiel, weil es eine andere Ordnungsstruktur hat. Base-X liefert die passenden Türschilder, Wegweiser, begründet Stufen und baut auf Wunsch weitere Sicherheitsschlösser ein. Oder: Base-X ist wie eine Vermittlungsplattform. Wer mitmacht, entscheidet selbst, wie die zur Verfügung gestellten Daten für welchen Zweck genutzt werden dürfen. Der Datentransfer läuft dabei nicht über Base-X, sondern Base-X vermittelt zur richtigen Datenquelle und gewährleistet den Datentransfer nach vereinbarten Regeln.

Bilder: Getty Images/NicoElnino (S. 50), DLR (S. 51)



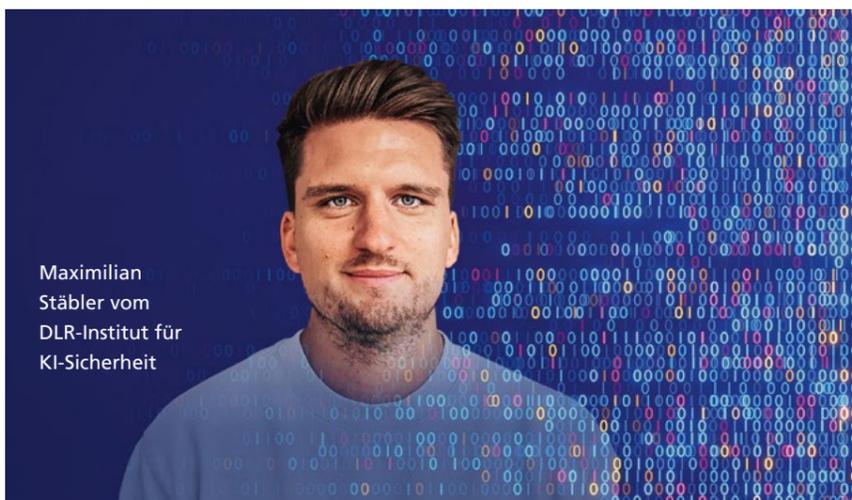
ÜBER BASE-X

Base-X ist hervorgegangen aus der Projektfamilie Gaia X 4 Future Mobility. Über dreieinhalb Jahre haben 80 Unternehmen und Forschungseinrichtungen an mehr als 20 Anwendungsfällen gearbeitet – alle aus dem Mobilitätsbereich. Das DLR-Institut für KI-Sicherheit ist für die Koordination der Projektfamilie verantwortlich. Gaia-X ist ein europäisches Projekt und hat das Ziel, eine leistungsfähige, sichere und wettbewerbsfähige Dateninfrastruktur zu schaffen. Base-X verbindet bestehende Daten- und Dienste-Infrastrukturen nahtlos mit Gaia-X-konformen Datenräumen und Datenökosystemen. Gaia-X zielt darauf ab, eine transparente, offene digitale Umgebung zu schaffen, in der Daten und Dienste leicht zugänglich, austauschbar und sicher sind.

Es gibt in der Mobilität viele Möglichkeiten für Base-X. Zum Beispiel kann auch die Instandhaltung von Straßen unterstützt werden: In Zukunft könnte jedes Fahrzeug, das mit einer Kamera ausgestattet ist, Straßen inspizieren. Dazu ist eine Software nötig, die die aufgezeichneten Bilder und Videos bewertet und beschriftet – und natürlich ein Datenraum, in dem die Ergebnisse aufbewahrt und zur Verfügung gestellt werden. Um welche Art von Schaden handelt es sich? Ist es ein Schlagloch? Wo genau ist der Schaden? Wie sieht er aus? Wie dringlich muss er behoben werden? Über Base-X können die Ergebnisse leicht nutzbar gemacht werden. Diesen Anwendungsfall setzt das Institut für KI-Sicherheit gerade mit Beteiligten aus der Industrie und den Kommunen Hamburg und Ulm sowie der südkoreanischen Stadt Daegu um.

