

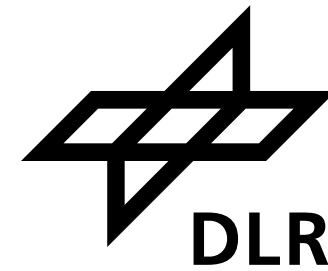
Titelbild

Sie sind so klein, dass sie auf eine Handfläche passen – und doch sind es vollständige, funktionsfähige Satelliten: CubeSats mit einer Kantenlänge von 10 mal 10 mal 10 Zentimetern gehören zu den meistverwendeten Kleinsatelliten. Ebenso wie ihre „großen Geschwister“ werden sie etwa für die Erdbeobachtung, die Weltraumforschung oder für die Satellitenkommunikation eingesetzt. Dabei sind die Kleinen günstig, flexibel und können in Schwärmen zu Hunderten oder gar Tausenden große Bereiche der Erdoberfläche abdecken. Daher sind Kleinsatelliten auch für neue Anwendungen, etwa den Schutz unserer Energienetze, ideal geeignet.



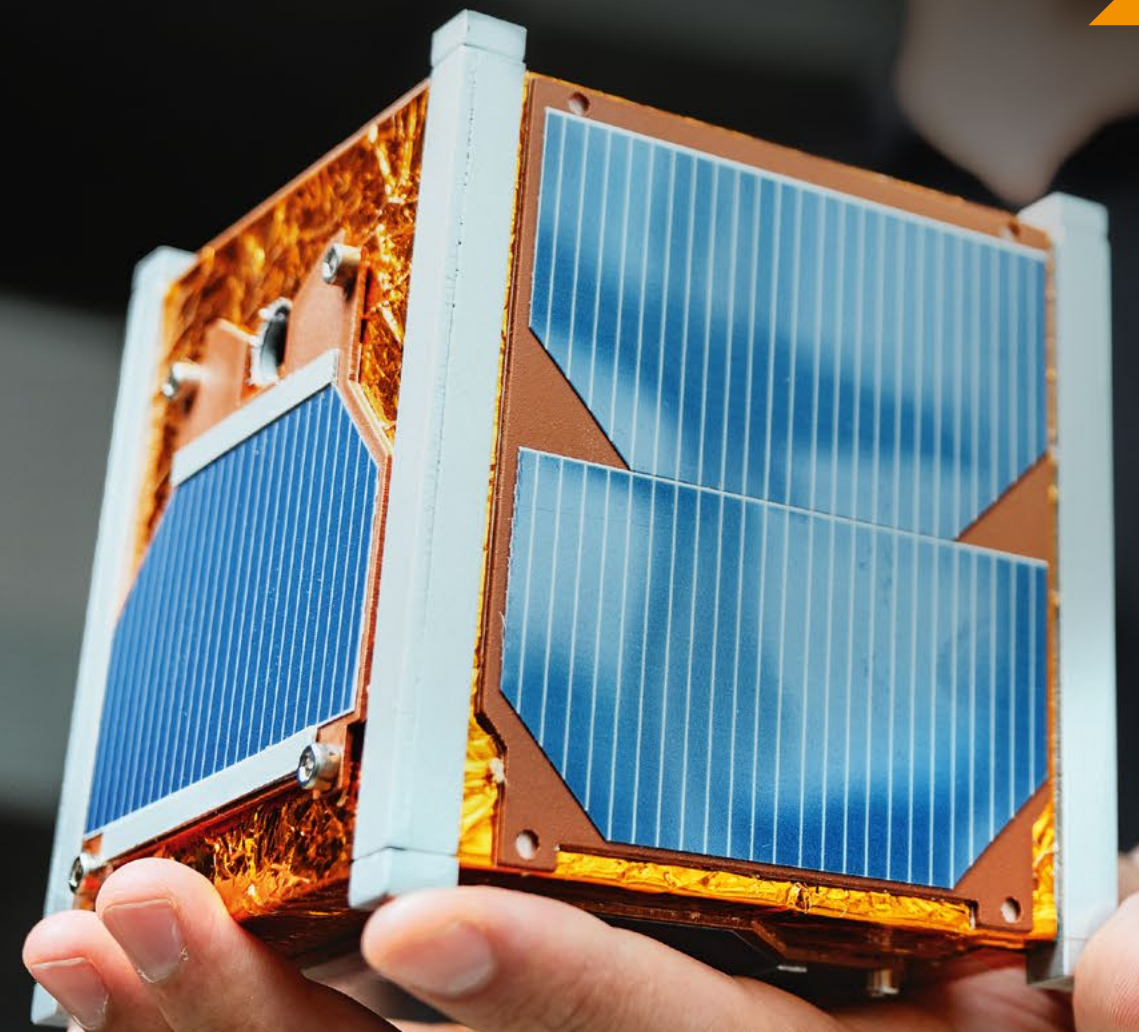
DLRmagazin
178 online

DLRmagazin | November 2025



magazin

#178



Große Zukunft für die Kleinen

Einsatzmöglichkeiten
und Potenzial
von Kleinsatelliten

DLR à la carte

Mittlere Schneebedeckung der DLR-Standorte



Winterwetter

Nur wenige Gebiete in Deutschland konnten sich im vergangenen Vierteljahrhundert über mehr als 50 Tage mit einer geschlossenen Schneedecke freuen. Das meiste Weiß sahen die Kolleginnen und Kollegen an den DLR-Standorten Trauen und Zittau. Die Daten stammen von den Satelliten Terra und Aqua. Die globale Schneebedeckung ist eine essenzielle Klimavariablen, ihre Ermittlung ist ein Service des Earth Observation Centers im DLR.



Direkt zum Global Snow Pack (english)

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 Hulan (Redaktionsleitung), Michael Müller

Kommunikation

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

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten

Datum der Drucklegung: 6. November 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.

Gefördert auf Beschluss des Deutschen Bundestages durch die Deutsche Bundesregierung und die Bundesländer, beteiligungsführend BMFTR; BMVG

Druckprodukt mit finanziellem Klimabeitrag
ClimatePartner.com/53106-2511-1001



Was uns antreibt ...



Patrick Jochem
DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme

„Am Küchentisch wurde bei uns früher viel über die Energiewende gesprochen. Beim Pkw konnte ich diese persönlich erfahren. Nun gilt es, die Wende auch im Stromsystem effizient umzusetzen.“

Mehr auf Seite 18



Kai Bongs
DLR-Institut für Quantentechnologien

„Wie bedeutend die Quantenphysik für uns alle ist, spiegelt sich in der DLR-Forschung wider – beispielsweise an Quantenuhren für die Satellitennavigation.“

Mehr auf Seite 24



Tina Jurkat-Witschas
DLR-Institut für Physik der Atmosphäre

„Spannender als ein Krimi: Vom Boden aus konnte ich die ersten Messungen von Kondensstreifen aus Wasserstoffantrieben mitverfolgen – ein wichtiger Schritt zur Klimabewertung dieser Technologie.“

Mehr auf Seite 34



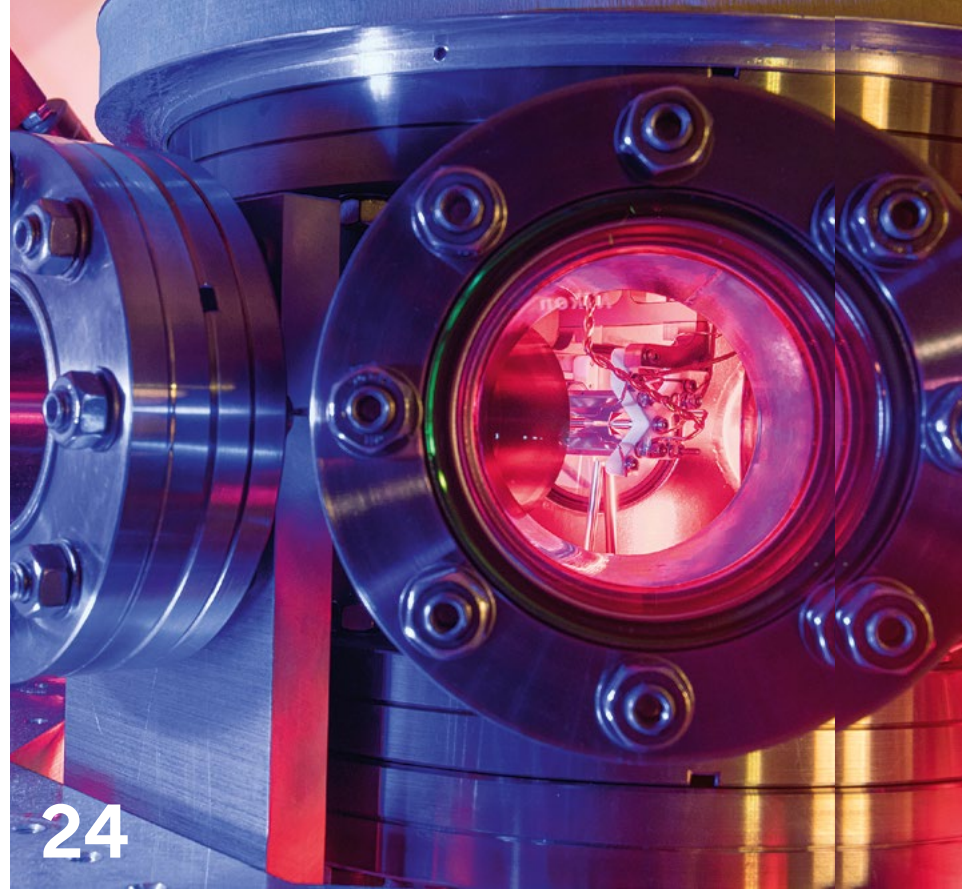
Ligeia Paletti
DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation

„2018 sagte ein Kollege zu mir: ‚Alle sprechen über Kreislaufwirtschaft. Was ist für die Luftfahrt drin? Wenn es jemanden gibt, der da etwas schafft, dann du.‘ Seitdem habe ich einiges geschafft.“

Mehr auf Seite 43



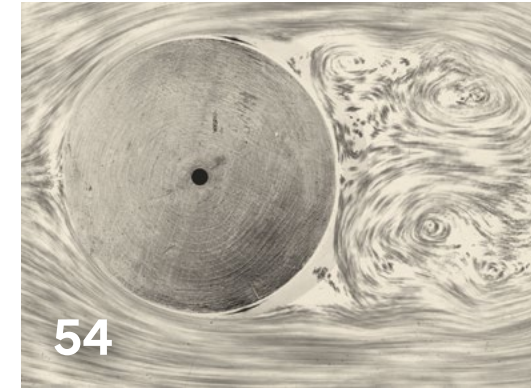
16



24



36



54



52

Inhalt

DLRmagazin 178

STARTEN

- 06 Meldungen**
- 08 Potenzial der Kleinsatelliten**
Unsere Titelgeschichte zeigt, warum die „Kleinen“ stark im Kommen sind und was sie alles können
- 15 Podcast**
Timo Frett, wissenschaftlicher Koordinator für die Kurzarm-Humanzentrifuge

ENTDECKEN

- 16 Einblick I**
Der ferngesteuerte Kollege
- 18 Stromsystem**
Rede und Antwort zu Fragen rund um unsere Stromversorgung
- 22 Infografik**
Drohnenabwehr – Überblick über die Bestandteile des CUSTODIAN-Projekts
- 24 Interview**
Prof. Rainer Blatt und Prof. Kai Bongs über 100 Jahre Quantenforschung
- 29 Autonomes Fahren**
IMoGer bringt das fahrerlose und vielseitige U-Shift auf die Straße
- 32 Zahlen, Daten, Fakten**
Ergebnisse der jüngsten Studie zur Mobilität in Deutschland

ERKUNDEN

- 34 Einblick II**
Weltpremiere über Nevada
- 36 Menschen im DLR**
Dr. Igor Klein ist Experte in der Erdbeobachtung
- 39 Karriere**
Birgit Bödecker, Sachbearbeiterin in der Standortleitung Oberpfaffenhofen
- 40 Projektträger**
KI-gestützte Unternehmensberatung für kleine und mittelständische Unternehmen
- 43 Circular Aviation**
Das nächste große Ding? Kreislaufwirtschaft in der Luftfahrt
- 47 Forschungsstudie Luftfahrt**
Schlafentzug und Troubleshooting – unser Autor im Selbstversuch

LANDEN

- 50 Einblick III**
Folge mir unauffällig
- 52 Museumsbesuch**
Ein Besuch im Mitmachmuseum Experimenta
- 54 Aus dem Archiv**
Strömungsforscher Friedrich Ahlborn
- 57 Medientipps**
- 60 Marktreif**
Versatile Robotics machen Roboter menschenähnlicher
- 61 Gute Frage**
Kann dieser Fisch fliegen?



08

Zwischenstopp

NOORDWIJK: Das neue europäische Weltraumteleskop PLATO ist am Weltraumforschungs- und Technologiezentrum der ESA in den Niederlanden eingetroffen. Dort hat es Solarpaneele und den Sonnenschutzschirm erhalten. Unter anderem soll die Mission bei der Beantwortung der Frage helfen, ob es jenseits unseres Sonnensystems erdähnliche Himmelskörper gibt. Die wissenschaftliche Nutzlast von PLATO wurde von einem Konsortium unter Leitung des DLR entwickelt. Darüber hinaus hat das DLR-Institut für Weltraumforschung Software für die Kameras entwickelt. Starten soll die Mission Ende 2026.



Das Teleskop im Reinraum. Der Name PLATO steht für „PLANetary Transits and Oscillations of stars“.

20

Kilometer Flughöhe soll die neue hochfliegende Plattform des DLR, HAP-alpha, künftig erreichen, Einsatzgebiete werden Erdbeobachtung und Kommunikation sein. Standschwingungsversuche im Juli verliefen erfolgreich. Als Nächstes stehen Flugversuche in niedriger Höhe an.



Spezielle Luftstützung zur Entkopplung des Flugzeugs vom Boden

Gute Schwingungen

Strukturdynamische Vermessung des neuen UpLift-Flugzeugs

Ein weiterer Meilenstein im Projekt UpLift: Nach ersten Testflügen mit seinem neuen fliegenden Labor für klimaverträgliche Technologien hat das DLR-Institut für Aeroelastik kürzlich Standschwingungsversuche mit seiner D328@ durchgeführt. Dabei wurde das auf einer Luftstützung gebettete Flugzeug strukturdynamisch genau vermessen.

Realität trifft Simulation

Um die Maschine am Boden gezielt in Schwingung zu versetzen, wurden Flügel, Rumpf und Steuerflächen nacheinander durch „Shaker“ angeregt. 237 Beschleunigungssensoren ermittelten dann Eigenfrequenzen, Schwingungsformen und Dämpfungen der gesamten Struktur. Mit den Ergebnissen überprüfen die Forschenden nun Vorhersagemodelle, welche das Schwingungsverhalten in jeder Flugsituation simulieren.

Der Vorteil: Experimentelle Umbauten, etwa für nachhaltige Antriebstechnologien, können auf diese Weise zügiger und wirtschaftlicher umgesetzt werden. Die DLR-Einrichtung Flugexperimente plant zum Beispiel, neuartige Tankbehälter für klimaverträgliche Antriebstechnologien unter den Flügelspitzen zu installieren.

Die rund zweiwöchigen Versuche fanden im August dieses Jahres im Hangar der Deutschen Aircraft GmbH in Oberpfaffenhofen statt. Der Flugzeughersteller führte den Aus- und Umbau im Auftrag des DLR durch. Gemeinsam mit der Fabreeka GmbH Deutschland entwickelte das DLR die Luftstützung. Künftig soll UpLift Start-ups, Unternehmen und Forschungseinrichtungen zur Verfügung stehen, damit diese klimaverträgliche System-, Treibstoff- und Antriebstechnologien unter Realbedingungen erproben können.

Bilder: S.06 oben links: ESA-SJM Photography; S. 07 oben: RWTH Aachen/ASCLERA

Volle Power

Komponenten des BALIS-Testsystems erreichen erstmals Megawatt-Grenze

Im Projekt BALIS baut das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt ein einzigartiges wissenschaftliches Testfeld auf, um die Komponenten von brennstoffzellenbasierten elektrischen Antrieben für mobile Anwendungen mit einer Leistung von bis zu 1,5 Megawatt zu entwickeln und zu testen. Zum ersten Mal ist es den Forschenden dabei gelungen, mit zwei der wichtigsten Komponenten – den Brennstoffzellen und dem Elektromotor – jeweils eine Leistung von mehr als einem Megawatt zu erreichen.

Stabiler Lauf mit hoher Leistung

Die technische Herausforderung liegt darin, alle Komponenten so zu entwickeln und zusammenzubringen, dass sie stabil mit einer hohen Leistung von einem Megawatt und mehr laufen: Dazu koppeln die DLR-Forschen-

den insgesamt zwölf Brennstoffzellen-Module elektrisch miteinander. Alle Module tauschen Informationen aus und interagieren. Jedes dieser Module besteht wiederum aus mehr als 400 einzelnen Brennstoffzellen.

Brennstoffzellen-Systeme, wie sie das DLR mit BALIS entwickelt und testet, könnten zukünftig zum Beispiel Schiffe antreiben, im Schwerlastverkehr auf der Straße oder in der Luftfahrt eingesetzt werden. Kommt in den Brennstoffzellen Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen – sogenannter grüner Wasserstoff – zum Einsatz, ermöglichen sie CO₂-freie und damit klima- und umweltverträgliche Mobilität.

Blick ins Innere des Testfelds BALIS für Brennstoffzellen-Systeme



ASCLERA ist eines von zwei Siegerkonzepten der DLR Design Challenge.

Innovative Rettungsflugzeuge

BRAUNSCHWEIG: Die Jury des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt hat den Studierenden-Teams AETHER von der FH Aachen und ASCLERA von der RWTH Aachen den ersten Platz der neunten DLR Design Challenge verliehen. Für abgelegene Regionen, Katastrophengebiete und dicht besiedelte Ballungszentren sind fortschrittliche Hubschrauber und Flugzeuge erforderlich. Aufgabe der Design Challenge war es, ein innovatives, effizientes und zuverlässiges Notfall-evakuierungs-Flugzeug zu entwerfen, das eine Vielzahl von vordefinierten Einsatzszenarien abdecken kann: Für die Lösung ihrer Aufgabe mussten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ein Gleichgewicht zwischen medizinischen Transportlösungen und optimaler Flugzeugleistung für verschiedene Einsätze finden.

Supercomputer

BERLIN: Hochleistungsrechner ermöglichen den Zugang zu großen Rechnerkapazitäten. Mit den beiden Clustern CARA in Dresden und CARO in Göttingen bietet das DLR seinen Instituten Rechenressourcen an, die zur Lösung von Problemstellungen verwendet werden, für die handelsübliche Computer zu geringe Kapazitäten haben. Mit CARAs Abwärme wird außerdem das 30 Meter nördlich gelegene Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Visualisierung geheizt.

Familienfoto: Piko, Nano, Mikro oder Mini – Kleinsatelliten sind vielfältig in Form und Größe. Die „Stars“ der Familie sind die würfelförmigen CubeSats.

08

Große Zukunft für kleine Satelliten

Vom Waldbrandwächter bis zum Beschützer unserer Energiesysteme: das Potenzial von Kleinsatelliten

von Diana Velden

09

Manche von ihnen sind nur so groß wie eine Streichholzschachtel, aber ihnen gehört die Zukunft der Raumfahrt: Die Rede ist von Kleinsatelliten. Der kleinste von ihnen, der würfelförmige Pocket Cube, besitzt lediglich eine Kantenlänge von fünf Zentimetern. Die „Stars“ der Familie dürften aber die CubeSats sein. Mit einer Kantenlänge von zehn mal zehn mal zehn Zentimetern beim Standardformat 1 U sind sie für viele unterschiedliche Aufgaben im Raumfahrtbereich einsetzbar, können preisgünstig in industriellem Maßstab produziert und zu modularen Systemen von nahezu beliebiger Größe kombiniert werden. Über ihre Gestalt hinaus werden Kleinsatelliten nach Gewicht in verschiedene Klassen wie etwa Piko-, Nano-, Mikro- oder Mini-Satelliten eingeteilt. Doch so unterschiedlich die Mitglieder dieser Familie in Größe, Gewicht und Funktion auch sein mögen, ihnen allen ist eines gemeinsam: Ihre Masse ist nicht größer als 500 Kilogramm.