Maximilian Stäbler und Frank Köster, Leiter des DLR-Instituts für KI-Sicherheit, möchten Base-X weiterbringen, Kooperationen vereinbaren und dabei insbesondere datengetriebene Mobilitätslösungen durch digitale Infrastrukturen stärken. Kürzlich waren die beiden deshalb in Südkorea: „Die internationale Zusammenarbeit unterstreicht nicht nur die Skalierbarkeit des Ansatzes, sondern auch dessen Potenzial für praktische Anwendungen“, sagt Stäbler. Base-X unterstütze zusätzlich die Industrie bei der Entwicklung interoperabler und skalierbarer Lösungen. Frank Köster unterstreicht: „Aus unserer Sicht gehen wir mit Base-X einen entscheidenden Schritt in Richtung einer souveränen digitalen Zukunft.“

Katja Lenz arbeitet als Presseredakteurin in der DLR-Kommunikation.



Maximilian Stäbler vom DLR-Institut für KI-Sicherheit

51

Sterne, Galaxien und eine Prise Nostalgie

Ein Tag im Planetarium Bochum

von Claudio Steffes-tun

Das Planetarium Bochum thront auf einem kleinen Hügel. Wer hinaufwill, folgt einem schmalen Weg bis hoch zum Dach des denkmalgeschützten Gebäudes, das mit seiner Retro-Architektur aus dem Jahr 1964 an vergangene Zeiten erinnert. Mittlerweile hat grünes Moos die einst weiße Kuppel erobert und spätestens beim Blick auf die Plakette neben dem Haupteingang mit der Aufschrift „Denkmal“ macht sich ein nostalgisches Gefühl breit. Im Inneren eröffnet sich dann eine faszinierende Welt, die den Weg zu den Sternen ebnet.

Technik trifft Zeitgeist

Beim Betreten des Foyers geben Fotografien weit entfernter Galaxien einen Vorge-

schmack auf die Shows im großen Saal, die lebensgroße Nachbildung eines Astronauten sowie eine große Weltkugel stimmen auf die Reise ins All ein. Trotzdem bleibt sich das Haus auch innen treu, denn die Fußböden, große Teile der Möbel und die Holzvertäfelungen stammen noch aus den Sechzigern.

Bevor es endlich losgehen kann, hat man die Qual der Wahl: Möchte man sich in den unendlichen Weiten des Universums verlieren oder lieber an einer „Planeten-Safari“ teilnehmen? Im Saal angekommen heißt es dann: Rückenlehne zurück und staunen. Im Sternentheater finden bis zu 251 Personen Platz. In der Show „Faszinierendes Weltall“ machen sich die Zuschauenden auf die Reise zu Planeten, Monden, Sternen und fernen



Regelmäßig finden im Planetarium Bochum kulturelle Events wie das Luna Festival 2018 statt.



Modernste Technik in nostalgischem Ambiente – wie hier bei der Musikshow „Flow – Visions of Time“

Galaxien, die in beeindruckender Schönheit auf die runde Kuppel projiziert werden. Dass einige Aufnahmen dabei leicht unscharf wirken, ist der Originalität der Bilder geschuldet. Aber genau das unterscheidet ein Planetarium von einem IMAX.

Himmlich scharfer Sternenhimmel

Das Herzstück des Planetariums ist der Sternenprojektor. Er bildet mit beeindruckender Präzision den Nachthimmel ab. Und spätestens hier ist die Nostalgie passé, denn unter dem schützenden Mantel, der historisch anmuten mag, verbirgt sich modernste Technik. „Die Schärfe der Sterne ist mit digitaler Technologie kaum zu erreichen“, erklärt die Direktorin des Planetariums und Astrophysikerin, Prof. Susanne Hüttemeister, und ergänzt: „Dank Glasfaseroptik können wir die Sterne in einer Brillanz darstellen, die keine digitale Projektion bieten kann.“ Ergänzt wird der analoge Projektor von Zeiss durch ein digitales System.

Ein Ort für alle Generationen

Mit mehr als 300.000 Besucherinnen und Besuchern pro Jahr ist das Planetarium in Bochum eines der meistbesuchten Sternentheater Europas und hat sich nicht nur als wissenschaftlicher Anlaufpunkt etabliert: Noch in diesem Jahr findet dort beispielsweise ein Experimentalkonzert in Zusammen-

arbeit mit den Dresdner Sinfonikern statt, bei dem Musizierende in Indien und Bochum gleichzeitig spielen werden. Auch Bildungsveranstaltungen hat das Planetarium fest im Programm. Es ist Teil des European Space Education Resource Office (ESERO), einer Initiative der Europäischen Weltraumorganisation ESA in Zusammenarbeit mit Organisationen wie dem DLR, der Ruhr-Universität Bochum und der Universität Bonn. Und selbst Astronautinnen und Astronauten nutzen das Planetarium, um sich auf künftige Missionen vorzubereiten und ihre Orientierungsfähigkeiten auf der Internationalen Raumstation ISS anhand von Sternbildern zu trainieren.

Auf in die Weiten des Alls!

Ein Besuch im Planetarium Bochum ist mehr als ein Ausflug. Es ist eine Reise in die Weiten des Alls, eine Erinnerung daran, wie verletzlich und gleichzeitig besonders unser Platz im Universum ist. Seiner Mission bleibt das Planetarium dabei treu: Menschen den Kosmos näherzubringen und sie mit der Schönheit des Universums zu inspirieren. Und wem all das noch nicht genügt, hat sogar die Möglichkeit, sich unter einem romantischen Sternenhimmel das Ja-Wort zu geben.

Claudio Steffes-tun ist Werkstudent in der DLR-Kommunikation. Das Herzblut, das in der Arbeit des Planetariums steckt, war für ihn nicht zu übersehen.



PLANETARIUM BOCHUM

Castroper Straße 67
44791 Bochum

Öffnungszeiten: Immer zu den Veranstaltungen, diese sind täglich außer montags. Die Kasse öffnet spätestens 30 Minuten vor jeder Veranstaltung.

Eintrittspreise:
Einzelkarte: 10,50 Euro
ermäßigt: 7,50 Euro
Kinder: 4,00 Euro

planetarium-bochum.de

Highlight für Wissensdurstige: An jedem ersten Donnerstag im Monat hält die Direktorin Vorträge zu aktuellen Themen der Astronomie.

Drehende Zylinder auf Reisen

Wie Strömungsforschung zur Erfindung eines neuen Schiffsantriebs beitrug

von Dr. Jessika Wichner

Am 19. November 1924 manövrierte ein Schiff langsam durch den Kieler Hafen. An Bord befanden sich Ludwig Prandtl und Albert Betz aus der Aerodynamischen Versuchsanstalt (AVA) in Göttingen – einer Vorgängerorganisation des DLR – sowie der Ingenieur Anton Flettner. Das Schiff mit dem Namen Buckau war viele Jahre als Segelschiff im Einsatz gewesen, doch von den Segeln war inzwischen nichts mehr zu sehen. Stattdessen ragten zwei große, sich drehende Zylinder in den Himmel, die von zahlreichen Schaulustigen bestaunt wurden. Wie konnte es sein, dass ein Schiff ganz ohne Segel vorankommt, und wozu dienten die Zylinder?

Um diese Fragen zu beantworten, müssen wir ein wenig in der Geschichte zurückgehen, und zwar ins Jahr 1852. In jenem Jahr erbrachte der deutsche Physiker Heinrich Gustav Magnus den Nachweis, dass sich an einem drehenden Zylinder, der mit Luft angeblasen wird, eine Querkraft bildet. Diese sorgt zum Beispiel bei einem „geschnittenen Ball“ beim Tennis oder Tischtennis dafür, dass die Flugbahn nicht gerade verläuft, sondern der Ball abgelenkt wird. Magnus selbst konnte dieses Phänomen, das heute als Magnus-Effekt bezeichnet wird, jedoch noch nicht hinreichend erklären, da die Strömungsforschung zu jener Zeit noch in den Kinderschuhen steckte.

Der Magnus-Effekt in Theorie und Praxis

Etwas mehr als ein halbes Jahrhundert später untersuchte Ludwig Prandtl in Göttingen Strömungen an

rotierenden Zylindern im Wasserkanal. Während die Untersuchungen zunächst keine große Beachtung fanden, holte Prandtl die Ergebnisse nach dem Ersten Weltkrieg wieder hervor. Ein Mitarbeiter Prandtls, Carl Wieselsberger, führte in dieser Zeit erneut Messungen an drehenden Zylindern durch, um den Geheimnissen des Magnus-Effekts auf die Spur zu kommen. Das gelang schließlich mit der Entwicklung kleiner schnelllaufender Drehstrommotoren durch Albert Betz, der damals stellvertretender Leiter der AVA war, sowie der Anbringung von Scheiben an den Enden des Zylinders.