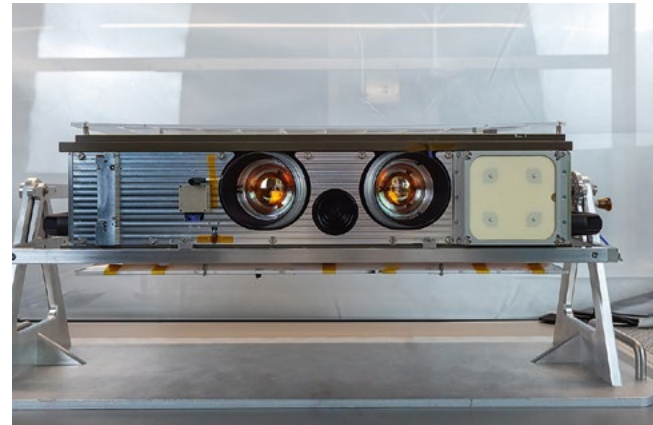
Mehr als 9.000 Kleinsatelliten ins All gestartet

„Kleinsatelliten sind vielseitig einsetzbar“, erklärt Andres Bolte, zuständig für den Bereich Kleinsatelliten bei der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR. „Bereits heute werden sie in fast allen klassischen Bereichen der Raumfahrt verwendet: Sie beobachten die Erde, erforschen den Weltraum oder ermöglichen Kommunikationsanwendungen und Internetzugriff auch in abgelegenen Regionen der Welt.“

Wie hoch der Bedarf an den Kleinen ist, zeigen die aktuellen Zahlen: In den Jahren 2015 bis 2024 wurden mehr als 9.000 Kleinsatelliten in den Orbit gestartet. Darunter befinden sich einzelne Forschungssatelliten ebenso wie kleinere Formationen oder kommerzielle Satellitenschwärme. „Die Vorteile von Kleinsatelliten liegen auf der Hand“, sagt Bolte, „sie sind günstig in der Herstellung, flexibel einsetzbar und können als Formation große Gebiete der Erdoberfläche mit hohen Aufnahmezeiten abdecken.“

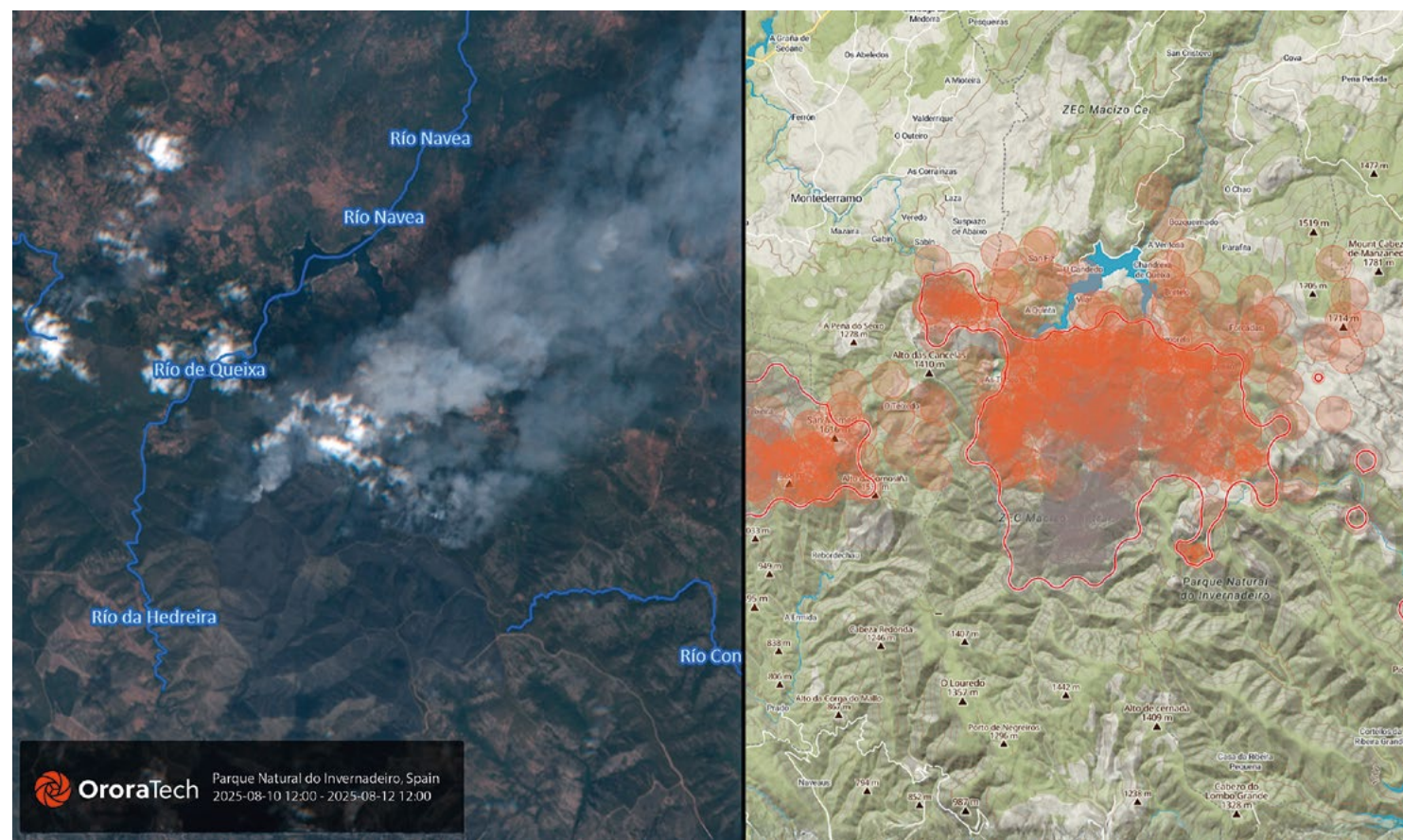
Waldbrandmonitoring und Meereswellendetektion in 3D

Viele weitere Kleinsatellitensysteme sind derzeit in Planung oder bereits im Auf- oder Ausbau. Sie sollen beispielsweise für die Waldbranddetektion eingesetzt werden. Dabei zeigt sich ein weiterer Vorteil der Kleinen gegenüber ihren großen Geschwistern, wie etwa den Sentinel-Satelliten aus dem europäischen Copernicus-Erdbeobachtungsprogramm: Während die Sentinels höchstens einmal am Tag eine bestimmte Region überfliegen und dabei beobachten können, wird das OroraTech-System mit seiner Flotte an Kleinsatelliten nach seiner Fertigstellung täglich fünf Überflüge leisten



Der Kleinsatellit FOREST-3 (Forest Observation and Recognition Experimental Smallsat Thermal Detector) der Firma OroraTech enthält eine Wärmebild-Infrarotkamera. In der erdnahen Umlaufbahn soll er Daten über die Oberflächentemperatur unseres Planeten sammeln und in Echtzeit etwa vor Waldbränden warnen. Das unten gezeigte Bild ist eine Aufnahme aus dem Nordosten Spaniens.

Bilder: OroraTech



In Zukunft sollen Kleinsatelliten zunehmend auch sicherheitsrelevante Aufgaben im zivilen und militärischen Bereich übernehmen.

können. Diese hohe Rate an Wiederholungen vermittelt bei Waldbränden ein sehr viel aktuelleres Bild der Lage. Das DLR hat eine eigene KI-basierte Methode zur Erkennung und Vermessung verbrannter Flächen lizenziert, eine Technologie, die in die kommerzielle „Wild-fire Solution Platform“ von OroraTech integriert wird.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die Beobachtung der Ozeane. Hier können Formationen von kleinen Radarsatelliten eingesetzt werden, um Wellen zu detektieren und in 3D zu erfassen – Daten, die die internationale Schifffahrt sicherer machen.

Ein europäisches Gegenstück zu Starlink?

In Zukunft sollen Kleinsatelliten zunehmend auch sicherheitsrelevante Aufgaben im zivilen und militärischen Bereich übernehmen und dabei helfen, die Umsetzung politischer Maßgaben – wie etwa das Lieferkettengesetz der EU oder das Pariser Klimaabkommen – nachzuweisen. Das wohl bekannteste Netzwerk aus Kleinsatelliten, das die Erde umkreist, ist die Starlink-Flotte der US-amerikanischen Firma SpaceX. Neben der zivilen Nutzung wird sie auch zur Aufklärung in Kriegs- und Krisengebieten eingesetzt. „Ohne Kleinsatelliten wäre die Kommunikationsfähigkeit des ukrainischen Militärs deutlich eingeschränkt“, so Bolte.

Die Erkenntnis, wie riskant eine solche Abhängigkeit von Partnern, mehr noch von einzelnen kommerziellen Raumfahrtakteuren sein kann, hat sich in einer Zeit weltweit zunehmender politischer Instabilität auch in Europa durchgesetzt. „Es ist wichtig, die europäische Souveränität auch bei der Verteidigung und Aufklärung aus dem Weltraum sicherzustellen“, verdeutlicht Dr. Walther Pelzer, DLR-Vorstandsmitglied und Generaldirektor der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR. „Kleinsatelliten-Schwärme bieten dafür hervorragende Voraussetzungen.“

Inzwischen gibt es Pläne, das Satellitensystem des französischen Satellitenbetreibers Eutelsat massiv auszubauen, um technologisch unabhängiger zu sein. Doch der Weg zur europäischen Autonomie ist noch weit: So verfügt die Eutelsat-Flotte mit rund 650 Satelliten in der niedrigen Erdumlaufbahn über ein sehr viel bescheidenes Kontingent als das Starlink-System mit mehr als 7.000 Orbitalen. Auch technologisch sind die US-Satelliten weiter fortgeschritten.

Verbündete im Kampf gegen Angriffe auf unsere Energie-Netze

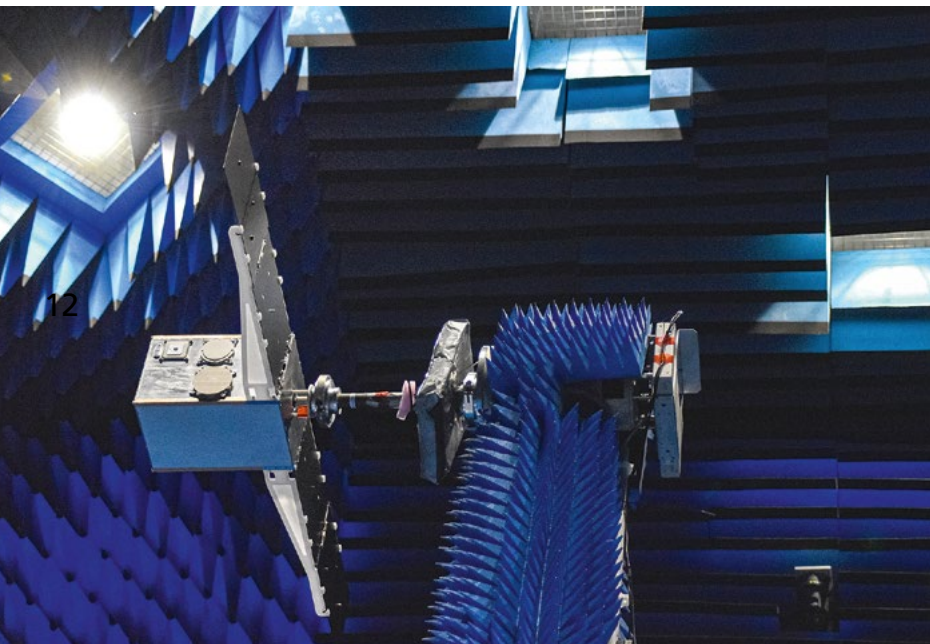
Umfassende Netzwerke mit einer großen Stückzahl an Satelliten sind auch die Voraussetzung für Raumfahrtanwendungen der Zukunft: Dazu gehören die

„Die Vorteile von Kleinsatelliten liegen auf der Hand. Sie sind günstig in der Herstellung und flexibel einsetzbar.“

Andres Bolte



Eine Einheit des CAPTn-1 in der Reinkammer. Der Satellit wird verschiedene Experimente des DLR tragen.



12

„Das DLR entwickelt Materialien für Satellitenstrukturen auf der Basis von Holz. Dadurch soll der Prozess des Verbrennens so emissionsarm wie möglich ablaufen.“

Fereydun Kaikhosrowi



Bilder (oben und unten): DLR; (Mitte) U-Space

Sicherstellung der nationalen Energiesicherheit und die Überwachung von Lieferketten sowie flächendeckendes autonomes Fahren. Engmaschige Netzwerke aus Kleinsatelliten könnten zum Beispiel zu unseren Verbündeten bei der Abwehr von Cyberangriffen auf unsere nationale Energie-Infrastruktur werden. Ziel der Angreifer ist es, flächendeckende Blackouts auszulösen und damit Industrie, Wirtschaft und Verkehr lahmzulegen.

Zwar ist in Deutschland die Energie-Infrastruktur durch sogenannte redundante Netze gesichert: Wenn ein System ausfällt, springt automatisch ein Ersatzsystem ein. Doch was passiert, wenn auch dieses angegriffen und ausgeschaltet wird? Dann könnten zukünftig CubeSat-Netzwerke eingreifen und die Kommunikation der Anlagen – vom Gaskraftwerk über Windkraftanlagen bis hin zum Balkonkraftwerk – sicherstellen. Die Mini-Satelliten wären in der Lage, die Systeme nicht nur an- und auszuschalten, sondern auch durch Updates die Sicherheit zu erhöhen.

CAPTn-1: Neue Weltraum-Technologien am Einsatzort testen

Unter dem Namen CAPTn (Cubesat to Accomodate Payloads and Technology Experiments) hat das DLR ein Programm gestartet, bei dem neue Weltraumtechnologien auf CubeSats direkt vor Ort, also im All, getestet werden können. Dabei müssen sie sowohl die Vibrationsbelastungen beim Start als auch die Umweltbedingungen im Weltraum – also extreme Hitze und Kälte sowie Strahlung und Vakuum – überstehen. Der erste Satellit der geplanten Serie, CAPTn-1, wird voraussichtlich 2026 mit einer Falcon-9-Rakete der Firma SpaceX von der Vandenberg Space Force Base in Kalifornien ins All starten und dann rund zwei Jahre lang die Erde umkreisen.

Der Kleinsatellit hat ein Volumen von 12U und entspricht damit einer Größe von zwölf zusammengeschalteten Einheiten. Hergestellt wird der Satellit vom französischen Raumfahrtunternehmen U-Space, das auch die Nutzlasten integriert. „Auf CAPTn-1 sollen vier spezielle Entwicklungen aus dem DLR getestet werden“, so Fereydun Kaikhosrowi von der Programmdirektion Raumfahrt im DLR. „Die Technologie-Experimente ScOSA, DLReps, Smart-Retro und GSDR werden beim Start mit an Bord sein.“

ScOSA (Scalable On-Board Computing for Space Avionics) ist ein neuartiger Computer des DLR, der für den Einsatz auf Weltraummissionen entwickelt wurde. Bei dem Projekt werden Raumfahrt-Prozessoren, die unter Weltraumbedingungen erprobt sind, mit handelsüblichen Prozessoren, die günstiger und leistungsfähiger, aber weniger robust sind, kombiniert. Um das System

trotz eines möglichen Ausfalls von Prozessoren robust zu machen, besteht das Computersystem von ScOSA aus verschiedenen dezentral aufgebauten Rechenknoten. Eine spezielle Software sorgt dann dafür, dass fehlerhafte Knoten erkannt und die Aufgaben auf andere Knoten verteilt werden. Beschädigte Prozessoren werden, wenn möglich, repariert und je nach ihrer anschließenden Leistungsfähigkeit wieder in das System eingegliedert.

Unter dem Namen DLReps verbirgt sich ein Experiment für intelligente Batterien, die auf Raumfahrtmissionen eingesetzt werden. Dabei übernimmt eine Software das Batteriemanagement, die sowohl Daten zum Zustand des Systems sammelt als auch selbstständig Entscheidungen treffen kann. Dazu werden neuartige Algorithmen zur Bestimmung des Ladezustands, Gesundheitszustands und zur Fehlererkennung bei den Batteriezellen eingesetzt. So sorgt die Software für Überwachung und Steuerung des Thermalsystems und dafür, dass die Spannung der Batteriezellen ausgeglichen ist, damit das System intakt bleibt.

Wie eine Art „Nummernschild“ für Satelliten funktioniert das Experiment Smart-Retro. Die Forschenden haben dafür einen Retroreflektor – drei Spiegel, die einfallendes Licht unabhängig vom Einfallswinkel zur Lichtquelle reflektieren – mit einer Polarisationsoptik versehen. Dieses reflektierte Licht kann als individuelles Signal vom Boden aus mit Lasern getrackt werden. Neben der Identifikation von Satelliten dient Smart-Retro auch der millimetergenauen Positionsbestimmung, die aus der Laufzeit des Laserimpulses vom Boden zum Reflektor und zurück berechnet wird.

Über die Funkplattform GSDR (Generic Software Defined Radio) sollen während der CAPTn-1-Mission hochfrequente Flugzeugsignale empfangen werden. Das Besondere an diesem System ist die hohe Bandbreite, die es erlaubt, mehrere Frequenzen aus verschiedenen Richtungen parallel und unabhängig voneinander zu verarbeiten. Hierdurch können Probleme wie Signalkollisionen einfacher Empfängersysteme besser analysiert und die Empfangsperformance aus dem Orbit optimiert werden.

What goes up, must come down

Der rasante Anstieg der Anzahl an Kleinsatelliten bringt auch eine neue Herausforderung mit sich: Tausende von Orbitalen werden in den nächsten Jahren ihren meist kurzen Lebenszyklus beenden und in der Erdatmosphäre verglühen. Damit dies möglichst umweltverträglich geschieht, hat das DLR die Projekte TEMIS-DEBRIS und Bio Strux zum Bau von Satellitenplattformen ins Leben gerufen. Bei TEMIS-DEBRIS geht es den Forschenden vor allem darum, einen

13

Satelliten zu entwerfen, der sich beim Wiedereintritt in möglichst kleine und verbrennbare Teile zerlegt. Während Satelliten in hohen Bahnen meist in einem sogenannten Friedhofs-Orbit geparkt werden, lässt man niedrig fliegende Satelliten durch Wiedereintritt in die Erdatmosphäre verglühen. Je stärker die einzelnen Teile des Orbiters dabei verbrennen, desto geringer ist das Risiko, dass diese auf der Erdoberfläche auftreffen und dabei Schaden anrichten. Zu diesem Zweck werden einzelne Strukturen so konstruiert, dass sie sich beim Eintritt in die Atmosphäre durch aerothermale Lasten oder Sollbruchstellen abspalten. Auch die Entwicklung verbrennbarer Materialien ist ein Schwerpunkt in dem Projekt.

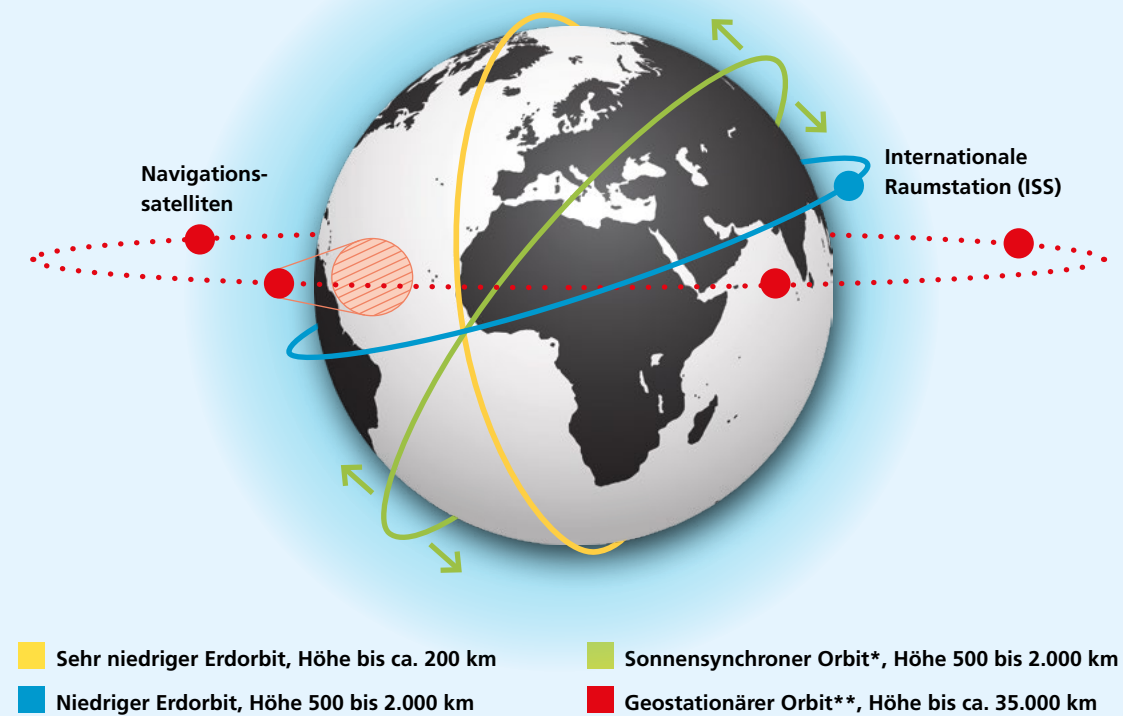
Doch auch wenn ein Kleinsatellit verglüht, hat dies Auswirkungen auf die Umwelt – und das in den sehr empfindlichen obersten Schichten unserer Atmosphäre. So entstehen etwa durch das Verglühen von chemischen Antrieben oder Batterien Dämpfe, die das

Klimageschehen beeinflussen könnten. Dieser Problematik widmet sich das Projekt Bio Strux. „Das DLR entwickelt Materialien für Satellitenstrukturen auf der Basis von Holz“, so Kaikhosrowi. „Dadurch soll der Prozess des Verbrennens so emissionsarm wie möglich ablaufen.“ Das Naturmaterial Holz hat außerdem den Vorteil, dass es hohen Belastungen und Temperaturunterschieden, aber auch den Bedingungen im Vakuum standhält.

„Auf Dauer werden Kleinsatelliten ihre großen Brüder wie die Sentinels nicht vollkommen ersetzen können“, resümiert Dr. Anke Pagels-Kerp, DLR-Bereichsvorständin Raumfahrt im DLR. „Komplexe wissenschaftliche Instrumente benötigen viel Platz und eine extrem leistungsfähige Energieversorgung. Die Kleinen sind vielmehr eine ideale Ergänzung und eröffnen uns viele neue technologische Möglichkeiten im Weltraum.“

Diana Velden ist Redakteurin in der DLR-Kommunikation.

Relevante Umlaufbahnen für Kleinsatelliten im Vergleich zur ISS und zu Navigationssatelliten



* Der Satellit überfliegt einen bestimmten Bereich zur immer gleichen Ortszeit.

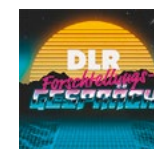
** Der Satellit bewegt sich kontinuierlich über einem festen Punkt auf der Erdoberfläche.

Kilometer-Angaben beziehen sich jeweils auf den Abstand des Satelliten zur Erdoberfläche. Die Darstellung von Größen und Entfernungen in der Grafik ist nicht maßstabsgerecht.

Der Zentrifugist

„Man kann im Vorfeld eines Versuchs viele Berechnungen anstellen, aber letztendlich muss man vor Ort testen. Ich probiere auf der Zentrifuge Trainingsmethoden aus, als ob ich mein eigener Proband wäre.“

Timo Frett vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin entwickelt Trainingskonzepte für die Human-Zentrifuge



Der Podcast
**FORSCHtungs-
gespräch** ist
zu hören auf
dlr.de/podcast
und allen gängigen
Streaming-Platt-
formen. Als Video
ist er auch auf
YouTube und
Spotify verfügbar.



Bild: DLR

Grafik: Getty/Dario Fogo/raufeld

Der ferngesteuerte Kollege

Es war das erfolgreiche Ende einer vierjährigen Technologie-Demonstration: Bei „Surface Avatar“ kooperierte NASA-Astronaut Jonny Kim im Juli dieses Jahres von der Internationalen Raumstation aus mit unterschiedlichen Robotern auf einer simulierten Marsoberfläche des DLR in Oberpfaffenhofen. Unter anderem kommandierte Kim den mobilen DLR-Roboter Bert. Was er vorher nicht wusste: Das Experimentteam hatte einen Fehler programmiert, damit Astronaut und Roboter spontan ein unvorhergesehenes Problem lösen müssen – in diesem Fall ein klemmendes Roboter-Bein. Um einen stabilen Gang für Bert zu finden, ließ Kim den Roboter verschiedene Gangarten ausprobieren und bewertete diese, bis Bert mittels einer Software für bestärkendes Lernen eine funktionierende Strategie gefunden hatte. So konnte er seine Aufgabe erfüllen: Gesteinsproben sammeln und eine Höhle erkunden. Als intelligente Mitarbeiter von Astronauten sollen Roboter künftig wie Avatare Aufgaben zum Beispiel auf dem Mond planen und ausführen können. Angetrieben durch Entwicklungen im Bereich KI und Machine Learning können mit Raumfahrt-Robotik Spin-offs auch in industrielle Branchen außerhalb der Raumfahrt realisiert werden.



Die Welt hinter der Steckdose

Wie funktioniert unsere Stromversorgung?

von Denise Nüssle

Stecker rein und los geht's: Seit rund einhundert Jahren gibt es die Steckdose in ihrer heutigen Form. Sie elektrifiziert unseren Alltag. Brenzlich wird es erst, wenn für längere Zeit kein Strom aus ihr kommt. Spätestens dann rückt der Gedanke ins Bewusstsein, dass hinter dem kleinen rechteckigen Kasten in der Wand mit der runden Aussparung ein komplexes System mit vielen Akteuren, Hightech und Herausforderungen steckt. Mit Prof. Patrick Jochem vom DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme hat das DLRmagazin Antworten auf grundlegende Fragen zusammengestellt – und gibt einen Einblick in die Forschung des DLR für das Stromsystem von morgen.

Was ist ein Stromsystem und welche Komponenten hat es?

Ein Stromsystem hat die Aufgabe, elektrische Energie zu erzeugen, zu speichern und dorthin zu transportieren, wo sie gebraucht wird. Dafür gibt es in Deutschland fast zwei Millionen Kilometer Leitungen auf unterschiedlichen Spannungsebenen, sowohl ober- als auch unterirdisch. Für weite Strecken gibt es das Übertragungsnetz mit Höchst- und Hochspannungsleitungen. Diese hohen Spannungen sind wichtig, um beim Transport wenig Verluste zu haben. Auf einer Distanz von Nord- nach Süddeutschland gehen trotzdem circa fünf Prozent des Stroms verloren. Für die regionale Verteilung kommen Mittelspannungsnetze zum Einsatz. Hier sind auch viele größere Erzeugungsanlagen, etwa Solar- und Windkraftanlagen, angeschlossen sowie Unternehmen mit einem höheren Verbrauch. Das Niederspannungsnetz liefert den Strom dann zu den einzelnen Haushalten und kleineren Betrieben.