Neue Antriebsquelle für Schiffe

Die Ergebnisse wurden durch die AVA publiziert und erregten die Aufmerksamkeit von Anton Flettner, einem umtriebigen Ingenieur, der bereits zahlreiche Erfindungen als Patent angemeldet hatte. Er kam auf den Gedanken, den Magnus-Effekt für den Antrieb von Schiffen zu nutzen, denn das bis dahin übliche Segelschiff war nicht nur personalintensiv, sondern auch vergleichsweise teuer, da die Takelage regelmäßig erneuert werden musste. Nachdem er ein kleines Schiffsmodell mit rotierenden Zylindern konstruiert und auf dem Wannsee erprobt hatte, wandte er sich an die AVA und bat um die Durchführung systematischer Untersuchungen im Windkanal.

Die Messungen in der AVA bestätigten das Potenzial der rotierenden Zylinder als Antriebsquelle, sodass Flettner in der Folgezeit die Germaniawerft in Kiel beauftragte, das Segelschiff Buckau gemäß seinen



Das Rotorschiff
Buckau im Kieler
Hafen 1924

Untersuchung eines
drehenden Zylinders
im Windkanal der
AVA, um 1923

Bilder: DLR



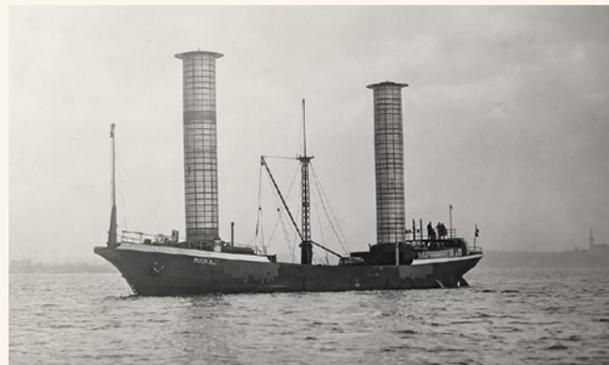
ÜBER DIE RUBRIK

Im Zentralen Archiv des DLR lagern mehr als 50.000 Dokumente. Hier begeben wir uns auf Spurensuche mitten hinein in die Flut von Bildern, Schriftstücken, Urkunden und Texten. Diese Folge stellt das Rotorschiff Buckau vor, das als erstes Schiff weltweit drehende Zylinder als Antrieb nutzte.



Probefahrt der Buckau mit Ludwig Prandtl (2. von links) an Bord

Der Dreimastschoner Buckau vor der Umrüstung zum Rotorschiff



Probefahrt der Buckau 1924

Wünschen umzurüsten: Anstelle der Segelmasten bekam es nun zwei Zylinder mit einem Durchmesser von 2,8 Metern, die rund 18 Meter über Deck in die Höhe ragten. Angetrieben wurde jeder Zylinder mit einem 7,5-Kilowatt-Elektromotor.

Buckau wird Baden-Baden

Die ersten Fahrten mit dem Rotorschiff erfolgten Mitte Oktober 1924. Am 12. November konnten sich dann auch Ludwig Prandtl und Albert Betz von der Funktionstüchtigkeit des Schiffs überzeugen. Die Presse verfolgte den Bau und die Versuchsfahrten der Buckau mit großem Interesse und schrieb die Erfindung Anton Flettner zu, ohne jedoch die maßgeblichen theoretischen Vorarbeiten der AVA in Sachen Magnus-Effekt zu erwähnen. Dies führte zu entsprechendem Missfallen der AVA, zumal Anton Flettner die Forschungsanstalt auch nicht darüber informiert hatte, dass er auf die Ausnutzung des

Magnus-Effekts für Schiffe bereits ein Patent beantragt hatte. Aus diesem Grund veröffentlichte der AVA-Mitarbeiter Jakob Ackeret, der an den Windkanalversuchen in Göttingen beteiligt gewesen war, die Publikation „Das Rotorschiff und seine physikalischen Grundlagen“. Darin wurde Flettner die Entwicklung des Rotorschiffs explizit zugesprochen, die bereits genannten Vorarbeiten wurden jedoch als klare Leistung der AVA herausgearbeitet.