Umspannwerke sind wichtige Knotenpunkte zwischen den unterschiedlichen Ebenen. Gleich-

zeitig können sie dabei helfen, das Stromsystem zu regeln. Weitere Bestandteile des Stromsystems sind zum Beispiel Stromspeicher. In der Regel sind das Batteriespeicher oder Pumpspeicherkraftwerke. Letzteres sind Anlagen, die den Strom speichern, indem sie Wasser in ein höher liegendes Becken pumpen und bei Bedarf wieder ablassen, um über Turbinen Strom zu erzeugen.

Das Transportnetz in Deutschland teilen sich vier Akteure auf. Auf lokaler und regionaler Ebene gibt es aber mehr als 800 Stromnetzbetreiber. Die Netzbetreiber sind marktwirtschaftliche Unternehmen – teilweise aber mit öffentlicher Eigentümerstruktur. Sie werden streng regulatorisch überwacht durch die Bundesnetzagentur. Ein Großteil ihrer Einrichtungen gehört zur kritischen Infrastruktur und muss gegen Ausfälle und unbefugte Eingriffe geschützt werden.

Bilder: Freepik (S. 18), DLR (S. 19)



Wieso kommt immer Strom aus der Steckdose?

Rund 40 Gigawatt – das ist die Mindestmenge an elektrischer Leistung, die das Stromsystem rund um die Uhr liefern muss, die sogenannte Grundlast. Vor 20 Jahren kam diese Strommenge vor allem von Kern- und Kohlekraftwerken, die im Dauerbetrieb liefen. Benötigte man mehr Strom, wurden nach und nach weitere Kraftwerke hochgefahren, die sich dynamischer steuern ließen, zum Beispiel Steinkohle-, Gas- und Ölkraftwerke. Der Begriff Spitzenlast bezeichnet den maximalen Strombedarf. Sie liegt in Deutschland bei circa 80 Gigawatt und wird nur einige Male im Jahr für wenige Stunden abgerufen. Entsprechend teuer war es schon immer, die Kapazitäten für die Spitzenlast vorzuhalten und die Netze dafür auszubauen.

Ein besonderes Merkmal des Stromsystems ist, dass es zu jeder Sekunde im Gleichgewicht sein, also das Angebot an Strom der Nachfrage entsprechen muss. In der Vergangenheit mit hauptsächlich fossilen Energiequellen war das vergleichsweise einfach. Denn die Versorgungsunternehmen hatten eine gute Ahnung, wie hoch der Stromverbrauch sein würde – über den Tag verteilt bis hin zum Jahresverlauf. Die Kraftwerke konnten entsprechend eingeplant werden.

Je mehr Strom aus erneuerbaren Ressourcen erzeugt wird, desto flexibler müssen das Stromsystem und seine Komponenten werden: Sonne und Wind stehen umsonst zur Verfügung, sind aber fluktuierende Quellen – also nicht regelmäßig und langfristig planbar. Das Strom-Angebot ist abhängig vom Wetter und den Jahreszeiten und wird von immer mehr und auch kleineren Akteuren bereitgestellt. Gleichzeitig werden mehr Speicher, Reserven und weitere Flexibilisierungsoptionen benötigt.

Wie funktioniert der Strommarkt?

Um Strom möglichst effizient zu erzeugen und preisgünstig zu machen, ist der Stromhandel in Deutschland und vielen weiteren Ländern nach marktwirtschaftlichen Prinzipien organisiert. Man kann sich diese Märkte als Großmärkte vorstellen. Die dort erzielten Preise sind nicht die Endpreise für die individuellen Verbraucher. Der Strommarkt hat mehrere Teilmärkte. Sie unterscheiden sich darin, mit welchem zeitlichen Vorlauf dort Strom gehandelt wird. Beispielsweise kann man Strom schon ein Jahr im Voraus kaufen und dann weiterverkaufen. Je näher der Tag der Lieferung kommt, desto genauer lässt sich sagen, wie groß Angebot und Nachfrage tatsächlich sein werden – was über den Preis entscheidet. Beim „Day-ahead-Markt“ wird der Strom für den nächsten Tag gehandelt. Merkt

man als Stromanbieter, dass man für denselben Tag beispielsweise zu viel Strom zur Verfügung hat, kann man versuchen, diesen auf dem „Intra-Day-Markt“ noch zu verkaufen. Hat man für den Tag zu wenig Strom, kann man hier kurzfristig nachkaufen.

Zudem gibt es den Regelenenergiemarkt: Hier wird in Notfällen – zum Beispiel bei Engpässen durch unvorhergesehene Ereignisse wie einen Kraftwerksausfall – das Stromsystem noch in Echtzeit ausgeglichen. Auf dem Regelenenergiemarkt wird Strom angeboten, der bei Bedarf sehr kurzfristig bereitgestellt werden muss. Der Anbieter wird bereits für die bloße Bereitstellung bezahlt.

Für alle Märkte gibt es digitale Plattformen. Akteure müssen sich erst qualifizieren, um dort handeln zu dürfen. In der Vergangenheit waren die Strommärkte überwiegend national organisiert. Aktuell gibt es in Europa starke Bestrebungen, die Märkte miteinander zu verbinden und sie so effizienter und



PROF. PATRICK JOCHEM

Position: Abteilungsleiter Energiesystemanalyse und Professor am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hintergrund: Studium der Volkswirtschaft und Promotion im Bereich Transportökonomie

Letzter Stromausfall: Vor rund zwei Jahren beim Arbeiten von zu Hause. Circa 15 Minuten und zum Glück nur sehr lokal, sodass das Mobilfunknetz noch funktionierte. Weiterarbeiten am Laptop mit Internetzugang war über mobile Daten möglich – und auch das Eisfach hat die kurze Unterbrechung gut weggesteckt.

Findet besonders spannend: Die Umsetzung der Energiewende angesichts geopolitischer Herausforderungen: Ausbau der Infrastruktur, Resilienz und Sicherheit sowie Ressourcenbeschaffung; die Weiterentwicklung von Strommärkten.



Mit dem NESTEC-Labor untersucht das DLR das Verhalten realer Verteilnetze und testet Komponenten in einem realitätsnahen Umfeld.

wirtschaftlicher zu machen. Auf dem Day-ahead-Markt arbeiten bereits die Märkte der meisten europäischen Länder zusammen. Zwischen den nationalen Stromnetzen gibt es Kuppelleitungen, die vermehrt auch für den Stromhandel genutzt werden.

Wie setzt sich der Strompreis von Verbrauchern zusammen?

Der Strompreis hat viele Komponenten: Grob gesprochen macht die Stromerzeugung selbst 40 Prozent aus, 30 Prozent entfallen auf das Netzentgelt und noch mal 30 Prozent auf sonstige Abgaben und Steuern, zum Beispiel die Mehrwertsteuer. Tendenziell werden die Netzentgelte pro Kilowattstunde mittelfristig weiter steigen: Denn je mehr erneuerbare Energien für die Stromerzeugung genutzt werden, desto komplexer und flexibler muss die Infrastruktur des Stromsystems sein und desto mehr Speicherkapazitäten werden benötigt. Obgleich die Gesamtstromnachfrage durch die Elektrifizierung von Pkw und Wärmebereitstellung wohl steigen wird, werden die Energiemengen, die durch das Netz bewegt werden, tendenziell abnehmen. Unternehmen und private Haushalte werden zwar weiterhin einen Netzanschluss haben, erzeugen und nutzen dann aber vermehrt ihren eigenen Strom. Diejenigen Haushalte, die keine Photovoltaik-Anlage mit Batteriespeicher haben, zahlen dann für jede verbrauchte Kilowattstunde Strom höhere Netzentgelte.

Wie wahrscheinlich ist ein Blackout?

Der Begriff Blackout beschreibt einen großflächigen und über längere Zeit andauernden Stromausfall. In Deutschland ist die Wahrscheinlichkeit dafür

äußerst gering, weil sehr viel in die Netzinfrastruktur investiert wird. Statistisch gesehen erlebt jeder Mensch in Deutschland pro Jahr einen meist nur lokalen Stromausfall von knapp 13 Minuten. Weltweit gesehen entstehen Blackouts oft durch die unzureichende Reaktion von Akteuren wie Netzbetreibern und Energieversorgern auf erhöhte Schwankungen in der Spannung oder Frequenz des Stromsystems. Das Gleichgewicht von Angebot und Nachfrage gerät durcheinander und kann sich gegebenenfalls in einem eng vernetzten Stromsystem sehr schnell ausbreiten.

Sind Wechselrichter von Photovoltaikanlagen ein Risiko für das Stromnetz?

Wechselrichter haben eine wichtige Funktion: Sie wandeln den von Solarmodulen gewonnenen Gleichstrom in Wechselstrom um. Damit kann dieser direkt genutzt oder ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Zudem verfügen sie normalerweise über einfache Funktionen, um die Netzqualität zu überwachen und zu steuern. Zum Beispiel regeln sie bei einem Ungleichgewicht im Netz die Einspeisung ab. Machen das allerdings alle Wechselrichter gleichzeitig, weil zu viel Solarstrom verfügbar ist, kann sich ein Ungleichgewicht verschärfen. Deshalb geht die Entwicklung hin zu intelligenten Wechselrichtern und Ortsnetztransformatoren. Sie können von außen angesteuert werden und das Gleichgewicht im Stromsystem wesentlich besser und zeitlich viel kleinteiliger regeln. Je intelligenter diese Komponenten werden, desto wichtiger ist es, sie gegen unbefugten Zugriff zu schützen.

Bild: DLR

Was erforscht das DLR im Bereich des Stromsystems?

Das DLR betrachtet die Stromversorgung als System von Technologien und erforscht, wie es für zukünftige Herausforderungen fit gemacht werden kann. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Sektorenkopplung. Darunter versteht man, dass die Sektoren Elektrizität, Verkehr, Wärme und Industrie miteinander vernetzt sind, gemeinsam gedacht und optimiert werden. Aus einer wirtschaftswissenschaftlichen Perspektive untersucht es das Design von Strommärkten und Strompreisen sowie die Entwicklung von Stromsystemen. Hier liegt der Fokus darauf, wie man eine resiliente, sichere, erneuerbare und für alle finanzierbare Energieversorgung gewährleisten kann.

Darüber hinaus modellieren die DLR-Forschenden Strommärkte mit der selbst entwickelten Open-Source-Software AMIRIS. Diese berücksichtigt das strategische Handeln unterschiedlicher Marktteilnehmer und deren Beweggründe – vom unternehmerischen Eigeninteresse bis hin zu einer unvollständigen Informationslage. Auf diese Weise lassen sich die Folgen bestehender oder zukünftiger Marktdesigns möglichst realitätsnah untersuchen,

zum Beispiel, wie sich regulatorische Rahmenbedingungen auf das Stromsystem auswirken. Dieses Wissen kann Entscheidungen in Politik, Verwaltung und Wirtschaft unterstützen. Unternehmen auf dem Strommarkt können mit den Szenarien des DLR ihre strategische Positionierung weiterentwickeln oder die Tarife für Endkunden intelligenter und flexibler machen.

Was die Technologie für Stromnetze betrifft, beschäftigt sich die DLR-Forschung mit den technischen Herausforderungen, welche die erneuerbaren Energien mit sich bringen – eine steigende Dynamik und viel mehr, vorwiegend dezentral organisierte Akteure. Im Mittelpunkt stehen dabei neue Netztechnologien und Netzarchitekturen, Regelungen für intelligente Netze und Maßnahmen, um Fehler oder Störungen im Stromnetz zu vermeiden oder möglichst schnell zu beheben. Dafür kann auch künstliche Intelligenz zum Einsatz kommen.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR und berichtet vorwiegend über die Forschungsbereiche Energie und Verkehr. Sie nahm diesen Artikel zum Anlass, ihrer lokalen Strominfrastruktur einen Besuch abzustatten – natürlich mit gebührender Entfernung.

STROM-INSIDER-WISSEN



Stromstärke: Menge an Strom (elektrischer Ladung/Elektronen), die sich pro Sekunde durch eine Leitung bewegt, gemessen in Ampere. Analog: Wassermenge in einer Leitung.



Elektrische Spannung: Druck, mit dem Strom durch eine Leitung fließt, gemessen in Volt. Analog: Wasserdruck in einer Leitung.



Elektrische Leistung: Beschreibt, wie viel Energie zu einem bestimmten Zeitpunkt erzeugt oder verbraucht wird. Produkt aus Stromstärke und elektrischer Spannung. Gemessen in Watt.



Strom- oder Netzfrequenz: Gibt an, wie oft der Wechselstrom pro Sekunde seine Richtung ändert. Gemessen in Hertz. Entscheidender Faktor für Stabilität des Stromnetzes. Die Höhe der Schwankungen ist ein Indikator, ob Strom-Angebot und Strom-Nachfrage im Gleichgewicht sind. Netzbetreiber müssen die Frequenz ihrer Netze genau beobachten und in engen Grenzen halten. Ansonsten können technische Geräte Schaden nehmen.



Redispatch: Bezeichnet das Management von regionalen Engpässen im Stromsystem, nachdem der Handel auf den Strommärkten bereits abgeschlossen ist. Netzbetreiber passen die Einspeisung von Strom ins Netz an, um Engpässe zu vermeiden, zu beseitigen und so für ein stabiles Netz zu sorgen. Auch erneuerbare Energien werden verstärkt miteinbezogen.



Brownout: Eine kontrollierte, lokale Absenkung der Spannung im Stromnetz um 10 bis 25 Prozent durch Netzbetreiber. Letzte Maßnahme, um bei Engpässen oder drohender Überlastung einen Blackout zu verhindern. Darf in Deutschland in der Regel vier Stunden nicht überschreiten.



Kapazitätsmarkt: Abkehr vom bisherigen Marktpflichtprinzip: Nicht nur die gelieferte Strommenge, sondern auch die gesicherte Bereitstellung wird vergütet, egal ob der Strom dann abgenommen wird oder nicht. Mit diesem Prinzip kann die sichere Versorgung, vor allem bei einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien, besser gewährleistet werden. Kapazitätsmärkte gibt es beispielsweise bereits in Belgien, Großbritannien und Italien.

Wie man Drohnen erfolgreich abwehrt

Ein Überblick zu allen Bestandteilen des CUSTODIAN-Projekts

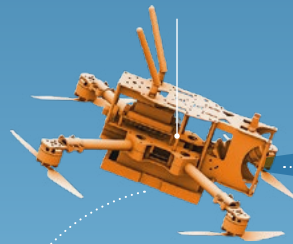
LAGEBILD DARSTELLUNG

Im Lagezentrum laufen alle Sensordaten zusammen. Ein fusioniertes Lagebild unterstützt Verantwortliche bei der Entscheidung, welche Gegenmaßnahmen ergriffen werden.



RAMMENDE ABFANGDROHNE

Diese Abfangdrohne verfolgt eindringende Drohnen automatisch, kollidiert absichtlich mit ihnen und lässt sie dadurch abstürzen.



EINDRINGENDE DROHNE

Eine unkooperative Drohne im Luftraum über einer kritischen Infrastruktur, zum Beispiel einem Flughafen, ist eine Bedrohung, die so schnell wie möglich ausgeschaltet werden muss.



GREIFENDE ABFANGDROHNE

Die greifende Abfangdrohne verfolgt unkooperative Drohnen, positioniert sich unter ihnen und fängt sie mithilfe ihres Fangnetzes ein.



OPTISCHES TRACKINGSYSTEM

Dieses kommerzielle Zielverfolgungssystem ortet unbemannte Luftfahrzeuge mit Multispektralkameras. Wenn mehrere Einheiten gleichzeitig eingesetzt werden, kann die Position von Drohnen hochpräzise bestimmt werden.



GNSS-SPOOFING

Diese Abfangdrohne führt ein Gerät mit, mit dem sie die Signale der Global Navigation Satellite Systems (GNSS) verfälscht und dadurch feindliche Drohnen vom Kurs ablenkt.



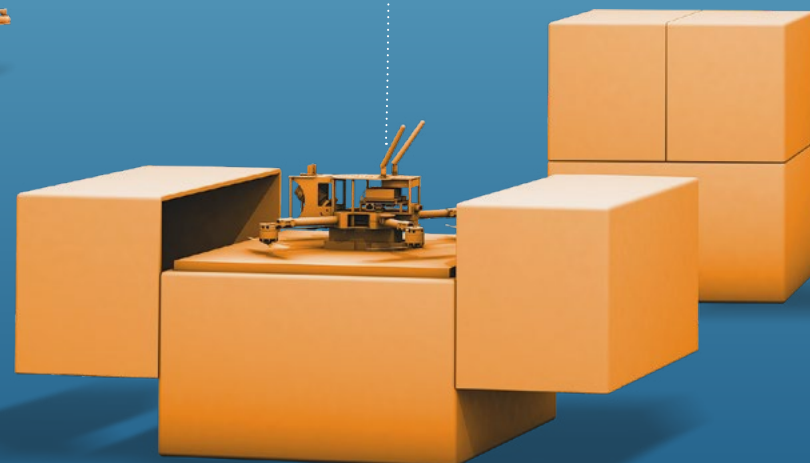
LASERSTRAHL

Der Laser des TRAILER-Systems beleuchtet die gegnerische Drohne, damit diese auch bei schwierigen Sichtverhältnissen, zum Beispiel Dunkelheit, detektiert werden kann.



TRAILER-PLATTFORM

Die TRAILER-Plattform ist ein mobiles System, mit dem unbemannte Luftfahrzeuge schnell und präzise geortet werden können. Es nutzt multispektrale Kameras und Laser.



ÜBER CUSTODIAN

Ein integriertes System zur Abwehr von Drohnen – darum geht es im DLR-Projekt CUSTODIAN (Counter-UAS Technologies for Detection, Interception and Neutralization, auf Deutsch „Hüter“), in dem unter Federführung des DLR-Instituts für Flugsystemtechnik zwölf DLR-Institute und -Einrichtungen ihre Kompetenzen bündeln. Im Kern dreht es sich darum, Bedrohungsszenarien zu analysieren, die aktuelle Sicherheitslage intuitiv verständlich in einem Lagebild darzustellen und Angriffe von unbemannten Luftfahrzeugen zu vereiteln. Dazu kann auf eine Vielzahl von weichen und harten Gegenmaßnahmen zurückgegriffen werden. Um in der Zukunft auf Bedrohungen wie mehrere in einem Schwarm auftretende eindringende Drohnen reagieren zu können, wird die Sensor- und Wirkmittelauswahl stetig erweitert und erprobt.

Infografik: CD Werbeagentur

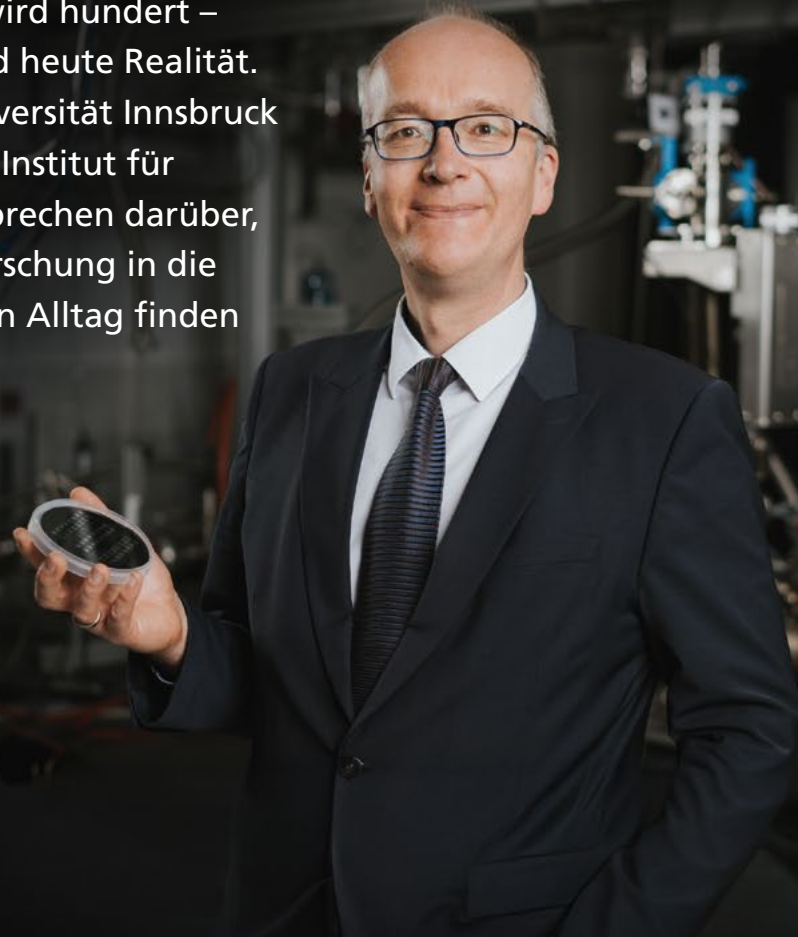
FLYBOTS-DETEKTIONSSYSTEM

Dieses mobile Detektionssystem erkennt dank seines X-Band-Radars und der Wärmebildkamera Luftfahrzeuge, insbesondere Drohnen, frühzeitig und stellt diese Information den Trackingsystemen zur Verfügung. So ist eine lückenlose Positionsbestimmung jederzeit möglich.

„Wo beginnt die Quantenwelt?“

Die Quantenmechanik wird hundert – Visionen von damals sind heute Realität. Rainer Blatt von der Universität Innsbruck und Kai Bongs vom DLR-Institut für Quantentechnologien sprechen darüber, wie Quanten aus der Forschung in die Anwendung und unseren Alltag finden

Die Fragen stellte Jens Mende



Bilder: DLR (unten), Robbie Shone (oben)

Planck, Einstein, Heisenberg und Schrödinger legten die Grundsteine der Quantenphysik. Waren sie auch technologische Visionäre?

Rainer Blatt: Alle bedeutenden Physikerinnen und Physiker waren und sind Visionäre – sie haben eine Vision davon, wie unsere Welt funktioniert und wie man sie beschreiben kann. Konkrete Anwendungen hatten sie sicher auch im Kopf.

Kai Bongs: Anfang des 20. Jahrhunderts hat man Quantenphänomene, wie wir sie heute auch technologisch nutzen, oft für nicht realisierbar gehalten und meist in Gedankenexperimenten debattiert. Wissenschaftler wie Albert Einstein hatten sicherlich ihre Meinung zum technischen Nutzen.

Welche Bedeutung hat die Quantenphysik heute für uns?

Rainer Blatt: Fortschritte in der Physik haben stets zu neuen Technologien geführt, insbesondere auch in der Quantenphysik. Die Industrieländer verdanken ihr mehr als 30 Prozent des Bruttosozialprodukts.

Kai Bongs: Es gibt heute viele Geräte, die auf der Quantenphysik beruhen. Dazu zählen die Halbleitertechnologie für elektronische Bauteile, Computer, Smartphones und Digitalkameras ebenso wie der Laser oder die Magnetresonanztomografie in der Medizin.

Es heißt, wir stehen vor der zweiten Quantenrevolution. Erleben wir gerade einen Durchbruch wie vor hundert Jahren?

Kai Bongs: Eigentlich ist die zweite Quantenrevolution nichts Neues in Bezug auf die Quantenphysik. Dahinter stecken noch immer die Erkenntnisse, wie Atome zu erklären sind oder dass Licht seine Energie als winzige Pakete überträgt.

Rainer Blatt: Die Erwartungen sind aktuell sehr hoch – doch Durchbrüche brauchen beharrliche und geduldige Forschung und Technologieentwicklung.

Worin bestand die erste Quantenrevolution und was hat sie hervorgebracht?

Rainer Blatt: Man kann berechtigterweise sagen, dass die Quantenphysik die Basis der Technologien des 20. Jahrhunderts ist. 1925 haben Werner Heisenberg, Max Born und Pascual Jordan etwa zeitgleich mit Erwin Schrödinger die erste schlüssige Theorie der Quantenphysik formuliert. Es gab aber bereits früher eine ganze Reihe von Vorarbeiten – um 1900 von Max Planck, später von Albert Einstein, Louis de Broglie und vielen anderen. Die Quantenmechanik führte rasch zum Verständnis der Vorgänge in Atomen. Daraus entstanden Technologien wie Magnetresonanzmessungen, Radar, Laser, Transistoren und Halbleiter, aber auch Kernwaffentechnologie und Kernkraftwerke.

Ende der Vierzigerjahre gelang es, die spezielle Relativitätstheorie und die Quantenphysik zur Quantenelektrodynamik zusammenzuführen. Sie erklärt, wie Licht und Materie miteinander wechselwirken. Die Quantenchromodynamik beschrieb dann das Innere der Atomkerne und deren Zusammenhalt. In den Achtzigern kamen die Quantenoptik und die Photonik hinzu. All das ermöglicht es heute, atomare Größen präzise zu berechnen, sie sind die Grundlagen für die heutige Messtechnik.

Kai Bongs: Ein Paradebeispiel für eine sehr erfolgreiche Quantentechnologie ist der Laser. Am Anfang hieß es: „A Laser is a device seeking for a problem“ – es gab zunächst gar keine konkrete Anwendung. Heute sind Laser überall im Einsatz, in der Wissenschaft, in der Medizin, in der Materialbearbeitung bis hin zur Datenübertragung. Im DLR nutzen wir Laser in der Raumfahrt, in der Spektroskopie, in der Kommunikation, in der Luftfahrt für Strömungsmessungen und in hochpräzisen Laseruhren.

Was sind aktuell große Forschungsschwerpunkte?

Rainer Blatt: Die Fehlerkorrektur bei der Informationsverarbeitung mit

PROF. RAINER BLATT ...

... (S. 24, oben) forscht als Experimentalphysiker auf dem Gebiet der Quantenoptik und Quanteninformationsverarbeitung. Er studierte Physik an der Universität Mainz, wo er 1981 promovierte. Nach mehreren Jahren in den USA, in Berlin, Hamburg und Göttingen hat ihn die Universität Innsbruck 1995 als Ordinarius für Experimentalphysik berufen. Seit 2003 ist er Wissenschaftlicher Direktor des Instituts für Quantenoptik und Quanteninformation der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Innsbruck. Er ist Mitgründer eines Start-ups für die Herstellung von Quantencomputern.

PROF. KAI BONGS ...

... (S. 24, unten) ist seit 2023 Direktor des DLR-Instituts für Quantentechnologien in Ulm. Zu den dortigen Forschungsschwerpunkten zählen hochpräzise Quantensensoren für Magnetfelder und Gravitation, Quantenkommunikation und optische Uhren. Kai Bongs hat zuvor den UK National Quantum Technology Hub in Sensors und Timing geleitet. An der Universität Birmingham hatte er einen Lehrstuhl für Kalte Atomphysik inne. 2006 habilitierte er in Experimentalphysik an der Universität Hamburg.

Quantencomputern ist ein großes Thema. Quantenzustände sind sehr empfindlich und zerfallen mit der Zeit. Das führt zu Rechenfehlern. Hier gab es in den letzten zehn Jahren erstaunliche Fortschritte, die aber für marktreife Quantencomputer noch technologisch umgesetzt werden müssen. Näher am praktischen Einsatz sind abhörsichere Quantenkommunikation und Quantensensorik für hochpräzise Messtechniken.

Kai Bongs: Quantenalgorithmen sind ein zentraler Punkt für konkrete Anwendungen. Bei hochkomplexen Optimierungsaufgaben wie dem Stabilisieren von Energienetzen, dem Steuern von Verkehrsströmen oder in der Logistik stoßen klassische Computer an ihre Grenzen, weil ihre Rechenzeit ins Unermessliche steigt. Quantencomputer rechnen anders – ihre Qubits erlauben Rechenoperationen nach Regeln der Quantenphysik, die es in der klassischen Informatik nicht gibt.

Ein weiteres Gebiet sind Quantensensoren. Sie sind oft mehr als hundertmal genauer als konventionelle Sensoren. Allerdings sind sie noch sehr teuer. Es geht auch darum, die Geräte so robust zu machen, dass sie immun gegen Störungen sind. Künftige Anwendungen reichen von der satellitenfreien Navigation, dem autonomen Fahren über die Suche nach Bodenschätzen bis hin zur medizini-

schen Diagnostik, beispielsweise bei Gehirnerkrankungen.

Herr Blatt, woran forschen Sie und Ihr Team aktuell?

Rainer Blatt: Wir haben hier in Innsbruck Quantencomputer mit bis zu 100 gespeicherten Ionen als Qubits und forschen intensiv an der Fehlerkorrektur in Quantenalgorithmen. Ein weiteres Thema sind Quantenschnittstellen. Mit ihnen können Quanteninformati- onen von Ionen auf Photonen übertragen und mehrere Quantencomputer per Glasfaser vernetzt werden – quasi ein abhörsicheres Quanten-Internet. Dafür entwickeln wir auch sogenannte Quantenrepeater, um die in den Photonen gespeicherte Information immer wieder in neue Photonen einzuschreiben, da das Lichtsignal in der Glasfaser gedämpft wird.

Noch tiefer in den Grundlagen forschen wir sowohl daran, die Zahl der Qubits von Quantencomputern zu skalieren als auch die Eigenschaften der Qubit zu erweitern. Bisher nutzen wir Qubits mit zwei Basiszuständen, die mit der logischen Null und Eins von Binärcodes assoziiert sind. Das Ziel ist, künftig sogenannte Qudits mit mehr als zwei Basiszuständen zu nutzen. Das erweitert die rechnerischen Möglichkeiten deutlich, ohne die technische Kontrolle schwieriger zu machen.

Das DLR-Institut für Quantentechnologien entwickelt Laseruhren und weltraumtaugliche Präzisionsinstrumente für Quantensensorik und Quantenkommunikation. In enger Zusammenarbeit mit der Industrie bringt es diese zur Prototypenreife (Foto links).

Schrödingers Katze – ein Gedankenexperiment: In einer Kiste befinden sich eine Katze und eine Apparatur, die per Zufall Gift freisetzen kann. Solange die Kiste zu ist, weiß niemand, ob die Katze lebendig oder tot ist. Die Katze steht für ein Quantenobjekt in einer Überlagerung von zwei Zuständen. Beim Öffnen der Kiste verschwindet diese Superposition. Die Quantenphysik beschreibt die Wahrscheinlichkeiten, ob wir in der Kiste eine tote oder lebende Katze finden.

Herr Bongs, welche Quantentechnologien entwickelt und erprobt das DLR?

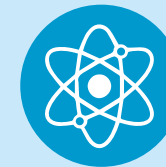
Kai Bongs: Luft- und Raumfahrt sind Technologietreiber für Quantentechnologien. Nehmen Sie zum Beispiel die hochpräzise Satellitennavigation: Quantenuhren für Satelliten ermöglichen eine zentimetergenaue Positionsbestimmung auf der Erde. Das DLR forscht an Anwendungen von Quantencomputern bei der Energieversorgung, für die Mobilität oder für die Luftfahrt, beispielsweise zum Optimieren von Flugrouten. Das Spektrum reicht von der Materialforschung bis hin zu quantengestützter KI.

In der DLR Quantencomputing-Initiative arbeiten Forschung und Industrie direkt zusammen, entwickeln Hard- und Software für Quantencomputer und sind im unmittelbaren Austausch mit künftigen Nutzern. In der Quantenkommunikation entwickeln wir Geräte, um Daten per Glasfaser oder über Satelliten weltweit abhörsicher übertragen zu können. Hier betreibt das DLR schon erste Satelliten, die Quantenschlüssel zum Ver- und Entschlüsseln der Daten erzeugen und übertragen. In den nächsten Jahren erwarten wir Quantensensoren mit ultrakalten Atomen zur Navigation ohne Satellitensignale, Gravitations- sensoren für die Erdbeobachtung, die beim Klimaschutz unterstützen oder für die Suche nach Bodenschätzen, bis hin zu Magnetfeldsensoren für die Medizintechnik.

Herr Blatt, Sie stehen an der Spitze der Quantenforschung. Ganz ehrlich, können wir Quantenphysik überhaupt verstehen?

Rainer Blatt: Das hängt davon ab, was mit „verstehen“ gemeint ist. Unser Verständnis der Natur ist davon geprägt, was wir wahrnehmen und welches Bild wir uns von ihr machen. Mit neuen, besseren Instrumenten können wir Phänomene wahrnehmen, die uns sonst nicht zugänglich wären. Daran passen wir unser Weltbild an. Generell fragt die Physik nicht nach dem „Warum“, sondern nach dem „Wie“. Wir können

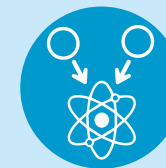
DIE WICHTIGSTEN BEGRIFFE ZU QUANTENTECHNOLOGIEN



Quanten (lat. „quantum“: wie groß, wie viel): Ursprünglich waren damit die Lichtquanten gemeint, die Strahlung als kleine Energiepakete übertragen. Heute zählen dazu auch alle quantenphysikalischen Objekte wie Elementarteilchen und deren Wechselwirkungen.



Welle-Teilchen-Dualismus: Quantenobjekte haben gleichzeitig Wellen- und Teilcheneigenschaften. So verhält sich Licht als Teilchen bei Messung seiner Energie, wie beim photoelektrischen Effekt, oder als Welle bei Beugung, wie im Doppelspaltexperiment.



Superposition: Superposition ist eine kontrollierte Überlagerung von Quantenzuständen. So wie die Lage eines Punktes auf einem Blatt Papier durch die jeweiligen Abstände zu dessen Rändern definiert ist, entspricht eine Superposition einer Summe mehrerer Anteile von Quantenzuständen, die ein Quantenobjekt beschreiben.



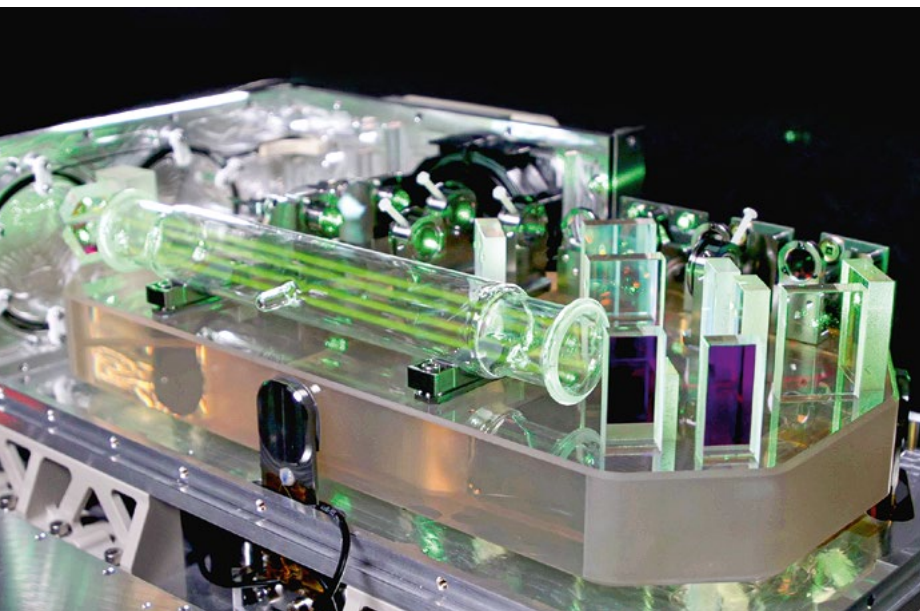
Verschränkung: Durch Übertragen einer Superposition von einem auf andere Quantenobjekte lassen sich diese verschränken. Verschränkte Objekte lassen sich nicht mehr einzeln beschreiben, sondern nur noch als ein ganzes Objekt. Quantencomputer nutzen Quantenobjekte, sogenannte Qubits, als Informationsträger. Diese besitzen zwei Basiszustände, die mit der logischen Null und Eins eines klassischen Bits assoziiert sind. Quantencomputer rechnen nach quantenphysikalischen Prinzipien. Ihre Quantenalgorithmen nutzen gezielt Superpositionen und Verschränkungen und können bestimmte Aufgaben effektiver lösen als heutige Computer.

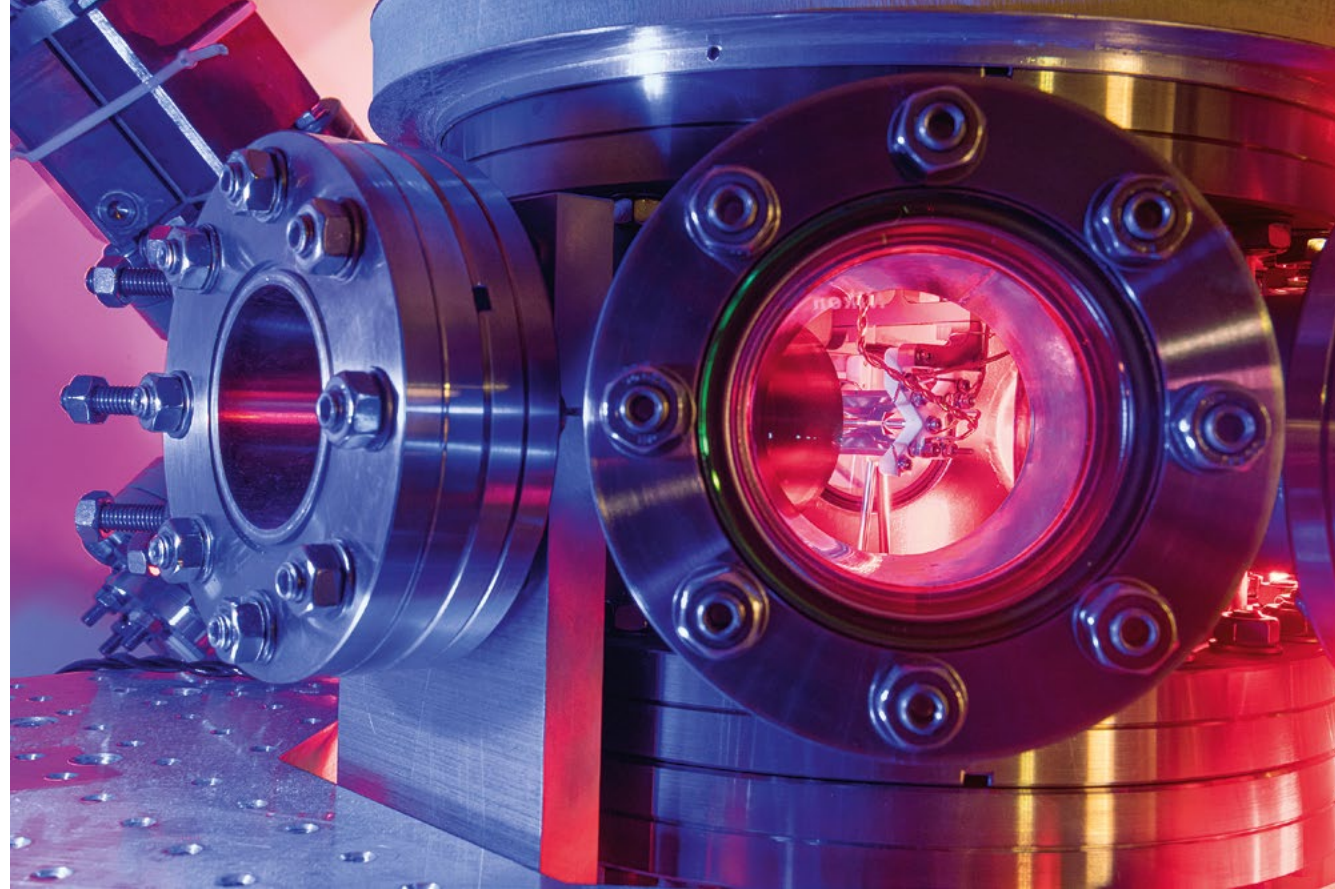


Quantenkommunikation: Abhörsichere Übertragung von Information mit quantenphysikalischen Methoden. Quantenmechanische Verschränkung ist die Basis zum verschlüsselten Versenden und Lesen der Daten. Abhörversuche würden die Verschränkung zerstören und so die Übertragung unterbrechen.



Quantensensorik: Hochpräzise Sensoren, die Quanteneffekte zum Messen physikalischer Größen nutzen, beispielsweise Beschleunigung, Rotation oder Gravitation sowie elektrische und magnetische Felder.





28

nicht begründen, warum ein Stein fällt. Wir können aber sagen, wie der Stein fällt. So verstehen wir heute auch die Quantenphysik. Mein Weltbild ist von den Phänomenen geprägt, die wir täglich im Labor beobachten.

Ich habe ein pragmatisches Verhältnis zur Quantenphysik. Wenn ein neues Phänomen hinzukommt, passe ich als Physiker meine Sicht an und kann mit dem neuen Verständnis weiterarbeiten. Die Phänomene der Quantenwelt evozieren auch so manche philosophische Frage, bei deren Beantwortung wir mit dem physikalischen Verständnis an Grenzen stoßen. Solche Überlegungen können wichtig und wertvoll sein. Sie ändern mein „Verständnis“ der Quantenphysik aber nicht, solange sie nicht zu neuen, belegbaren Erkenntnissen führen.

Herr Bongs, wie sieht Ihr Quantenbild aus?

Kai Bongs: Ich nutze häufig den Welle-Teilchen-Dualismus, um zumindest ein klein wenig Intuition zu erlangen. Wenn ich an Wellen denke, fällt es mir leichter, mir eine Superposition oder ein Quantenobjekt vorzustellen, das an zwei Orten gleichzeitig ist. Aus dem Urlaub weiß man ja, eine

Welle erreicht naturgemäß alle Teile eines Strands.

Wo sind heute in der Quantenforschung die Grenzen unseres Wissens?

Rainer Blatt: Auf Grenzen stoßen wir dort, wo wir mit heutigen Technologien noch nicht messen können, im extrem Kleinen oder in sehr großen Dimensionen, aber auch dort, wo Theorie und Experiment noch nicht übereinstimmen. Wir verstehen noch nicht, wie sich die Quantenphysik und die allgemeine Relativitätstheorie, also die Gravitation, zusammenbringen lassen. Wo beginnt die Quantenwelt, wo endet die klassische Welt? Gibt es überhaupt eine Grenze – oder ist alles nur eine Frage der Messung und Kontrolle von Quantenzuständen?

Kai Bongs: Eine grundlegende Herausforderung ist, Quantenzustände noch besser isolieren und kontrollieren zu können. Wie weit wir die Quantenphysik treiben können, wissen wir heute noch nicht.

Dr. Jens Mende ist Standortkommunikator für das DLR in Stuttgart und in Ulm. Als promovierter Physiker teilt er die Faszination für die Welt der Quanten, in der uns die Natur die Grenzen unseres Wissens vor Augen führt.

Blick in die Vakuumkammer, in deren Zentrum eine Paul'sche lineare Ionenfalle mithilfe elektrischer Wechselfelder Ionen speichert. Diese werden als Qubits verwendet. Ein Laser adressiert einzelne gespeicherten Ionen-Qubits. So lassen sich deren Quantenzustände gezielt kontrollieren.

Bild: Robbie Shone

Autonom und flexibel auf der letzten Meile

Das DLR bereitet einen einzigartigen Erprobungsbetrieb auf der Straße vor

Von Denise Nüsse



29

Ist es ein Transporter oder ein kleiner Bus? Beides – je nachdem, was gerade gebraucht wird. Im Projekt IMoGer (Innovative modulare Mobilität Made in Germany) entwickelt und testet das DLR ein in seiner Vielseitigkeit und Praxisnähe einzigartiges Mobilitätsangebot: Es kombiniert den autonomen, flexiblen und bedarfsorientierten Transport von Personen und Gütern auf der „letzten Meile“. Darunter versteht man etwa den Weg vom Bahnhof nach Hause oder den letzten Teil der Transportkette bei

Bild: DLR

Paketlieferungen vom Verteilzentrum zu den Kundinnen und Kunden. IMoGer unterstützt dabei auch den Markthochlauf des autonomen Fahrens in Deutschland und der damit verbundenen Technologien, Innovationen und Services. Außerdem nutzt das Projekt die Synergiepotenziale zwischen dem Personen- und Gütertransport. Es kann so dazu beitragen, die Verkehrsbelastung zu reduzieren sowie die Effizienz und Nachhaltigkeit im Mobilitätsbereich zu erhöhen.

Mit einer kleinen Testflotte soll das IMoGer-Konzept ab Mitte 2027 im Braunschweiger Stadtteil Schwarzer Berg über mehrere Wochen erprobt werden. Dabei werden die Fahrzeuge des DLR den öffentlichen Nahverkehr ergänzen und Fahrten im Bereich der Kurier-, Express- und Paketlogistik übernehmen. Bis dahin muss das Team aus mehreren Instituten der DLR-Verkehrsforschung noch einiges an Pionierarbeit leisten. Beteiligt am Projekt sind auch Unternehmen der Mobilitätsbranche, der Verkehrswirtschaft und Logistik. In den Bereichen der Technologieentwicklung für Fahrzeug-Automation, Betriebsmanagement und Infrastrukturunterstützung sind das die Firmen Motor Ai, DiMOS Operations und VITRONIC Machine Vision. Die Braunschweiger Verkehrs-GmbH als Anbieter des öffentlichen Nahverkehrs und der weltweit tätige Logistik- und Paketdienstleister

Darstellung des IMoGer-Gesamtsystems: Anwendungsfälle und Bestandteile

UPS ermöglichen die testweise Einbindung der Flotte in Betriebsprozesse und -systeme.

Modulares Fahrzeugkonzept U-Shift als Grundlage

Als mobile Plattform kommt das am DLR entwickelte „U-Shift“ zum Einsatz. Es wurde schon im autonomen Forschungsbetrieb auf einer halb öffentlichen Strecke bei der Bundesgartenschau im Jahr 2023 erprobt. Das Fahrzeug ist elektrisch angetrieben und damit leise. Für Fahrten in Stadtquartieren ist das ideal. Es besteht aus einer u-förmigen Antriebseinheit, daher der Name. Dieses „Driveboard“ beinhaltet die technischen Komponenten für Automation und Antrieb und kann wahlweise Personen- und Güterkapseln transportieren. Für den Erprobungsbetrieb im Projekt IMoGer baut das DLR eine kleine Flotte auf, bestehend aus drei Driveboards, drei Personen- und drei Güterkapseln. Die Fahrzeuggeneration des U-Shift, die auf öffentlichen Straßen in Braunschweig unterwegs sein wird, wird dafür an wichtigen Stellen technisch weiterentwickelt. Dazu zählen das Lenk- und Bremssystem sowie ein ausfallsicherer Bordcomputer.

Eine zentrale Herausforderung für das Team ist es, die U-Shift-Fahrzeuge fit für das autonome Fahren auf Level 4 der SAE-Klassifizierung zu

machen. Alle dafür notwendigen Komponenten wie Kameras und Sensoren werden sich im Fahrzeug befinden.