Das Rotorschiff Buckau ging 1926 in den Besitz der Flettner-Rotorschiff GmbH über und wurde in Baden-Baden umbenannt. Nach zwei Jahren wurde die Baden-Baden zum Dreimastschoner rückgebaut. Sie sank 1931 bei einem Sturm in der Karibik.

Übrigens erlebt das Flettner-Rotorschiff seit mehr als zehn Jahren eine Renaissance: Der Antrieb der drehenden Zylinder wird heute zum Beispiel in modernen Containerschiffen und Fähren als Ergänzung zu den herkömmlichen Motoren eingesetzt, wodurch der Treibstoffverbrauch der Schiffe sinkt. Das Containerschiff E-Ship 1, das 2010 in Dienst gestellt wurde, verfügt beispielsweise über vier Flettner-Rotoren, die einen Durchmesser von vier Metern und eine Höhe von 27 Metern haben. Sie werden parallel zu den Schiffsdieselmotoren betrieben und sorgen so für eine Kraftstoffersparnis von bis zu 25 Prozent.

Dr. **Jessika Wichner** leitet das Zentrale Archiv des DLR in Göttingen. Sie ist sich sicher, dass Flettner, Prandtl und Co ihre Freude daran hätten, wenn sie wüssten, dass die Flettner-Rotoren beinahe 100 Jahre nach ihrer Entwicklung wiederentdeckt wurden.

Bilder: DLR

Reise an einen Sehnsuchtsort



In ihrem Buch **Umlaufbahnen** (dtv) beschreibt die englische Autorin **Samantha Harvey** einen Sehnsuchtsort, 400 Kilometer über unseren Köpfen – das Leben auf der Internationalen Raumstation ISS. In 16 Kapiteln – beziehungsweise Umläufen, die einen Tag auf der ISS beim Flug um die Erde widerspiegeln – nimmt uns die Autorin mit an Bord.

Üblicherweise denken die Reisenden dabei vielfach an die Familie oder Angehörigen auf der Erde. Dieser Aspekt spielt auch in Harveys Roman eine wichtige Rolle. Genauso, wie sie die ISS als Ort internationaler Kooperation schildert: Im wahr-

ten Sinne des Wortes sitzen alle Charaktere „im selben Boot“ beziehungsweise Raumschiff – alle haben ähnliche Gedanken und eine ähnliche Motivation. Das spannt den emotionalen Bogen zwischen Erde und ISS. Insgesamt bietet das Buch einen poetischen, sensiblen Blick auf eine oft so kalte Technikwelt. Für mich persönlich, nach einigen Jahren Abstand, ein Rückblick auf drei deutsche astronautische ISS-Missionen mit einer Reflexion, die sehr, sehr guttut – eine klare Leseempfehlung!

Volker Schmid leitete drei ISS-Missionen für das DLR und arbeitet heute im Vorstandsbereich für Raumfahrtthemen.



Anleitung zum interplanetaren Reisen

Die Vorstellung von Reisen zu fernen Planeten gehört zu den faszinierendsten Träumen der Menschheit. Doch wie realistisch ist es, die Science-Fiction-Visio-nen von interplanetaren Reisen wahr werden zu lassen? In der Realität scheitert die Raumfahrt oft an ganz irdischen Hürden, allen voran Geld und Politik. Doch was, wenn wir uns diese Probleme einfach mal wegdenken und uns auf die Herausforderungen konzentrieren, die uns erwarten könnten? Genau hier setzt **Anne-Dorette Ziems** an mit ihrem Buch **Ab ins All! Wie wir zu fremden Planeten kommen ohne draufzugehen** (Kosmos).

Ziems schafft es, auch komplexe Themen wie Terraforming und Raumfahrtantriebe zugänglich zu machen, ohne ins Fachchinesisch abzudriften. Die Illustrationen von Yalini Sivalingam helfen dabei, die wissenschaftlichen Konzepte auf den Punkt zu bringen. Gleichzeitig lässt Ziems einen nicht vergessenen, wie weit die Raumfahrt noch von ihren großen Träumen entfernt ist und warum viele Szenarien Zukunftsmusik sind. Wer ein Grundinteresse an Physik und Raumfahrt mitbringt, aber keine Lust auf zu komplexe Fachsprache hat, liegt bei diesem Buch richtig.