Autonomes Fahren erfolgreich auf die Straße bringen

In Deutschland gibt es seit 2021 das „Gesetz zum autonomen Fahren“. Es erlaubt, dass autonome Fahrzeuge ohne physisch anwesende Fahrerinnen oder Fahrer am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmen. Dies gilt zunächst nur für vorab festgelegte und genehmigte Bereiche. „Entsprechend erstreckt sich die Zulassung der IMoGer-Fahrzeuge auf das Stadtquartier Schwarzer Berg und unsere genau definierten Einsatzzwecke“, erklärt Projektsprecher Dr. Tobias Hesse vom DLR. Außerdem schreibt das Gesetz eine sogenannte Technische Aufsicht vor. Für den Erprobungsbetrieb am Schwarzen Berg muss eine Sicherheitsbegleitung den autonomen Betrieb dauerhaft überwachen und eingreifen können. Für einen späteren Regelbetrieb kann die Technische Aufsicht beispielsweise in der Leitstelle des Flottenbetreibers sitzen und sich bei Bedarf auf das Fahrzeug aufschalten. Das kann der Fall sein, wenn ein anderes Fahrzeug unerlaubt in zweiter Reihe parkt und die Aufsicht dem autonomen Fahrzeug erlaubt, dieses Hindernis zu umfahren. „Mit IMoGer zeigt das DLR den Weg auf, wie Technologien für autonomes Fahren in die praktische Anwendung kommen können. So bereitet es einen Regelbetrieb vor“, fasst Hesse zusammen.

Im Bereich des vernetzten und autonomen Fahrens kann das DLR auf umfassende Expertise und Erfahrung zurückgreifen: Es hat zum Beispiel einen Arbeitsplatz für die Technische Aufsicht entwickelt und speziell die Schnittstelle untersucht, an der Mensch und autonomes Fahrzeug zusammenarbeiten. Mit diesem „Remote-Operation-Workplace“ gehört das DLR zu den Vorreitern in diesem Bereich. Außerdem steht ihm mit dem Testfeld Niedersachsen eine einzigartige Forschungsinfrastruktur zur Verfügung, um die Digitalisierung der Straße voranzutreiben, autonome Fahrfunktionen weiterzuentwickeln, zu testen und abzusichern. Dazu fördert das Bundesministerium für Verkehr (BMV) das Projekt mit rund 35 Millionen Euro.

Autonomes Fahren könnte auch eine Lösung für den großen Personalmangel im öffentlichen Nahverkehr und bei Lieferbetrieben sein. Nach Schätzungen des Bundesverbands Deutscher Omnibusunternehmen (BDO) fehlen in

„Mit IMoGer sind wir direkt vor den Haustüren der Menschen aktiv. Wir wollen das Projekt für alle erlebbar machen und aus dem laufenden Betrieb lernen.“

Tobias Hesse, DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik

Deutschland aktuell rund 20.000 Busfahrerinnen und Busfahrer. Bis zum Jahr 2030 soll diese Zahl auf bis zu 87.000 steigen. Ähnlich sieht es im Transport- und Logistikwesen aus.

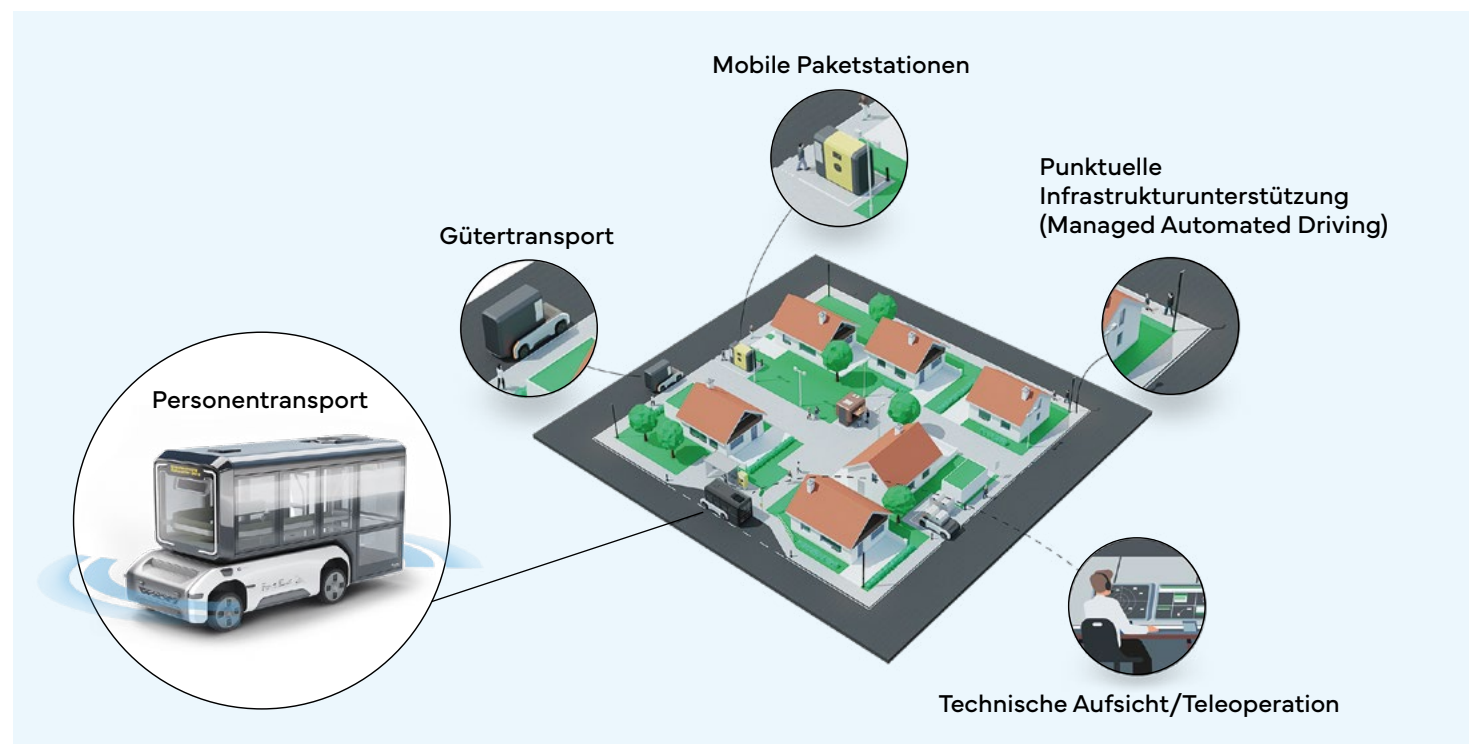
Intensive Beteiligung der Menschen vor Ort

Für den Erprobungsbetrieb baut das DLR vor Ort Infrastruktur auf, zum Beispiel Kameras und Sensoren für die Verkehrsbeobachtung oder einen kleinen Betriebshof. Dort werden die Fahrzeuge geparkt und geladen, die Kapseln gewechselt und kleinere Wartungsarbeiten durchgeführt.

Im öffentlichen Nahverkehr des Stadtteils Schwarzer Berg wird IMoGer in den Spitzenlastzeiten als zusätzlicher Zubringer-Bus zu einer Straßenbahn-Haltestelle unterwegs sein. Dafür kommt die modern ausgestattete Personenkapsel zum Einsatz. Anwohnende können sich als Testpersonen registrieren, um dieses Angebot zu nutzen. Ist weniger los auf den Straßen, unterstützen die IMoGer-Fahrzeuge den Logistikdienstleister UPS bei der Paketzustellung.

Die Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger sowie weiterer Stakeholder wird im Projekt großgeschrieben: „Mit IMoGer sind wir direkt vor den Haustüren der Menschen aktiv. Deshalb wollen wir das Projekt für alle erlebbar machen und aus dem laufenden Betrieb lernen“, so Tobias Hesse. „Rückmeldungen vor Ort sind dem DLR wichtig, um gemeinsam das Konzept und die damit verbundenen Technologien voranzubringen.“

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR und berichtet vorwiegend über die Forschungsbereiche Energie und Verkehr. Sie hat das U-Shift-Fahrzeug von der Entwurfsphase an begleitet und ist gespannt auf den IMoGer-Erprobungsbetrieb.



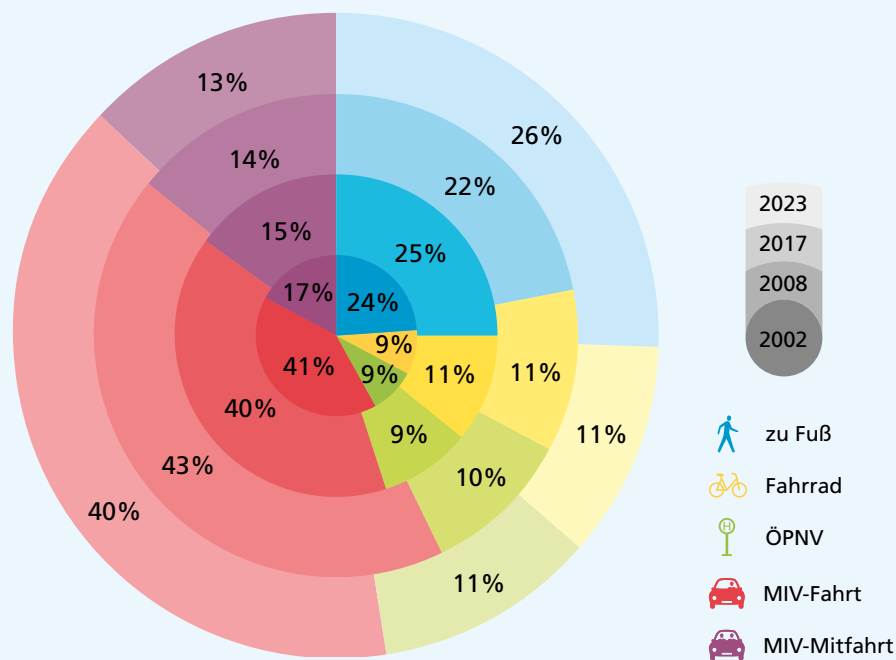
Mobilität in Deutschland

Wichtige Ergebnisse der Studie des Verkehrsministeriums im Überblick



ÜBER DIE STUDIE

„Mobilität in Deutschland“ ist der Titel einer Studie, die das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) in unregelmäßigen Abständen veröffentlicht. Die kürzlich erschienene vierte Ausgabe ist die erste seit 2017 und umfasst die Zeit von Mai 2023 bis Juli 2024. Gut 218.000 Haushalte wurden hierfür vom Institut für angewandte Sozialwissenschaft (infas) in Kooperation mit dem DLR, IVT Research und infas 360 befragt. Wie bei vergangenen Erhebungen arbeitete das BMDV bei der Auswertung mit dem DLR-Institut für Verkehrsforschung in Berlin zusammen. In dieser Übersicht stellen wir die wesentlichen Ergebnisse vor.



Mehr zu Fuß und mit dem Rad

Wir gehen wieder mehr zu Fuß. Sowohl in der Stadt als auch auf dem Land steigt der Anteil der ausschließlich zu Fuß zurückgelegten Wege im Vergleich der vergangenen Jahre an. Auch die Fahrrad-Nutzung zählt zu den Gewinnern, zumindest im städtischen Bereich. Nach seinem Corona-Tief zeigt sich der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) stabil mit einem leichten Trend nach oben. Auffällig: Die Erholung steht im Zusammenhang mit der Einführung des Deutschlandtickets, das längerfristig sogar zu steigender Nachfrage führen könnte. Bei der Nutzung des Autos, also im motorisierten Individualverkehr (MIV), ist ein leichter Rückgang zu beobachten. Die hier gezeigte Aufteilung der zurückgelegten Wege auf die verschiedenen Verkehrsmittel bezeichnen Fachleute als „Modal Split“.

82 %

der Einwohner waren
2023 täglich unterwegs

	Verkehrsaufkommen (Wege) pro Tag	Verkehrsleistung (Personenkilometer) pro Tag
2002	270	2.717
2008	275	3.080
2017	257	3.214
2023	250	3.000

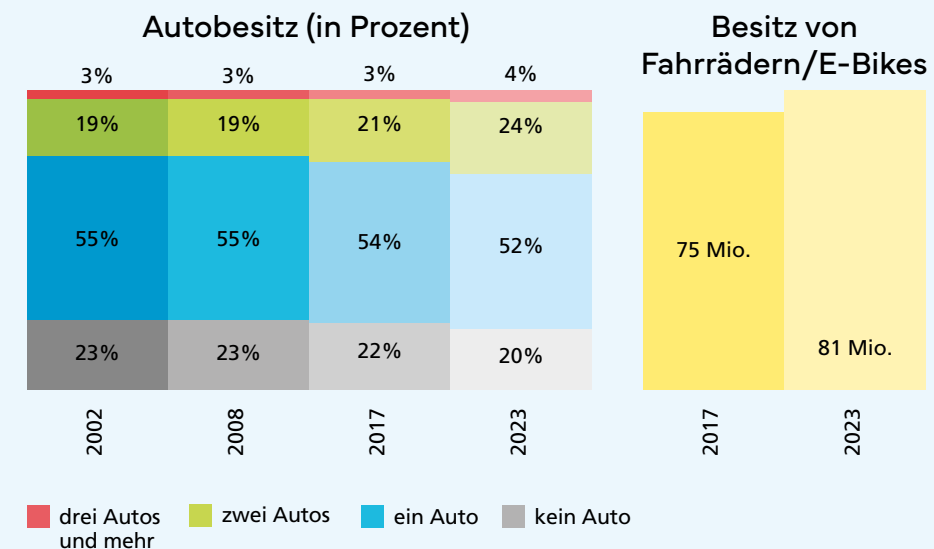
Verkehrsaufkommen und Verkehrsleistung rückläufig

In den letzten Jahren gab es bei den bundesweit pro Tag zurückgelegten Wegen ein leichtes Minus – und das trotz steigender Bevölkerungszahl. Auch sank die Anzahl der pro Person zurückgelegten Kilometer. Ebenfalls interessant: 2017 waren täglich durchschnittlich 85 Prozent der Einwohnerinnen und Einwohner unterwegs, zuletzt nur noch 82 Prozent. Dies gilt besonders für Personen mit höherem ökonomischen Status.

Mehr Autos, mehr Fahrräder – Sharing im Aufwind

Die Pkw-Flotte ist im Betrachtungszeitraum auf nahezu 50 Millionen Fahrzeuge angewachsen, die vollständig oder teilweise privat genutzt werden. Aber auch die Fahrradflotte konnte von rund 75 auf jetzt 81 Millionen Räder zulegen. Hiervon sind knapp 20 Prozent E-Bikes. Junge Erwachsene in größeren Städten nutzen das Auto etwas weniger als Personen

gleichen Alters in den Jahren zuvor. Die Pkw-Nutzung durch Menschen hohen Alters steigt weiter an, vor allem bedingt durch mehr Seniorinnen, die über ein Auto verfügen und es selbst fahren. Carsharing ist weiterhin im Aufwind, vor allem in Großstädten: Personen aus jedem fünften Haushalt nutzen dieses On-demand-Modell, immer öfter auch täglich.



GUTE NOTEN FÜR DIE AUTONUTZUNG

In der Bewertung durch die Nutzenden zeigt sich ungebrochene Zufriedenheit mit dem Auto. Die Noten für die Möglichkeiten im Fuß- und Radverkehr fallen schlechter aus. Ein wesentlicher Grund hierfür dürfte der kritischere Blick auf diese Infrastruktur bei gleichzeitig steigender Nutzung sein. Das Minus im Autoverkehr und das Plus vor allem bei den Fußgängern deutet Veränderungen im Mobilitätsverhalten seit der letzten Erhebung 2017 an. Jedoch ist es noch zu früh, um von einer Trendwende zu sprechen.

Weltpremiere über Nevada

Ein Flugversuch zur Charakterisierung von Kondensstreifen aus der Direktverbrennung von Wasserstoff (H_2) – was wir hier sehen, ist die erste Messung dieser Art überhaupt. Zwei baugleiche Segelflugzeuge wurden für dieses internationale Kooperationsprojekt unter der Leitung von Airbus mit je einem Turbojet-Antrieb ausgestattet. Der entscheidende Unterschied: Bei dem Segler mit dem Namen Blue Condor diente H_2 als Treibstoff, bei dem anderen Kerosin. In neun Kilometern Flughöhe sammelten die Forschenden des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre im jeweiligen Abgasstrahl Daten über die Menge der freigesetzten Spurengase, Aerosole und Kondensstreifen-Eiskristalle. Aus dieser Perspektive – über das Höhenruder von Blue Condor hinweg – ist unterhalb der rechten Tragfläche des Seglers mit Kerosinantrieb der dünne Kondensstreifen aus dem Wasserstoffantrieb erkennbar. Diese entstehen für gewöhnlich im Nachlauf von Flugzeugen mit Verbrennungstriebwerken und werden dann zu Zirren, die einen wesentlichen Anteil an der Klimawirkung des Luftverkehrs haben. Mit Zukunftstechnologien wie wasserstoffbetriebenen Flugzeugen lässt sich nicht nur der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid komplett vermeiden; auch sogenannte Nicht- CO_2 -Effekte – Aerosole und Kondensstreifen – könnten im Vergleich zum Kerosin-Verbrenner deutlich verringert werden.



36

Veränderungen auf der Spur

Dr. Igor Klein ist Experte in der Erdbeobachtung

von Katja Lenz

Bild: DLR

ERKUNDEN

Menschen im DLR

Igor Klein vom DLR erforscht Veränderungen von Landbedeckung und Landnutzung.

Heuschrecken sind nicht nur eine Bedrohung für die Vegetation am ausgetrockneten Aralsee, sondern auch für die Agrarregionen weltweit.

Satelliten richten ihre Blicke aus Hunderten Kilometern Höhe auf Felder, Seen, Städte. Sie liefern Daten für Analysen, für Rückblicke und Zukunftsprognosen. „Aber wenn man dann vor Ort ist, Veränderungen selbst wahrnimmt, mit Leuten spricht ... Das ist nicht zu ersetzen“, sagt Dr. Igor Klein. Die Dinge mit eigenen Augen sehen. Das ist ihm wichtig. Meistens arbeitet er in Oberpfaffenhofen am Earth Observation Center – wenn er nicht gerade auf einer Feldkampagne ist.

Kürzlich war Igor Klein im Grenzgebiet von Kasachstan und Usbekistan unterwegs. Dort, wo früher der Aralsee war. Igor Klein und seine Kolleginnen und Kollegen haben den ausgetrockneten Boden gesehen, verrostete Schiffe, Wüste und Sand. Seit den 1960er Jahren ist der ehemals viertgrößte Binnensee der Welt auf zwei kleine Seen geschrumpft. Satellitenbilder beweisen es Jahr für Jahr. Einige widerstandsfähige Pflanzen gedeihen auf dem trockenen, salzigen Untergrund. Es gibt Heuschrecken. „Als ich das gesehen habe, war es so, als ob sich ein Kreis schließt“, sagt Igor Klein.

Bestimmung der Biomasse

Aber der Reihe nach. Seit dem Jahr 2011 ist Igor Klein im DLR und leitet aus Satellitendaten Informationen zur Veränderung der Landbedeckung und Landnutzung ab. „In meinem ersten Jahr bekam ich die Chance, an einer außergewöhnlichen Expedition teilzunehmen: einer vierwöchigen Feldkampagne nach Kasachstan. Unser Ziel war die systematische Sammlung von Pflanzenmaterial zur Bestimmung der Biomasse – eine wichtige Grundlage, um die Ergebnisse aus Satellitendaten zu überprüfen“, erklärt der Wissenschaftler.

Igor Klein sah auch die Weite der Umgebung, die feinen Unterschiede in der Vegetation, die Übergänge zwischen Landschaftsformen. „Die direkte Erfahrung hilft enorm, die Satellitendaten und

daraus abgeleitete Ergebnisse besser zu interpretieren und ein tieferes Verständnis für die Zusammenhänge in den Regionen vor Ort zu entwickeln“, sagt Igor Klein. Für ihn war diese Kampagne ein Schlüsselmoment: „Als Geograph bringt man eine Neugierde für fremde Landschaften, Ökosysteme und Kulturen mit. Die Kombination mit dieser Expedition hat mir gezeigt, dass ich meinen Traumjob gefunden habe. Fernerkundung ist mehr als nur Technologie – sie ist ein Werkzeug, um unsere Umwelt besser zu verstehen.“

Schwankende Wassermengen

Zurück zum Aralsee. Das Global Water Pack (GWP) des DLR kartiert weltweit Oberflächengewässer mit einer hohen zeitlichen Auflösung. Das GWP zeigt, wie viele Tage im Jahr ein Ort auf der Erde mit Wasser bedeckt war und ist. Damit werden zum Beispiel Ausnahmesituationen und Langzeitveränderungen der Umwelt sichtbar. Auch für das Wassermanagement sind die Daten wertvoll. Die Datensätze sind über den EOC Geoservice öffentlich zugänglich. Sie können von Behörden, Industrie und Forschungseinrichtungen als Informationsgrundlage genutzt werden.

Die beiden nun verbliebenen Seen unterscheiden sich deutlich voneinander. Der Nord-Aralsee in Kasachstan ist flächenmäßig und ökologisch stabil und gefriert im Winter. Der Süd-Aralsee in Usbekistan schrumpft weiter und hat eine hohe Salzkonzentration. In dieser Umgebung war Igor Klein im Frühsommer unterwegs im Rahmen eines Projektes mit der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). In dem Projekt geht es um die nachhaltige ökologische und ökonomische Entwicklung der Aralsee-Region. Erdbeobachtungsdaten spielen eine wichtige Rolle: Können Satelliten Messergebnisse liefern, die eine optimale Landnutzung unterstützen? „Wir versuchen, die richtigen Parameter für verschiedene Anwendungen abzuleiten“, sagt Igor Klein. Dazu zählen etwa das Verhältnis von Boden und Vegetation, die räumlich-zeitliche Verteilung von Wasser und der Versalzungsgrad.

Um die Erosion des Bodens einzudämmen und Staubstürme zu minimieren, werden Saxaul-Sträucher auf den ausgetrockneten Boden gepflanzt. „Diese Sträucher werden von mehreren Schädlingen bedroht – einer davon ist eine spezielle Heuschrecken-Art. Das war bisher nicht problematisch, aber jetzt hat sich diese Art ausgebreitet“, erklärt Igor Klein. Er hat die Heuschreckenschwärme gesehen und dokumentiert. Auch das ist eines seiner Schwerpunkt-Themen. Damit verbinden sich für ihn knapp 15 Jahre Forschung im DLR.



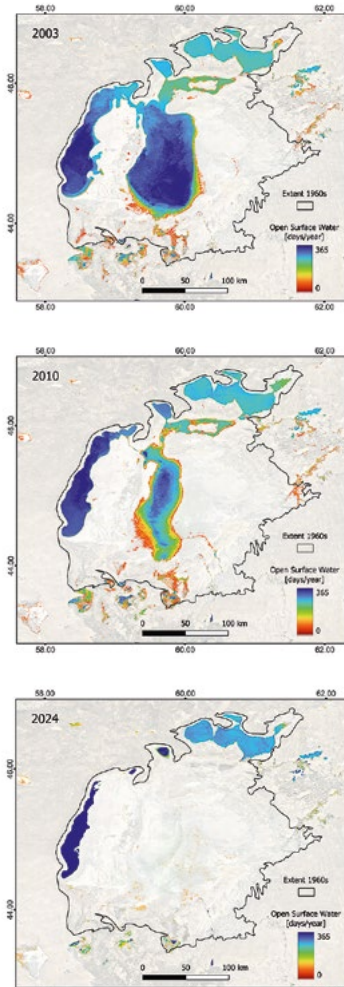
37



PROFIS IN DER ERDBEOBACHTUNG

Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) ist ein Institut des DLR mit Standorten in Oberpfaffenhofen und Neustrelitz. Zusammen mit dem Institut für Methodik der Fernerkundung (IMF) bildet das DFD das Earth Observation Center EOC – das Kompetenzzentrum für Erdbeobachtung in Deutschland. Das DFD stellt mit seinen nationalen und internationalen Bodenstationen den unmittelbaren Zugang zu den Daten nationaler und internationaler Erdbeobachtungssatelliten her, prozessiert die Daten zu Informationsprodukten, verteilt diese an die Nutzer und sichert alle Daten langfristig im Deutschen Satellitendatenarchiv (D-SDA). Im Sinne eines Wissens- und Forschungstransfers entwickelt es themenspezifisch auf behördliche Nutzer zugeschnittene Anwendungen.

Ergebnisse aus Satellitendaten zeigen den Rückgang des Aralsees 2003 bis 2024.



Verbindung von Natur und Kultur

Den Weg ins DLR und in die Erdbeobachtung hat er nicht sofort gefunden. Igor Klein hat sich erst zum Schreiner ausbilden lassen. Mit einem Geographie-Studium sah er die Möglichkeit, seine Interessen für Natur und Kultur zu verbinden. Fernerkundung war dabei ein Schwerpunkt und wurde über die Jahre wichtiger und wichtiger. Vor drei Jahren hat er seine Doktorarbeit abgeschlossen. Das Thema: Fernerkundung im Heuschrecken-Management. Es ging darum, das Potenzial von Erdbeobachtung zu ermitteln, um in Zukunft Heuschrecken-Ausbrüche in verschiedenen Regionen der Erde besser einzudämmen und einen Beitrag zur Nahrungssicherheit zu leisten. Die satellitenbasierte Heuschreckenanalysen führten ihn deshalb auch schon nach Ostafrika, Italien und Australien. „Trockenheit, Starkregenereignisse oder Veränderungen der Landnutzung beeinflussen Heuschreckenausbrüche überall auf der Welt“, sagt Igor Klein.

Das deutsch-kasachische Projekt Locust-Tec ist von 2018 bis 2023 gelaufen. Es erforschte, ob und wie neue Technologien dazu beitragen können, das Heuschrecken-Management zu verbessern. Das Projekt-Team um Igor Klein untersuchte, wie mit Satelliten, Drohnen, digitaler Datenerfassung und -verwaltung Heuschrecken-Ausbrüche rechtzeitig erkannt werden, damit die Schäden eingedämmt werden können. „Heuschrecken-Plagen sind ein globales Problem, sie überschreiten Landesgrenzen und bedrohen die Nahrungssicherheit von Millionen Menschen. Auf der anderen Seite sind Heuschrecken in vielen Kulturen eine proteinreiche Nahrungsquelle“, sagt Igor Klein. Es gibt etablierte Monitoring-Strategien und internationale Netzwerke. Fernerkundungsdaten und -methoden können zentrale Bausteine sein. Deswegen ist das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) im DLR mit verschiedenen Akteuren im engen Austausch, darunter die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO), verschiedene nationale Ministerien und Unternehmen. „Nur durch eine enge Vernetzung von Forschung, internationalen Organisationen und den lokalen Entscheidungsträgern sowie der Industrie lassen sich nachhaltige und effektive Lösungen für das Heuschrecken-Management entwickeln“, erklärt Igor Klein. Die Ergebnisse aus dem Projekt bestätigen: Moderne Methoden der Fernerkundung in Kombination mit künstlicher Intelligenz und digitalen Tools besitzen ein enormes Potenzial.

Katja Lenz, DLR-Presseredakteurin und aufgewachsen in einer Strukturwandel-Region. Sie findet es spannend, dass man in der Erdbeobachtung von weit oben klar sieht, was unten los ist.

Bild: (links oben) DLR, Mitte: DLR EOC Geoservice

Bild: DLR

Mein Job im DLR

Birgit Bödecker



Mein Name ist Birgit Bödecker. Ich arbeite seit zwei Jahren als Sachbearbeiterin in der Standortleitung Oberpfaffenhofen und bin mitverantwortlich für die Zeiterfassung von circa 2.300 Mitarbeitenden. Wir haben dieses Jahr ein neues System eingeführt – eine echte Mammutaufgabe, aber viele Abläufe sind heute deutlich schneller und effizienter.

Was das DLR für mich so besonders macht, ist die kreative Atmosphäre: Hier arbeiten Menschen mit ganz unterschiedlichen Hintergründen und Nationalitäten gemeinsam an neuen Ideen. Ich schätze das tolle Miteinander und die Offenheit im Team. Egal ob Forschung, Verwaltung oder Technik – jeder trägt seinen Teil zum großen Ganzen bei.



Join our fascination – die Karriere Seite des DLR

Vollautomatische Unternehmensberaterin

Chatbot Rosie hilft kleinen und mittleren Unternehmen

Von Evelyn Stahl und Lovis Krüger

Der Stand von Lukas Beckenbauer ist ein Publikumsmagnet auf dem Innovationstag Mittelstand 2025 in Berlin. Der junge Forscher präsentiert, woran er und ein Team von der TU München und der TU Bergakademie Freiberg in einem Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) knapp zwei Jahre lang gearbeitet haben: Rosie – ein Chatbot, der kleine und mittlere Unternehmen (KMU) berät, künstliche Intelligenz gewinnbringend einzusetzen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) ermöglicht solche Projekte durch Förderprogramme wie die Industrielle Gemeinschaftsforschung. Der DLR Projektträger setzt im Auftrag von Ministerien Programme für den Mittelstand um, durch die innovative Lösungen für KMU in die Praxis kommen. Als Berater und Bindeglied zwischen Regierung und Wissenschaft bringt er Innovationen für Wirtschaft und Gesellschaft voran.

Zurück auf den Innovationstag Mittelstand in Berlin: Eine junge Buchhändlerin spricht mit Rosie. Sie fragt, wie sie den Verkauf in ihrem Buchladen steigern kann. Rosie stellt Rückfragen und entwickelt im Chat die ersten Schritte einer Strategie. Sie schlägt vor, eine Community rund um das Buchgeschäft aufzubauen, dafür Social-Media-Kanäle zu nutzen und die Webpräsenz des Buchladens gezielt auf Suchmaschinen auszurichten. Die Buchhändlerin ist überrascht – die Antworten sind konkret und leicht umsetzbar. Das leistet Rosie, die vollautomatische Unternehmensberaterin. Entwickelt wurde der Chatbot von Lukas Beckenbauer und Professorin Isabell Welpé sowie Tim Kanis und Professorin Jutta Stumpf-Wollersheim.

So funktioniert die IGF

Das Besondere an der IGF ist, dass sich Unternehmen in Forschungsvereinigungen zusammenschließen, um den Forschungsbedarf ihrer Branche zu definieren. „Hier sitzen Wettbewerber an einem Tisch, um gemeinsam die Themen und Ziele von IGF-Forschungsvorhaben festzulegen“, sagt Judith Hellhake, Leiterin der Abteilung Innovationen im Mittelstand. „Das ist ein entscheidendes Merkmal und ein großer Vorteil dieses Förderprogramms. Denn jedes Unternehmen, ob Branchenriese oder kleines KMU, mit oder ohne eigene Forschungsabteilung, bringt sein spezielles Wissen ein.“ Forschungsthemen werden gemeinsam festgelegt und die Risiken der Forschung auf viele Schultern verteilt. Die Ergebnisse werden veröffentlicht und stehen der Allgemeinheit zur Verfügung. Wettbewerbsvorteile Einzelner sind damit ausgeschlossen. Durch das Netzwerk von mehr als 100 Forschungsvereinigungen bietet die IGF eine Vielzahl an Anknüpfungspunkten für Unternehmen – branchenübergreifend und themenoffen.

Hier geht es
direkt zu Rosie:



Bild: Getty Images/Oscar Wong

Das Bundeswirtschaftsministerium hat den DLR Projektträger 2024 damit beauftragt, die IGF umzusetzen. Judith Hellhake erklärt: „Wir schaffen Möglichkeiten, in denen sich die diverse IGF-Community mit unterschiedlichsten Schwerpunktbereichen austauschen kann. Auf dem IGF-Kongress 2025 im BMW in Berlin kamen über 130 IGF-Akteure aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zum Netzwerken zusammen, um sich gegenseitig zu inspirieren.“

Als Schnittstelle zu den Forschungsvereinigungen und im Gespräch mit Forschenden sammeln die Expertinnen und Experten des DLR Projektträgers Erfahrungen aus der IGF im Auftrag des BMW und ermöglichen so, dass das Programm immer weiter entwickelt werden kann. Und auch im täglichen Geschäft sorgen sie für reibungslose Abläufe in der IGF. „Wir prüfen Anträge, erlassen Förderbescheide und beraten die Forschungsvereinigungen auch bei der Antragsstellung“, sagt Hellhake. Ihr Team organisiert und betreut Gutachtersitzungen, in denen externe Expertinnen und Experten über Förderanträge diskutieren und ihre Empfehlung abgeben.

Von der Förderung im Rahmen der IGF können nur zuvor autorisierte Forschungsvereinigungen profitieren. Das ist aber an Voraussetzungen geknüpft – zum Beispiel an die Gemeinnützigkeit. Der DLR Projektträger prüft, ob alle Voraussetzungen erfüllt sind, und autorisiert schließlich die Forschungsvereinigungen für die Teilnahme an der IGF.

IGF-Forschende entwickeln Rosie

Das Team, das Rosie entwickelt, hat von der IGF profitiert. Rosie, die vollautomatische Unternehmensberaterin, basiert auf dem Sprachmodell Mistral aus Frankreich. Aber sie kann deutlich mehr als andere Chatbots. „In der alltäglichen Nutzung von Anwendungen wie ChatGPT kratzen viele User häufig nur oberflächlich am Potenzial von großen Sprach-

Lukas Beckenbauer (links) demonstriert Christina Decker aus dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie den Chatbot, der KMU beraten kann.

modellen“, so Beckenbauer. Tim Kanis ergänzt: „KMU sind hochmotiviert, KI zur Steigerung ihrer Effizienz und zur Stärkung ihrer Innovationsfähigkeit einzusetzen – allerdings fehlen ihnen oft Ressourcen und KI-Expertise.“ Rosie füllt diese Lücke.

Mehrere Unternehmen haben Rosie bereits ausprobiert – darunter die Agentur Platzer Kommunikation aus München. Ihr Geschäftsführer Karl Platzer hat Rosie getestet und sein eigenes Fachwissen mit den Antworten von Rosie verglichen. Er kommt zu dem Schluss, dass der Chatbot inhaltlich tragfähige Empfehlungen gibt: „Das gibt mir ein hohes Vertrauen, dass auch in den Bereichen, die noch Neuland für mich sind, die Qualität entsprechend hochwertig ist.“ Und auch die KoSytec Systemhaus GmbH mit Fachleuten für IT-Infrastruktur und Sicherheit hat Rosie getestet. Ihr Geschäftsführer Eberhard Vogel resümiert: „Rosie ist eine echte Hilfe für KMU, die sich mit dem Thema KI beschäftigen. Für die Planung konkreter Einsatzszenarien in den Unternehmen liefert der Chatbot Ideen und Vorschläge.“ Diese seien umsetzbar, verständlich und nah an der Praxis, so Vogel.

Nur ein Beispiel von vielen

Lukas Beckenbauer und seine Kolleginnen und Kollegen haben mit dem Chatbot Rosie einen Ansatz gefunden, den Nutzen von KI vielen Unternehmerinnen und Unternehmern mit knappem Budget verfügbar zu machen. Doch es ist nur ein Projekt von vielen, das versucht, die Zukunftstechnologie KI für den Markt passend zu gestalten.

Der DLR Projektträger begleitet eine Menge Projekte in unterschiedlichen Programmen der Bundesregierung – zum Beispiel mit KI-Trainern im Programm Mittelstand-Digital des BMW und mit dem Förderprogramm „KI-Innovationswettbewerb – Generative KI für den Mittelstand“ im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt. Der Innovationswettbewerb unterstützt praxisnahe Projekte, die den Einstieg in generative KI erleichtern, und ist explizit auf die Bedürfnisse von KMU zugeschnitten. So treibt der DLR Projektträger als Fördermanager und strategischer Partner KI-Spitzenforschung in Deutschland und Europa voran und sorgt gleichzeitig dafür, dass die neue Technologie konkret in die Anwendung kommt. Damit deutsche wie europäische Wirtschaft und Wissenschaft im internationalen Wettbewerb auf Augenhöhe bleiben.

Evelyn Stahl ist Bereichskommunikatorin für Gesellschaft, Innovation, Technologie im DLR Projektträger und freut sich, dass sie dank KI immer die schnellste Route zum Ziel findet.

Lovis Krüger arbeitet in der Unternehmenskommunikation des DLR Projektträgers und lässt sich von KI Trainingspläne schreiben.

Bild: AIF Projekt GmbH



Der Traum vom Kreis

Resiliente und nachhaltige Lieferketten in der Luftfahrt

von Philipp Czogalla

Wenn ich meinem achtjährigen Sohn beim Spielen zusehe, bin ich oft gerührt. Ein paar Klemmbausteine genügen, und es geht los. Unter fröhlichem Pfeifen wird zusammengesteckt, unter wütendem Knurren auseinandergerupft. Die Ideen kommen spätestens beim Bauen. Manches will einfach nicht funktionieren, anderes klappt bereits beim ersten Versuch. Und wenn sich etwas gar nicht konstruieren lässt, erledigt die Fantasie den Rest. Natürlich baut mein Sohn auch Flugzeuge. Er unterstellt mir dabei eine gewisse Fachkompetenz. Ob denn das Heck lang genug sei? Ich schürze die Lippen. Doch, fast. Gut, dann kommt halt noch ein Stein dran. Zu guter Letzt muss der Flieger dann von mir abgenommen werden. Ob der echt aussieht? Ich lächle und schenke meinem Sohn ein ehrlich gemeintes Lob.

Er knackt derweil schon die Triebwerke ab. Offenbar hat er bereits die nächste Idee. „Moment!“, sage ich. „Wenn du ein richtig echtes Flugzeug bauen

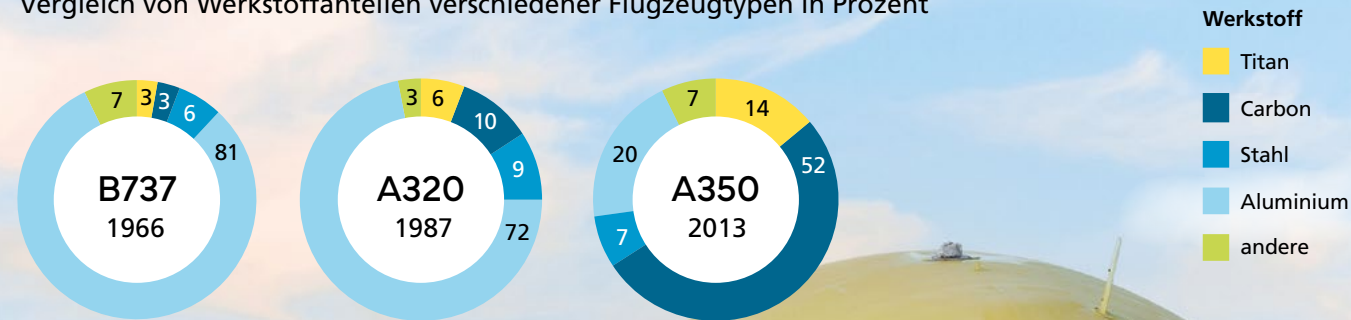
willst, darfst du es eigentlich nicht mehr auseinandernehmen. Du musst es in die Ecke stellen und dir neue Steine kaufen!“

Circular Economy in der Luftfahrt

Mein Vorschlag überzeugt meinen Sohn nicht. Dabei beschreibt er relativ akkurat, wie in der Luftfahrt gegenwärtig mit Flugzeugen verfahren wird, die das Ende ihrer Lebensdauer, ihr „end of life“ erreicht haben: Nachdem teure Komponenten wie die Triebwerke abmontiert wurden, wandert der Rest oft auf spezielle Friedhöfe, auf denen Hunderte von Maschinen langsam vor sich hin rosten. Dabei fordert der European Green Deal eine klimaneutrale Luftfahrt bis 2050. Und nicht nur das: Die Branche soll bis dahin auch „fully circular“ sein, also vollständig eingebettet in eine funktionierende Kreislaufwirtschaft, eine Circular Economy. Finge das nicht bei einem umfassenden Recycling an?

Woraus besteht ein Flugzeug?

Vergleich von Werkstoffanteilen verschiedener Flugzeugtypen in Prozent



Eine, die es wissen muss, ist die Wissenschaftlerin Ligeia Paletti vom DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation. Circular Economy, betont sie, meine keinesfalls nur Recycling. Dieser Irrglaube sei auch eine Folge der großen Zahl völlig unterschiedlicher Definitionen. Es brauche, so Paletti, ein solides definitorisches Rahmenwerk, auf das sich alle Beteiligten verständigen können. Hier setzt ihre Forschung an. „Alle sind sich einig, dass eine nachhaltige Luftfahrt den Prinzipien der Circular Economy folgen muss. Damit aus der Luftfahrt eine Circular Aviation wird, muss man sie jedoch als ein umfassendes System begreifen, das darauf ausgelegt ist, den Wert aller verwendeten Teile so gut wie möglich zu erhalten“, erklärt sie. „Es reicht nicht, ein einzelnes Puzzleteil ‚circular‘ zu machen. Stellen Sie sich eine recycelbare Plastikflasche vor, die von keinem Händler zurückgenommen wird. Es wäre nichts gewonnen.“

Reparatur und Wartung

Im Bereich MRO (für Maintenance, Repair and Overhaul, also Instandhaltung, Reparatur und Überholung) wendet man einige Kreislauf-Prinzipien schon lange an. „Reparaturen sind seit jeher ein fester Bestandteil der Luftfahrt“, betont Paletti. „Das unterscheidet die Branche von anderen, deren Produkte nicht primär in Hinblick auf Reparierbarkeit entworfen wurden. Dieser Gedanke war und ist auch prägend für das Design von Flugzeugen.“

Im Lauf der Jahre sinkt der in Flugzeugen verwendete Anteil von Aluminium über alle Modelle hinweg betrachtet deutlich, während die Anteile von Titan und Carbon zunehmen.

Es gehört zur Wahrheit dazu, dass die Reparierbarkeit in der Luftfahrt nicht erfunden wurde, um Nachhaltigkeitsziele zu erfüllen. Stattdessen ging und geht es um den profitablen und sicheren Betrieb sehr teurer und komplizierter Produkte. Für manche Akteure kommt es daher überraschend, dass jahrzehntealte Praktiken bereits „circular“ sein sollen. Für eine Circular Aviation ist die Instandhaltung aber letztlich nur ein Baustein. Wenn zukünftig zwei Materialien miteinander verbunden werden, muss bereits bedacht werden, wie sie sich später voneinander trennen lassen. Und auch der Betrieb der Flugzeuge muss überdacht werden. Das betrifft am Ende alle Abläufe im und am Flugzeug beziehungsweise am Flughafen, kurz: das gesamte Luftverkehrssystem.

Lieferketten in unsicheren Zeiten

Nachhaltigkeit ist jedoch nicht die einzige treibende Kraft bei der Transformation hin zur Circular Aviation. Von ebenso zentraler Bedeutung sind robuste und resiliente Lieferketten. An kaum einem Material lässt sich das so deutlich beobachten wie an Titan. Bereits in den Fünfzigerjahren kam es in Flugzeugen wie der Boeing 707 zum Einsatz. Seitdem ist der Titan-Anteil in Luftfahrzeugen kontinuierlich gestiegen. Die Gründe: Titan ist leicht und extrem belastbar, es übersteht große Temperaturschwankungen, wie sie beispielsweise im Inneren

eines Triebwerkes auftreten, und es ist darüber hinaus mit vielen Verbundwerkstoffen kompatibel. Mit dem Metall lässt sich also Platz und Gewicht sparen. Aus diesem Grund bestehen heutige Verkehrsflugzeuge wie der Airbus A320neo oder die Boeing 737 MAX zu etwa zwölf Prozent aus Titan. Mittlerweile steckt der Werkstoff nicht nur in besonders kritischen Bauteilen wie den Triebwerken oder Tragflächen, sondern auch im Fahrwerk und im Rumpf. Die Rechnung ist einfach: Eine leichtere Maschine verbraucht weniger Treibstoff, stößt weniger Treibhausgase aus und lässt sich wirtschaftlicher betreiben.

Vor dem Überfall auf die Ukraine im Februar 2022 war Russland Titan-Hauptlieferant sowohl für die europäischen als auch die amerikanischen Flugzeugbauer und Zulieferer. Diese Kapazitäten sollen seitdem von anderen Ländern aufgefangen werden – und das ist eine gigantische Herausforderung, wenn man sich folgende Zahlen vor Augen führt: Das Passagieraufkommen in der Luftfahrt wird absehbar um 4,5 Prozent pro Jahr wachsen. Mehrere Tausend Flugzeuge sind bestellt und gehen in den nächsten Jahren in Betrieb – mit steigendem Titan-Anteil. Man kann sich also leicht ausrechnen, dass Europa in gravierende Abhängigkeiten geraten wird, wenn sich keine klugen Lösungen für die Materialknappheit finden.