Grit Petersohn



Ist das Kunst oder fliegt das weg?

Für manche ist es ein Zeitvertreib bei Langeweile, andere bestreiten ganze Wettbewerbe darin: Papierflieger basteln. Von der Papiersorte über die Faltung bis hin zu möglichen Anbauten sind diverse Faktoren für das perfekte Modell entscheidend. Nicht zu vergessen ist: die Optik.

Für all diese hat sich der Grafikerdesigner **Trevor Bounford** etwas einfallen lassen: In **Kunstflieger (Dumont)** kombiniert er die papierene mit der bildenden Kunst. Die große Welle vor Kanagawa von Katsushika Hokusai im Segelflug? Der perfekte Wurfwinkel für das Selbstporträt von Frida Kahlo? 16 Designs zum Ausschneiden, inspiriert von verschiedenen Künstlerinnen und Künstlern, lassen sich mit Falanleitung zu fünf verschiedenen Modellen falten.

Schöner wäre es gewesen, wenn die Bögen separat von der Bindung oder vorgestanzt gewesen wären. Auch führen die einfarbigen Rückseiten dazu, dass die Flieger von unten eher reizlos anmuten – und idealerweise sollen sie ja lange über den Köpfen segeln. Dennoch wird man beim nächsten Papierflieger-Wettbewerb mit diesen Modellen eine gute Figur machen – zumindest optisch.

Julia Heil



Wie Daten Mut machen

Hannah Ritchie hat sich viel vorgenommen: Die Wissenschaftlerin will nichts weniger, als allen Menschen Hoffnung machen, die an der aktuellen Lage der Welt verzweifeln. Und wer, wenn nicht eine leitende Forscherin im Programm für globale Entwicklung der Universität Oxford, könnte dieses Versprechen einlösen? Ihr Buch **Hoffnung für Verzweifelte (Piper)** enthält – genau wie die Website „Our World in Data“, aus deren Material es sich speist – viele solcher Aha-Momente. Ritchie macht konkrete Vorschläge, wie man selbst etwas bewegen kann und dabei möglichst effektiv handelt, zum Beispiel, indem man weniger Lebensmittel verschwendet.

Für alle, die sich mit Klimawandel im Detail befassen, ist es allerdings ernüchternd, dass die Autorin auf geopolitische Entwicklungen oder die Frage, ob die planetaren Grenzen überschritten sind, so gut wie überhaupt nicht eingeht. Der Versuch, Leserinnen und Leser mit statistischen Daten zu dieser Einsicht zu bewegen, ist nur teilweise gelungen. Lesenswert ist das Buch trotzdem.

Anja Tröster



Ein Hoch auf die Spinnerei

Manche Entdeckungen beginnen mit einem Geistesblitz, andere mit einem Zufall. Autor **Dan Schreiber** nimmt uns mit auf eine wilde Reise durch die Welt der kruden Theorien und seltsamen Geschichten. Das Buch **Waschbären, die im Dunkeln leuchten (Heyne)** steckt voller Anekdoten und Fun-Facts: Wir begegnen Nobelpreisträgern auf Abwegen, abergläubischen Astronauten und stolpern über bizarre Experimente. Die kurzen Geschichten reihen sich in rasantem Tempo aneinander und reißen die Lesenden mit.

Dieses Buch ist eine Empfehlung für alle, die beim Lesen den Kopf abschalten können. Wer in jeder Geschichte die große neue Erkenntnis sucht, wird enttäuscht sein. Dan Schreiber feiert mit seinem Buch die Kreativität und Fehlbarkeit der Menschen. Selbst die „Spinnerinnen und Spinner“ – jene, die scheinbar absurde Ideen verfolgen – treiben die Wissenschaft voran. Denn nicht selten sind es die verrücktesten Ideen, die dann irgendwie doch zu neuen Erkenntnissen führen.

Lovis Krüger



Landung auf dem Couchtisch

Nur noch 3.000 Fuß Höhe, Verkehr voraus und das Flugzeug ist noch nicht bereit für die Landung. „Wenn wir jetzt nicht clever handeln, müssen wir notlanden!“ rufe ich mit erhöhtem Puls meiner Pilotin zu. Wir rollen Würfel, besprechen die nächsten Schritte und blicken auf das Cockpit herab.