Der DLR-Wissenschaftler Tim Hoff hat sich eingehend mit den aktuell und künftig benötigten Mengen Titan beschäftigt. Dafür analysierte er die Daten von mehr als 55.000 Flugzeugen, aktiven wie außer Dienst gestellten. „Weltweit befinden sich etwa 13.600 Tonnen Titan in abgestellten Flugzeugen“, so Hoff. Was läge da näher, als das herumstehende Titan zu recyceln? „Der Ansatz ist zunächst einmal vielversprechend“, sagt Hoff. „Technisch gesehen sind die Hürden für das Recyceln von Titan niedrig. Das Problem ist vor allem ökonomischer Natur.“ Denn das Titan steckt breit verteilt in vielen Komponenten der Flugzeuge; der wirtschaftliche Anreiz, es mühsam zu extrahieren und zu sammeln, ist nicht groß genug. Dazu kommen regulatorische Einschränkungen. „Die Anforderungen an die Qualität von Titan sind sehr hoch. Mit recyceltem Material sind diese Standards zurzeit noch schwer zu erreichen. Es kann aber durchaus in anderen Industrien verwendet werden.“

Ein längeres Leben

Recycling allein kann die Herausforderung also nicht lösen. Stattdessen forscht Hoff parallel an einem anderen Ansatz. Er wies nach, dass eine Verlängerung der Lebenszeit von Flugzeugen die deutlich bessere Strategie ist. Denn selbst wenn man ausgemusterte Maschinen umfassend recy-

celt, sind sie im Schnitt vorher erst einmal 25 Jahre im Dienst. Besser ist es, den Bedarf zu reduzieren. Das lässt sich mit einer Verlängerung der Lebensdauer erreichen. „Eine Verlängerung der durchschnittlichen Lebenszeit um zweieinhalb Jahre würde knapp zehn Prozent Material einsparen“, erläutert Hoff. „Dreimal so viel, wie es das Recycling verspricht. Wenn man Recycling und Lebenszeitverlängerung kombiniert, können sogar 15 Prozent erreicht werden.“

Dass es überhaupt möglich ist, ein Flugzeug länger als geplant zu nutzen, liegt an seiner hervorragenden Wartbarkeit. Bis zu seiner Außerdienststellung wird es regelmäßig überprüft, manche Komponenten werden mehrere Male ausgetauscht – praktisch alles ist auswechselbar. Ein Flugzeugleben kann im Grunde beliebig verlängert werden. Um den künftigen Materialbedarf zu decken und stabile Lieferketten zu gewährleisten, müssen letztlich aber mehrere Strategien kombiniert werden. Hoff: „Ein besonders großes Potenzial in Richtung Circular Aviation liegt in den betrieblichen Abläufen und im Bereich MRO.“

Die Zukunft der Instandhaltung

Wenn man an die Instandhaltung von Luftfahrzeugen denkt, stellt man sich hocheffiziente Prozesse vor, die seit Jahrzehnten perfektioniert wurden. Dass es in Sachen Instandhaltung durchaus Luft nach oben gibt, erläutert Robert Meissner vom DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation an folgendem Beispiel: „Die Prüfung des Reifendrucks geschieht nach streng festgelegten Intervallen. Das gilt auch für viele andere Instandhaltungsaufgaben. Bei 90 Prozent solcher präventiven Maßnahmen wird aber letztlich am Flugzeug nichts geändert.“ Nun könnte man intuitiv meinen, diese Vielzahl an geplanten Maßnahmen sei vor allem den hohen Sicherheitsstandards in der Luftfahrt geschuldet. Aber es gibt noch einen anderen entscheidenden Grund. „Geplante Maßnahmen lassen sich in einen Flugplan integrieren. Wird hingegen eine ungeplante Maßnahme nötig, zum Beispiel ein Reifenwechsel, kann das dazu führen, dass eine Maschine für eine unbestimmte Zeit ausfällt.“

Meissner forscht mit seinen Kolleginnen und Kollegen deshalb an neuen Instandhaltungsstrategien. Das Ziel: weg von starren Zeitplänen hin zu anlassbezogenen Begutachtungen – im Idealfall, kurz bevor eine Wartung tatsächlich nötig wird. Dafür muss man allerdings den Zustand der Komponenten genau kennen. „Neuere Flugzeugmuster sammeln bereits eine Vielzahl an Daten“, so Meissner. „Das Ziel ist dann, diese für die Instandhaltung nutzbar zu machen, indem man möglichst genaue Prognosen darüber erstellt, wann eine Komponente ausfällt.“



Ligeia Paletti
über Circular
Aviation (Video)



Tim Hoff über
Titan (Audio)





Neue Instandhaltungsstrategien

Diese Vorhersagemethodik, genannt Predictive Maintenance, ist für Meissner aber nur die Grundlage für einen noch weitreichenderen Ansatz. Dafür muss man nicht nur wissen, wann an welcher Maschine welche Komponente ausfällt, sondern auch, auf welchem Flughafen sie dann sein wird, ob Ersatzteile in der Nähe sein werden und ein MRO-Betrieb, der sie einbauen kann. „Eine solch weitreichende Strategie, genannt Prescriptive Maintenance, berücksichtigt das ganze Luftverkehrssystem. Sie kann Wartungsabläufe erheblich optimieren und unnötige Schritte vermeiden“, betont Meissner. Damit könnte der Prescriptive Maintenance eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung der Luftfahrt hin zur Circular Aviation zukommen.

„Wenn wir unsere Nachhaltigkeitsziele erreichen wollen“, ergänzt Ligeia Paletti, „müssen wir den Blick weiten und nicht nur auf Flugphase und CO₂-Ausstoß schauen, sondern auch sichtbar machen, welchen großen Einfluss MRO und end of life haben.“ Im vergangenen Jahr hat die EU mit der Directive zum Recht auf Reparatur alle Branchen in die Pflicht genommen, ihre Produkte auch über die Gewährleistungsdauer hinaus reparierbar zu machen. „In dieser Hinsicht“, sagt Ligeia Paletti, „ist die Luftfahrt heute schon jedem Alltagsgut voraus.“

Mein Sohn hat den Flieger inzwischen wieder auseinandergenommen. Na ja, nicht ganz. Die Flügel waren gelungen, die behält er erst mal. Mit dem Rest ist er noch nicht zufrieden. Es ist vielleicht keine allzu überraschende Erkenntnis, aber: Auch mit Klemmbausteinen ist es schwer, einen perfekten Kreis zu bauen. Das sollte uns aber nicht davon abhalten, es zu versuchen.

Phillip Czogalla ist für die Kommunikation am DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation zuständig. Ihn fasziniert, wie komplex Flugzeuginstandhaltung sein kann und wie entscheidend ihre Rolle für die Entwicklung hin zu einer nachhaltigeren Luftfahrt ist.

Bei der Wartung von Flugzeugen geht es zukünftig darum, vorherzusagen, wann und wo eine Komponente ausfällt. Auf diesem Flughafen sollte dann ein Instandhaltungsbetrieb sein, der die Ersatzteile vorrätig hat und sie einbaut. So werden Standzeiten minimiert.



„Eine nachhaltige Luftfahrt muss den Prinzipien der Circular Economy folgen, in der der Wert aller verwendeten Teile so gut wie möglich erhalten bleibt.“

Ligeia Paletti, DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation

Bilder: DLR

Mysteriös und wichtig

Wie man in einem fensterlosen Kellergeschoss und mit künstlicher Intelligenz die Luftfahrt sicherer machen könnte – ein Erfahrungsbericht

von Daniel Beckmann

Der etwas betagte Eyetracker knurrt mich an wie ein lästiger, aber liebenswürdiger Droide aus „Star Wars“. Darüber leuchten auf einem Monitor zwölf halbrunde Anzeigen mit wenig Farbe und wenig Bewegung. Falls sich aber doch eine der Uhren bewegen sollte, muss ich dies umgehend meinen menschlichen und digitalen Operator-Kollegen mitteilen. Es ist mitten in der Nacht, der letzte Schlaf liegt 22 Stunden zurück und meine Augen verdrehen sich wiederholt im Kampf gegen die Müdigkeit. Nur noch zwei Stunden Durchhalten – hoffentlich ohne Störfall.

Seit 16 Uhr am Vortag befinde ich mich im tageslichtfreien Keller des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln, um als Proband eine Studie zu unterstützen, in deren Fokus die Zusammenarbeit

zwischen Luftfahrtoperatoren und künstlicher Intelligenz (LOKI) steht. Sechs DLR-Institute sowie externe Partner aus Luftfahrt und Forschung untersuchen in verschiedenen Studien Akzeptanz, Nachvollziehbarkeit, Zufriedenheit und Berechenbarkeit. Die Zusammenarbeit zwischen KI-Systemen mit den menschlichen Operateuren muss nicht nur unter optimalen Arbeitsbedingungen effektiv sein, sondern auch unter belastenden Situationen wie Müdigkeit während einer Nachtschicht. Diese wird hier im Keller ohne Tageslicht und unter kontrollierten Bedingungen simuliert. Und dafür bin ich hier.

Von Koffein- zu Schlafentzug

Alles beginnt mit einem Newsletter in meinem Postfach. Auf eine kurze Interessensbekundung folgt die Einladung zu Vorgespräch und Training. Für die Woche vor Studienbeginn ist es wichtig, eine vordefinierte Schlafenszeit von 23 Uhr bis 7 Uhr einzuhalten, ein Aktometer zur Messung meiner Aktivität – oder unerlaubter Inaktivität wie Nicken – festzuhalten und auf Alkohol sowie Koffein zu verzichten. Das Schlaftagebuch zu führen und die Zeiten einzuhalten, gelingt recht schnell, der Verzicht auf Kaffee führt allerdings schon am ersten Tag nach dem Absetzen zu kräftigen Kopfschmerzen. Aber mein Körper gewöhnt sich mit jedem Tag besser an den Schlafrhythmus und das fehlende Koffein, sodass ich mich am Sonntag vor Studienbeginn ungewöhnlich fit fühle.

Motiviert und ausgeschlafen steige ich in das Kellergeschoss des Instituts herab, wo sich das Schlaflabor befindet. Auf den Tischen stehen Getränke, Obst und Snacks, in der Loungeecke laden eine große Couch zum Verweilen und einige Gesellschaftsspiele zum Zeitvertreib ein. Nach einer Begrüßung und der Abgabe von Aktometer und Schlaftagebuch betreten mein Ko-Probant Alex und ich den Schlaftrakt. Die verwinkelten, farblosen, in Neonlicht gehüllten Gänge erinnern mich an die Erfolgsserie „Severance“, in der Angestellte auf einer labyrinthischen, seelenlosen Kellerebene eines Konzerns arbeiten. Diese Assoziation soll mich später noch einmal heimsuchen.

Kaum sind die Koffer verstaut und die Sneaker gegen Hausschuhe getauscht, geht's auch schon zum Training. Bei den Tests werden die allgemeine Reaktionsgeschwindigkeit und die der Augen untersucht – teils mit Smartphones, teils am Rechner mit Eyetrackern, die meine Brille erst nicht so gerne mögen. Aber wir landen im grünen Bereich und können uns an die eigentliche Aufgabe machen. Wie wir kurz danach erfahren, ist unser erster echter Versuchsdurchlauf direkt in unserer ersten Nacht, was bedeutet, dass wir nicht schlafen oder einnicken dürfen und dann von 3 Uhr nachts bis

7 Uhr morgens unserer Aufgabe nachgehen müssen – übermüdet vom Schlafentzug.

Monotonie und träge Blicke

Wir halten uns mühsam wach mit Serien, Videospielen und Snacks. Auf zunehmende Müdigkeit gegen 23 Uhr folgt gegen 1 Uhr nachts ein erster Wachheitsschub, der Körper scheint eine Schwelle überschritten zu haben. Um 3 Uhr werden wir zum Versuchsraum gebracht. Erneut müssen die Eyetracker kalibriert werden, dieses Mal sind es ältere als beim Vortest. Das in einem klobigen Gehäuse verbaute Kamerasystem gibt eine überraschende Bandbreite an Summ-, Knurr- und Quietschgeräuschen von sich. Alex und mich – beide „Star Wars“-Fans – erinnern die Geräusche an die quirligen Droiden der Filme und Serien, weshalb wir die Eyetracker direkt ins Herz schließen. Ansonsten wird in den nächsten Stunden neben dem Eyetracker-Knurren und unserem Mausklicken ohnehin völlige Stille herrschen.

Wir arbeiten in einem simulierten Kontrollzentrum, das zwar die Anforderungen an Luftfahrtoperatoren widerspiegelt, aber als abstraktes Szenario mit einer zu überwachenden Produktionskette umgesetzt wurde. Unsere Aufgabe ist es, knapp formuliert, drei fiktive Produktionsstandorte mit je einem Kraftwerk und drei nicht näher definierten Maschinen zu überwachen. Wir sind die menschlichen Operateure A und B (Alex und ich) sowie ein KI-Operator, der im Hintergrund agiert und uns gelegentlich Informationen auf die Screens sendet. Der erste Durchlauf beginnt.

Dreißig Minuten lang müssen wir konzentriert auf den Bildschirm gucken und beobachten, ob sich eine oder mehrere der zwölf Anzeigen verändern. Was hier angenommen „produziert“ werden soll, ist nicht bekannt. Die Erinnerung an eine weitere Szene aus „Severance“ kommt hoch. Die Serienfiguren sitzen ebenfalls in einem kargen Raum, starren auf Bildschirme und klicken auf Zahlen. Auf die Frage, was sie denn dort machten, entgegnet ein Vorgesetzter: „Ihre Arbeit ist mysteriös und wichtig.“

Die Maschinen und ihre Auslastung sind als halbrunde Anzeigen mit Soll- und Ist-Werten dargestellt, die Kraftwerke mit einer weiteren halbrunden Skala von Grün über Gelb zu Rot. Sobald sich die Soll- oder Ist-Anzeige einer oder mehrerer Maschinen bewegt, müssen wir dies per Klick auf einen kleinen Button unter der entsprechenden Maschine melden und mögliche Störfälle identifizieren. Dann vergeben wir für jeden Parameter Risikopunkte, für die wir vorab Regeln gelernt haben, und senden unsere Handlungsvorschläge zur Lösung möglicher Maschinenstörungen und ihrer Kombinationen ab – verbunden mit einer Einschätzung, wie sicher wir uns dabei

Das Versuchs-Setting:
Der Proband – gleichzeitig Autor
dieses Artikels – überwacht
Maschinen eines Kraftwerks ...



„Sobald sich die Soll- oder Ist-Anzeige der Maschinen bewegt, müssen wir dies per Klick auf einen kleinen Button unter der entsprechenden Maschine melden.“



... und muss auf Störfälle reagieren. Bewegung und Herzfrequenz der Probanden werden mit Aktivitätstrackern überwacht.

sind. Stimmen wir überein, ist die Diagnose abgeschlossen und der Störfall behoben. Unsere Leistung lässt spürbar und rapide von Stunde zu Stunde nach.

Das ist der Moment, in dem das Zusammenspiel mit und Vertrauen in die KI relevant wird. Der Computer-Operator hat bereits zu Beginn der Diagnose Lösungsvorschläge. Also prüfen wir zunächst seine Handlungsempfehlungen und schauen, ob wir eine weitere Option finden oder eine vorhandene korrigieren müssen. Gegen 5:30 Uhr habe ich einen überraschenden Höhenflug, als ich eine dritte, noch bessere Lösung identifiziere, auf die weder die KI noch Alex kommt. Nach etwa dreieinhalb Stunden haben wir es dann geschafft. Im Anschluss müssen wir einen erneuten Reaktionstest absolvieren. Eine gefühlte Ewigkeit dauert der Test und wir merken beide, dass unsere Augen allmählich aufgeben, zu fallen oder kreuz und quer schielen: Schlafenszeit.

Das Schwierigste ist überstanden

Am nächsten Tag reißt uns um 13 Uhr ein Gong aus dem fünfstündigen Powernap. Für den Rest des Tages bis zur Schlafenszeit um 23 Uhr gehen wir unserer Freizeit nach, arbeiten und reden über unsere Interessen.

Unsere letzte gemeinsame Operator-Session am letzten Morgen: Zwischen Weckruf und Versuchsdurchführung liegen nur 50 Minuten. Der Verlauf ist im Grunde genau wie in der ersten Nacht, nur sind wir dieses Mal ausgeschlafen und das eintönige Starren auf die Bildschirme macht uns bedeutend weniger aus. Dann sind wir mit allem durch – Operator-Session, Reaktionstests, Fragebögen –, packen unsere Koffer und treten aus dem Keller zurück ans Tageslicht. Mit dem guten Gefühl, etwas zur Forschung beigetragen zu haben, genießen wir die leichte Brise und die belebenden Sonnenstrahlen.

Plottwist: Vermeintliche KI mit Drehbuch

Wochen später erfahren wir, dass die künstliche Intelligenz in unseren Versuchen gar keine echte KI war, sondern lediglich einem gescripteten Szenario folgte. Am Ende geht es um Beziehungen, Vertrauen und Unterstützung – unter Menschen und gegenüber künstlicher Intelligenz. Können KI-Teammitglieder dieselbe fachliche und mentale Unterstützung gewährleisten wie menschliche? Unter welchen Umständen? Macht die Nachvollziehbarkeit der KI-Kollegen einen Unterschied? Und was macht die KI eigentlich nach Feierabend ...?

Daniel Beckmann begeistert sich für Luftfahrtthemen und Mystery-Serien. Seine Arbeit als Corporate Design-Verantwortlicher des DLR ist zwar auch wichtig, aber nicht so mysteriös.

Folge mir unauffällig

Hier fahren zwei Züge in einem Abstand von 15 bis 80 Metern hintereinander her. Die einzelnen Wagen sind dabei nicht mechanisch über eine Kupplung verbunden, sondern nur noch digital. Damit das funktioniert, müssen die Zugteile ständig miteinander kommunizieren und möglichst genaue Daten zur jeweiligen Position und Geschwindigkeit austauschen. Nicht ganz trivial, wenn man bedenkt, dass Züge im regulären Betrieb oft einen Bremsweg von mehreren hundert Metern bis hin zu einem Kilometer haben. Das virtuelle Kuppeln von Zugteilen und Zugverbänden ist ein wichtiger Schritt in Richtung Automatisierung des Schienenverkehrs. Im Projekt FP2-R2DATO* hat das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation ein neuartiges Funksystem entwickelt, das beim virtuellen Koppeln eingesetzt werden kann. Auf der Technikfläche der Niederländischen Staatsbahn in Amersfoort wurde es im Frühjahr 2025 erfolgreich getestet.

* Finanziert von der Europäischen Union. Die geäußerten Ansichten und Meinungen sind die der Autoren und spiegeln nicht unbedingt die der Europäischen Union oder des Gemeinsamen Unternehmens Europe's Rail wider. Weder die Europäische Union noch die Bewilligungsbehörde können für sie verantwortlich gemacht werden. Das Projekt FP2-R2DATO wird von Europe's Rail Joint Undertaking und seinen Mitgliedern unterstützt.

Neugierig auf alles

Ein Besuch der Experimenta in Heilbronn

von Lukas Lenz

Im Science-Dom und Experimentaltheater der Experimenta werden verschiedene Live-Events gezeigt, wie hier die Show „Lumina“.

52

Papierflieger, Plastikfiguren an Serviettenfallschirmen und auch Raketen aus Papier schießen durch den Raum. Im Hintergrund spielt eine Gruppe Kinder an einer riesigen Wasserbahn – ich werde zurückgeworfen in meine Kindheit und vergesse fast, dass ich erstens schon erwachsen und zweitens beruflich hier bin. Herzlich willkommen in der Experimenta in Heilbronn.

Im Entdecker-Paradies

Die Experimenta versteht sich als Erlebnis-museum. Die Entdecker-Reise startet auf der vierten Etage. Dort lernt man vor allem etwas über die vier Elemente unserer Welt. Eine Etage darunter geht es um das visuelle Gedächtnis und das eigene Körpergefühl. Optische Illusionen und Wimmelbilder prägen die Szenerie der zweiten Etage.

An insgesamt 275 Ausstellungsstationen kann man ausprobieren, Knöpfe drücken, Hebel umlegen. Immer mit dabei ist der digitale Rucksack: ein Armband, das man bei Betreten des Mitmachmuseums ausgehändigt bekommt. An vielen Stationen gibt es die Möglichkeit, sich durch kurzes Band-Auflegen einzuloggen und zu speichern, was man kreierte und erlebt. Am Ausgang lässt man sich alles als digitales Paket an die eigene E-Mail-Adresse schicken.

Vom Alltag fasziniert

Die letzte Station der Ausstellung befindet sich im ersten Obergeschoss. Sie ist Alltags-gegenständen gewidmet, denen normalerweise nicht so viel Beachtung zukommt. Wussten Sie, dass man mit einfachen Gummibändern eine Melone zum Explodieren bringen kann – wenn man nur genug davon um die Frucht spannt? Oder dass ein Weinglas in Scherben zerspringt, wenn man es durch Schallwellen ausreichend in Schwingung versetzt? Das und viele weitere spannende Slow-Motion-Experimente sind auf einer interaktiven Leinwand dargestellt.

Außerdem können Besuchende eine Reihe von Tests mit Elementen des Alltags machen. Wie kratzresistent sind Holz, Stahl oder Beton? Wie klingen diese Stoffe oder wie gut ist ihre Kraftübertragung? Letzteres testet man zum Beispiel, indem man von einer kleinen Anhöhe auf eine Waage springt. Auf der Waage kann man jeweils eine Schicht

Bilder: experimenta gGmbH



Die Experimenta ist ein Mitmachmuseum für jedermann.

Teppich oder Plastik platzieren und so beobachten, wie stark der Aufprall durch die unterschiedlichen Materialien gedämpft wird.

Nichts ist in Stein gemeißelt

Die Ausstellungen auf den einzelnen Etagen sind kunstvoll gestaltet und bieten so viel zu entdecken, dass sich auch ein zweiter Besuch lohnt. Denn neben der Hauptausstellung gibt es Filme und Live-Shows, die man sich zusätzlich anschauen kann und die im Eintrittspreis enthalten sind. Aktuell ist die Sonderausstellung „KI – Einblicke & Ausblicke“ in einem kleinen Nebengebäude zu sehen. Sie widmet sich der Geschichte künstlicher Intelligenz. Erste Versuche mit Robotern, die eigenständig zu Lichtquellen fahren, gab es bereits um 1940.

Neugierige können einzelne KI-Anwendungen selbst ausprobieren, zum Beispiel einen Text-Generator, der mit den Vorgaben „Thema“, „Art des Textes“ und „Stimmung“ einen Lied-Text entwirft. Ich entscheide mich für ein inspirierendes Space-Gedicht im Stil von Shakespeare: „Die Sterne tanzen leise in der Nacht – ein Schauspiel für die Ewigkeit gemacht.“ Mit diesen Worten und einer Menge neu gewonnener Begeisterung für das Alltägliche in meinem digitalen Rucksack verlasse ich die Experimenta.

Lukas Lenz ist Werkstudent in der DLR-Kommunikation. Obwohl die Versuchung zwischen Papierflieger bauen und mit der Wasserbahn spielen groß war, konnte er dennoch diesen Museumsbericht schreiben.



EXPERIMENTA HEILBRONN

Experimenta-Platz,
74072 Heilbronn

Öffnungszeiten:
montags bis freitags
9:00 bis 17:00 Uhr
samstags und sonntags
10:00 bis 18:00 Uhr

Eintrittspreise:
Erwachsene: 12 Euro
Kinder: 6 Euro

experimenta.science

Tipp:
An Freitagen kosten die
Tickets nur 50 Prozent
des Normalpreises.

53



In diesem Wasser-
schleppkanal (unten)
führte Friedrich
Ahlborn (links) 1917
seine Experimente zur
Strömungsforschung
im Keller der Flugzeug-
meisterei in Berlin-
Adlershof durch.

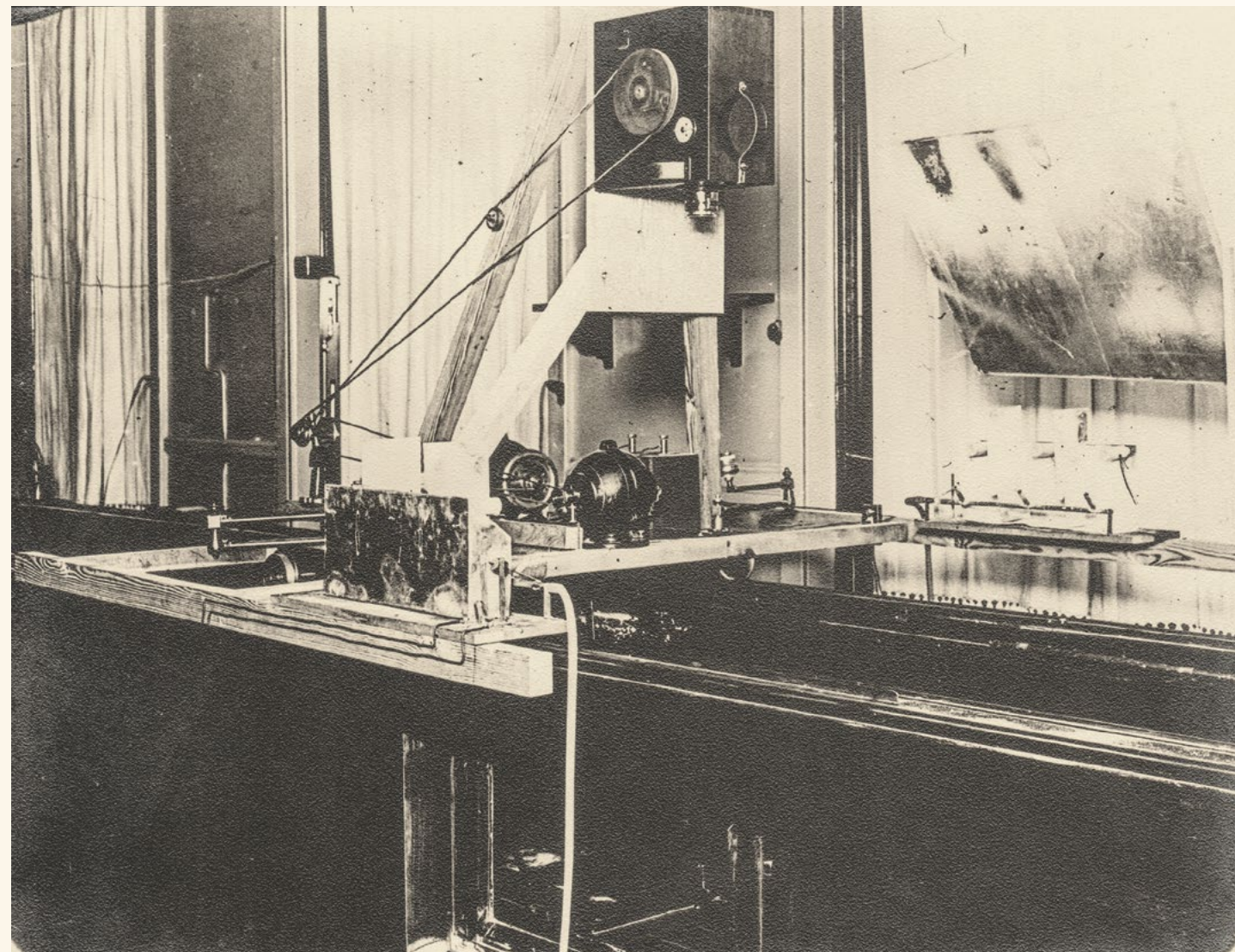
ÜBER DIE RUBRIK

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.
In dieser Folge schauen
wir auf die Arbeit des
Strömungsforschers
Friedrich Ahlborn.