Allerdings gehören Würfel nicht zur üblichen Ausstattung eines Cockpits. Obendrein liegt jenes als schickes Pappspielbrett auf dem Couchtisch. Dennoch treibt uns das Ziel, rechtzeitig und sanft auf der Landebahn aufzusetzen, Schweißperlen auf die Stirn. Bei **Sky Team (Kosmos)** landen wir auf Flughäfen in der ganzen Welt. Als Duo arbeitet man im virtuellen Cockpit und platziert Würfel auf bestimmte Funktionen, um das Flugzeug innerhalb von sieben Spielrunden rechtzeitig für die Landung zu konfigurieren: Tragflächen waagrecht ausrichten, Triebwerksschub anpassen, Fahrwerk

und Landeklappen ausfahren, per Funk die Einflugschneise freimachen lassen, Bremsen setzen und unter Umständen Kaffee trinken, um die Konzentration zu steigern. Neben den verschiedenen Flughäfen sorgen sowohl das verdeckte Würfelglück als auch das Sprechverbot nach jedem Rundenstart für wachsende Spannung im steten Sinkflug.

Selbst wenn nicht jede Prozedur der Realität entspricht, bekommen wir einen Eindruck der vermeintlich spannendsten Phase eines regulären Fluges. Jeder Anflug ist anders, was immer mitfliegt, ist eine Spannung, die wir in dieser Form selten bei einem Brettspiel erlebt haben. Zu Recht wurde Sky Team 2024 zum Spiel des Jahres gekürt.

Als Corporate-Design-Verantwortlicher führt **Daniel Beckmann** das Aussehen des DLR zur Landung. Seit seiner Kindheit ist er luftfahrtbegeistert und hat sich das bis heute bewahrt.





Ein guter Plan

Intelligente und bedarfsgerechte Verkehrsplanung auf Knopfdruck

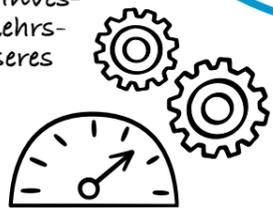


Idee

Eine Software für Kommunen, mit der sich modellieren lässt, welchen Einfluss neue Verkehrsangebote auf das Mobilitätsverhalten haben. So ist strategische Planung möglich.

atSTAKE macht die Welt besser, weil ...

... es einen schnellen und präzisen Überblick über die Nachfrage und Akzeptanz von Verkehrsangeboten bietet. So wissen Kommunen auf Knopfdruck, welche Maßnahmen welche Auswirkungen und welchen Erfolg haben werden. Fazit: zielgerichtete Investitionen in das Verkehrssystem und ein besseres Angebot vor Ort.



Hintergrund

Die Software basiert auf der Forschungsarbeit des Instituts. Dort entstehen unter anderem Studien zum Nutzungsverhalten von Verkehrsteilnehmenden sowie Verkehrsmodellierungen.

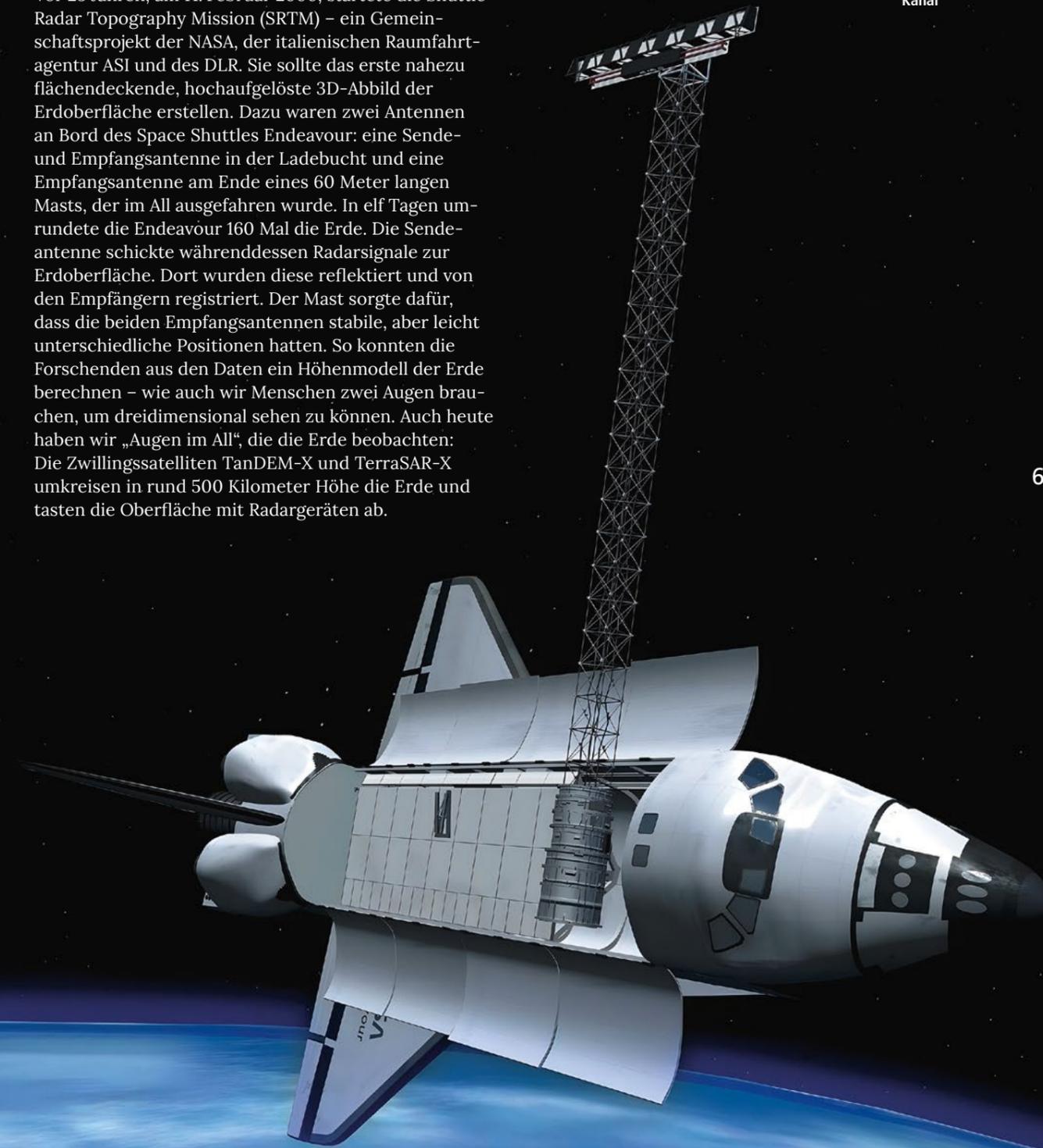
Nächste Herausforderung

Weitere zahlende Kundschaft gewinnen



Was macht eine 60-Meter-Antenne im All?

Vor 25 Jahren, am 11. Februar 2000, startete die Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) – ein Gemeinschaftsprojekt der NASA, der italienischen Raumfahrtagentur ASI und des DLR. Sie sollte das erste nahezu flächendeckende, hochaufgelöste 3D-Abbild der Erdoberfläche erstellen. Dazu waren zwei Antennen an Bord des Space Shuttles Endeavour: eine Sende- und Empfangsantenne in der Ladebucht und eine Empfangsantenne am Ende eines 60 Meter langen Masts, der im All ausgefahren wurde. In elf Tagen umrundete die Endeavour 160 Mal die Erde. Die Sendeantenne schickte währenddessen Radarsignale zur Erdoberfläche. Dort wurden diese reflektiert und von den Empfängern registriert. Der Mast sorgte dafür, dass die beiden Empfangsantennen stabile, aber leicht unterschiedliche Positionen hatten. So konnten die Forschenden aus den Daten ein Höhenmodell der Erde berechnen – wie auch wir Menschen zwei Augen brauchen, um dreidimensional sehen zu können. Auch heute haben wir „Augen im All“, die die Erde beobachten: Die Zwillingssatelliten TanDEM-X und TerraSAR-X umkreisen in rund 500 Kilometer Höhe die Erde und tasten die Oberfläche mit Radargeräten ab.



Video zu 25 Jahren SRTM auf dem DLR-YouTube-Kanal