Dem Fliegen auf der Spur

Strömungsforscher Friedrich Ahlborn

von Dr. Jessika Wichner



Er war einer der Ersten, der sich in Deutsch-
land systematisch mit aero- und hydrodyna-
mischen Fragen befasste – in selbst gebau-
ten Versuchsanlagen gelang es dem Zoologen und
Physiker Friedrich Ahlborn, Strömungen im Wasser
zu visualisieren und diese auf Glasplattennegati-
ven zu dokumentieren. Damit schuf er wichtige
Grundlagen, auf denen andere Strömungsforscher
aufbauen konnten, darunter Ludwig Prandtl (1875-
1953), der Leiter der ersten Vorgängerorganisation
des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt
(DLR) in Göttingen.

Von Göttingen nach Quakenbrück und zurück

Friedrich Ahlborn wurde am 4. Januar 1858 in Göt-
tingen geboren. Dort besuchte er das Königliche
Gymnasium. Im Alter von 15 Jahren brach er die
Schule ab und arbeitete für eine Landvermesser-
gruppe, die Landkarten für die nähere und weitere
Umgebung Göttingens anfertigte.

1878 holte er in Quakenbrück das Abitur nach. An-
schließend kehrte Ahlborn nach Göttingen zurück
und studierte an der dortigen Universität Zoologie,
Geologie, Chemie und Mathematik. Danach promo-
vierte er bei dem Göttinger Zoologen Ernst Ehlers
(1835-1925) und widmete sich in seiner Doktor-
arbeit der Zirbeldrüse von Neunaugen.

Der Weg zur Strömungsforschung

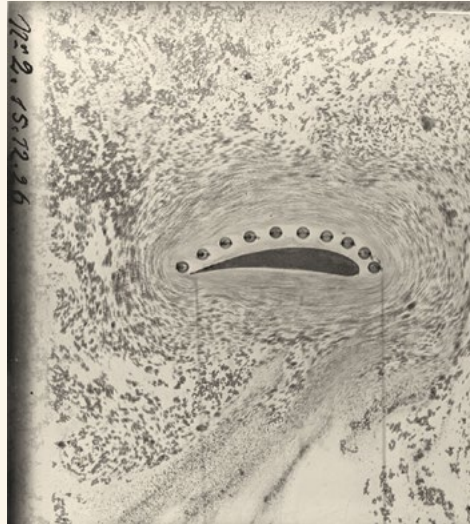
1884 erhielt Ahlborn eine Anstellung am Realgym-
nasium in Hamburg, um dort den naturwissen-

schaftlichen Unterricht neu zu gestalten. Gemein-
sam mit anderen Lehrkräften der Schule baute er
eine geologische, mineralogische und zoologische
Sammlung auf und richtete ein chemisches Labo-
ratorium ein, in dem Schüler selbst experimentie-
ren konnten.

Parallel zu seiner Schultätigkeit begann er, das
Flugverhalten von fliegenden Fischen und Pflan-
zensamen zu studieren. Insbesondere der Samen
der in der Südsee beheimateten Zanonias, eines
Kürbisgewächses, hatte es ihm angetan. Zanonias-
Samen können nicht nur über weitere Strecken von
der Luft getragen werden, sondern zeichnen sich
auch durch ihre stabile Fluglage aus.

Pionierleistung im Wohnzimmer

Um dem Phänomen des Fliegens auf die Spur zu
kommen, baute er im heimischen Wohnzimmer
eine erste Versuchsanlage auf. Diese bestand aus
einem kleinen handelsüblichen Aquarium, einem
Lineal, einer Holzklammer und einer Karteikarte.
Zunächst füllte er das Aquarium mit Wasser und
fügte Eosin, einen roten Farbstoff, hinzu. Danach
befestigte er die Karteikarte mit der Holzklammer
in der Mitte des Lineals und tauchte das Kärtchen
zur Hälfte ins Wasser. Das Lineal schob er nun lang-
sam über den Beckenrand des Aquariums und zog
auf diese Weise die Karteikarte durch das Wasser.
Mithilfe dieser Konstruktion konnte er die Verän-
derungen der Druckverhältnisse an der Karteikarte
bei verschiedenen Geschwindigkeiten beobachten.
Für die Beurteilung von Strömungsvorgängen selbst
reichte die Eigenkonstruktion allerdings noch nicht.



Gemeinsam mit seinem Schüler Max Wagner konzipierte er einen Wasserkanal, der zehn Meter lang und einen Meter breit war. Über dem Kanal befestigten sie eine Schleppvorrichtung, die es nicht nur ermöglichte, unterschiedliche Modellkörper durch das Wasser zu ziehen, sondern auch eine Kamera mitzuführen, mithilfe derer Strömungen fotografiert werden konnten.

Während des Ersten Weltkriegs wurden Ahlborns Arbeiten als kriegswichtig eingestuft. Er erhielt ein eigenes Institut in der Flugzeugmeisterei in Berlin-Adlershof, in dem er einen 20 Meter langen Wasser-schleppkanal aufstellen konnte. Darin untersuchte er mit seinen Mitarbeitern nicht nur Schiffsmodelle,

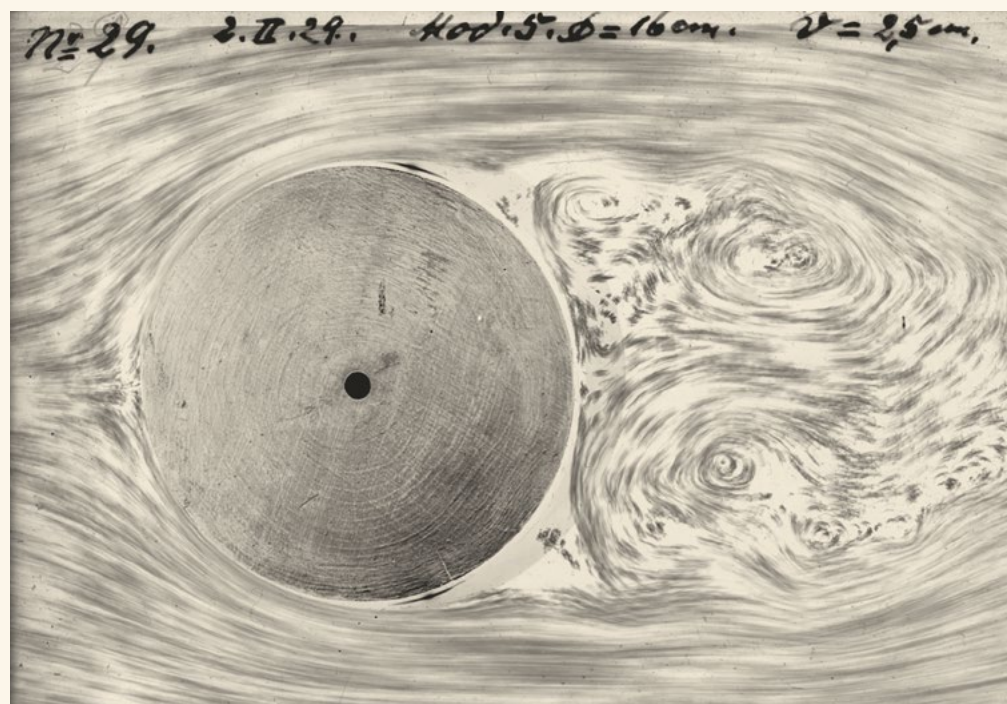
sondern auch Schiffsschrauben und Luftschiffmodelle mit dem Ziel, jeweils die aerodynamische Form zu verbessern. Nach Kriegsende war die Luftfahrtforschung in Deutschland verboten, sodass Ahlborns Versuchsanlage demontiert wurde. Sie landete am Lehrstuhl des Aerodynamikers Theodore von Kármán (1881–1963) in Aachen, wurde dort eingemottet und später nach und nach zerlegt.

„Altglas“ aus Kanada

Ahlborn, der nach dem Ersten Weltkrieg wieder dazu überging, einen kleineren Wasserschleppkanal in seiner Privatwohnung zu betreiben, starb 1937 in Hamburg. Ein Teil seines Nachlasses wurde kurz nach seinem Tod dem Deutschen Museum in München übergeben. Anfang 2025 nahm die Urenkelin Ahlborns, Dorit Mason, Kontakt mit dem DLR auf.

Ihr Vater, Boye Ahlborn, der in Kanada lebt, verfügt über zahlreiche Dokumente und Dutzende Glasplattennegative seines Großvaters. Eine Übergabe von ersten Glasplattennegativen fand Anfang 2025 in London statt. Das „Altglas“ aus Kanada liegt derzeit im Zentralen Archiv des DLR, wird aber voraussichtlich seine finale Heimat im Archiv des Deutschen Museums in München finden, um den dort befindlichen Nachlass zu ergänzen.

Jessika Wichner leitet das Zentrale Archiv des DLR und nahm die ersten Glasplattennegative von Ahlborns Urenkelin persönlich entgegen – als sich die beiden bei einer Reise auf einem gemeinsamen Zwischenstopp in London trafen.



Strömungsaufnahmen einer Kugel (rechts) und eines Flügelprofils (oben) in Ahlborns Wasserkanal. Die Aufnahmen stammen aus den Jahren 1929 und 1926.



Wir sind nicht allein!

Diesmal muss es einfach klappen! Ich habe zu viel investiert, um jetzt zu scheitern. Bereits in der ersten Runde war es mir gelungen, mit meinem Supercomputer die Scans des Sternensektors Beta Pictoris auszuwerten, was mir das erste von drei Indizien für außerirdisches Leben einbrachte. In der zweiten Runde hatte sich der kostspielige Einsatz des riesigen Arecibo-Observatoriums ausgezahlt und mir den zweiten Hinweis beschert. Nun fehlt nur noch der dritte, und ich bin überzeugt, ihn auf dem Saturnmond Titan zu finden.

Doch zwischen meiner Sonde und dem großen Ringplaneten breitet sich ein Asteroidenfeld aus, das die Landung auf Titan erschwert. Als ich das Unterfangen schon aufgeben will, entwickeln meine Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in letzter Minute eine neue Navigationstechnologie, die das Durchfliegen von Asteroidenfeldern ermöglicht. Der Anflug gelingt, der Lander setzt auf und entnimmt die entscheidende Bodenprobe – der Beweis für die Existenz außerirdischen Lebens ist erbracht!

Bei **SETI – Auf der Suche nach außerirdischem Leben (HeidelBär Games)**, jüngst ausgezeichnet mit dem Deutschen Spielepreis 2025, liefern sich bis zu vier Spieler einen atemlosen

Wettlauf um die bedeutendsten Entdeckungen im Weltall. Das Spiel bleibt dabei weitgehend realistisch – vor allem in der Komplexität der Abläufe. Würfelglück gibt es nicht, stattdessen werden kluge Planung und der richtige Einsatz der Handkarten belohnt. Die Karten haben dabei immer mehrere Funktionen. Wenn man sich für eine entscheidet, muss man gleichzeitig auf andere verzichten. Das macht jede Spielrunde knifflig.

Ich bin übrigens ziemlich sicher, dass ich das Spiel gewonnen hätte. Wirklich. Niemand konnte ahnen, dass es meiner Gegnerin kurz vor Schluss gelingen würde, auf dem extrasolaren Asteroiden 'Oumuamua zu landen und außerirdische Fossilien zu bergen. Die Presse stürzt sich darauf, es hagelt Siegpunkte. Die Sache wird ziemlich hochgejazzt, finde ich. Nächstes Mal setze ich definitiv andere Prioritäten ...

Im Oktober ist die SETI-Erweiterung Raumfahrtorganisationen erschienen. Wer sie beim Verlag bestellt, erhält die Sonderkarte DLR dazu.

Wenn **Philipp Czogalla** sich nicht gerade in Spielanleitungen einliest, versucht er, beim DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation die Arbeit seiner Kolleginnen und Kollegen zu verstehen. Er findet beides ziemlich gut.



Unser Leben zwischen Realität und Illusion

Yurie, eine KI, taucht bei einem Gesangswettbewerb auf und löst eine Kontroverse aus. Ist das Kunst? Als sie später mit einem gewissen Geschick in einem sozialen Netzwerk interagiert, finden die Leute Gefallen an ihr und wollen mehr.

Was ist künstliche Intelligenz (KI)? Einfach gesagt: KI ist ein Computerprogramm, das „mitdenkt“ – ähnlich wie ein Mensch. Diese Antwort wurde mithilfe von KI gefunden (NUR diese, nicht der Rest des Textes.). Man kann darüber streiten, welche Rolle KI in unserem Leben einnimmt oder wo sie Ähnlichkeiten zum Menschen hat. Es ist dieses riesige Spannungsfeld, in dem sich die Graphic Novel **Künstliche Intelligenz (Knesebeck)** von **FibreTigre, Héloïse Chochois und Arnold Zephir** bewegt. Auf knapp 200 Seiten zeigen anschauliche Grafiken, wie KI funktioniert. Außerdem werden Fragen aufgeworfen – aus Philosophie, Ethik, Religion, Wirtschaft, Wissenschaft. Farbenfroh ist die Graphic Novel nicht. Aber: Sie liefert interessanten Input, verschiedene Sichtweisen und viel Diskussionsstoff. Beispiel? Yurie beantwortet die Frage „Gibt es die Menschheit in 150 Jahren noch?“ mit: „Sie wird einbalsamiert sein.“ Das kann man so oder so sehen.

Katja Lenz



KI-Muggeln die Angst nehmen

Einige Menschen denken bei KI an den nächsten Technik-Hype, andere bangen um die Zukunft ihrer Jobs. **Franz Himpsl und Dirk von Gehlen** versuchen, mit **Wie KI dein Leben besser macht – 50 Denkanstöße für einen entspannteren Alltag** (Kösel Verlag), den Lesenden Sorgen zu nehmen.

Für die Angst vor KI finden die Autoren eine Analogie aus der Zauberlehrling-Inszenierung von Disney: Micky verzaubert einen Besenstiel zu einem magischen Gehilfen. Er zeigt ihm Schritt für Schritt, wie Wassereimer zu tragen sind. Eine Tätigkeit, die er vorher mühsam selbst erledigen musste. Der Besenstiel lernt durch Imitation und Nachahmung so gut, dass er kurze Zeit später das gesamte Haus des Hexenmeisters unter Wasser setzt.

KI aber ist kein Zauber, der außer Kontrolle gerät, und soll eher wie ein Werkzeug verstanden werden. Das Buch ist in 50 Ideen gegliedert, die Autoren verzichten auf technische Fachsprache und erklären für Technik-Muggel, die keinen besonderen Javascript-Beschwörungszauber im Harry-Potter-Stil beherrschen, wie man mithilfe von KI beruflich und privat schneller vorankommen kann.

Lukas Lenz



Make facts great again!

Wer kennt sie nicht, die einfachen Parolen oder auf Halbwissen basierenden Meinungen: von Windrädern, die nur Landschaften „verspargeln“, bis zur vermeintlich großen Gefahr der Energiewende für die Wirtschaft. Für Gespräche rund um Klimaschutz und Energiewende gibt der Autor **Jan Hegenberg** in seinem Buch **„Klima Bullshit Bingo“** (KomplettMedia) eine kurzweilige, unterhaltsame und faktenbasierte Grundlage.

Wie schon in seinem Blog „Der Graslutscher“ greift er Behauptungen auf, analysiert und zerlegt sie. Durchaus mit Verständnis für Einwände und Sorgen stellt er inhaltlich falschen Behauptungen wissenschaftliche Fakten entgegen. Eine klare Gliederung, kurze Kapitel, Grafiken und hervorgehobene Zusammenfassungen der wichtigsten Argumente machen das Buch gut lesbar. Nette Idee: Mit QR-Codes lassen sich kurze Texte mit Fakten und Zahlen sowie den dazugehörigen Quellen aufs Smartphone laden, um sie auf Social Media zu teilen oder weiterzuleiten.

Alles in allem – trotz hemdsärmeliger Formulierung – eine gelungene Zusammenstellung für Diskussionen oder um die eigenen Standpunkte zu hinterfragen.

Denise Nüssle



Technologietreiber Kranich-Airline

Andreas Spaeth, Luftfahrtjournalist, hat wieder aus seinem scheinbar unermesslichen Archiv geliefert. Seit nunmehr fast 100 Jahren fliegt die Lufthansa den Kranich am Leitwerk um den Globus. Von Beginn an mit Flugzeugen, die technologisch immer an der Spitze standen.

Dies ist das Thema von Spaeths neuem Buch **Lufthansa – ein Jahrhundert Innovation**. Fakten, Fakten, Fakten als Beleg für Zuverlässigkeit und technologischer Anspruch als Firmenphilosophie der Kranich-Airline, ohne den es den „Bobby“, die Boeing 737, nicht gegeben hätte. Dies ist nur eine Geschichte von vielen auf 224 Seiten, verbunden mit 200 historischen Abbildungen, auch aus dem historischen Archiv der Lufthansa.

Nicht nur für Technikbegeisterte, die gern in der Geschichte zurückschauen, ist das Buch ein Gewinn. Spätestens beim Durchblättern wird sich jeder andere, der sich auch nur ansatzweise für die Luftfahrt interessiert, festlesen. Viel Spaß dabei!

Andreas Schütz



Es gibt sie, die richtig guten Raumfahrt-Bücher

Wer mit Raumfahrt befasst ist, der muss dieses Buch lesen. Pflichtlektüre! Mit Christoph Seidlers Werk **„Armstrongs Erben“** (Piper) liegt das umfassendste Kompendium der Raumfahrt in dieser Zeit und in unserer Sprache vor. Schon das inspirierende Vorwort von ESA-Astronaut Matthias Maurer ist das Buch wert.

Es tut sich ja unglaublich viel. Der Mensch will zurück zum Mond. Er will

eigentlich noch weiter. Seidler wägt kompetent die Wege zum nächsten „giant leap“ ab: technisch, politisch, gesellschaftlich, finanziell, wissenschaftlich, auch einen Hauch philosophisch. Sogar das Projekt einer Mission zum Mars nimmt bereits schemenhaft Konturen an.

Bis dorthin ist es noch weit. Doch in den Medien ist von einem neuen „Wettrennen“ die Rede, was Unsinn ist.

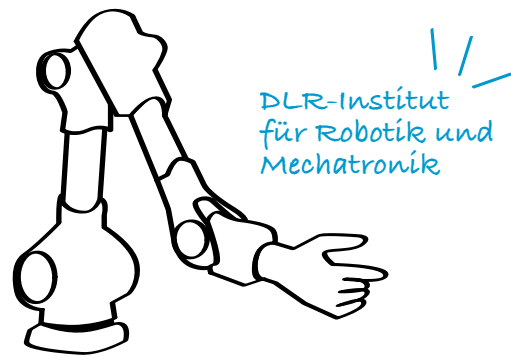
Das entscheidende Wettrennen fand in den 1960er-Jahren statt. Der Ausgang ist bekannt, und Seidler verschwendet wenige Worte, dies zum hundertsten Mal zu erzählen – nicht ohne einige erstaunliche Details einzustreuen. Da passieren dann auch kleine inhaltliche Fehler: allesamt verzeihen. Die Wahrscheinlichkeit eines fatalen Unfalls bei Apollo war nicht 50:50, weiß der Rezensent aus sicherer Quelle.

Auf den 300 Seiten spürt man, wie Seidler für das Thema brennt und neben seiner Tätigkeit als SPIEGEL-Redakteur wohl Nächte durchrecherchierte, viele bedeutende Raumfahrt-Orte besuchte und mit vielen wichtigen Leuten gesprochen hat. Was muss eigentlich entwickelt und wie durchgeführt werden – alles mit einem dissertationswürdigen Quellenverzeichnis unterfüttert. Sehr gut ausbalanciert ist die Rolle der Raumfahrtakteure, allen voran die USA mit NASA und SpaceX, China, Russland und schließlich auch Europa.

Ein Vergnügen auch, dass der Autor für komplexe Sachverhalte gute sprachliche Bilder heranzieht, auch ein Augenzwinkern und Humor einbringt (echte Bilder allerdings sind sehr sparsam verwendet).

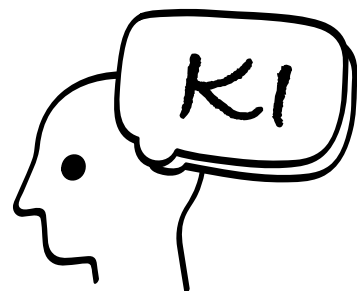
Pech eines jeden Autors: Das Manuskript muss irgendwann abgegeben werden, in diesem Fall 2024. Dann kam in den USA eine neue Regierung an die Macht. Und so vieles wurde nicht nur etwas anders. Trotzdem: lesen!

Ulrich Köhler ist Planetengeologe am DLR-Institut für Weltraumforschung. Von Apollo-16-Astronaut John Young erfuhr er, dass die Wahrscheinlichkeit eines fatalen Unfalls bei einer Apollo-Mission bei zehn Prozent lag.

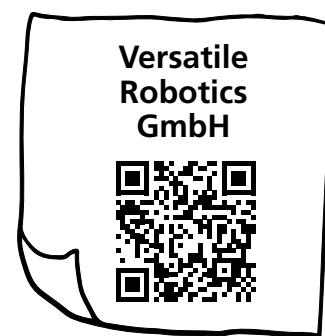


Mensch und Maschine

Roboter menschenähnlicher machen

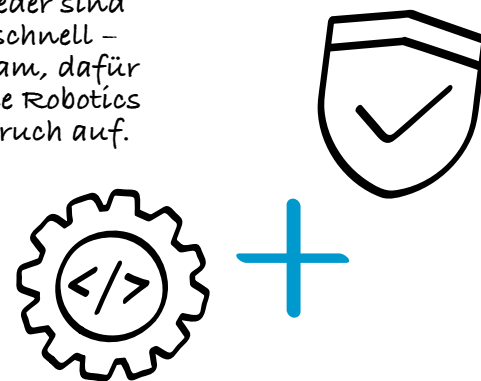


Stefanie Brandl Adrian Prinz Janosch Kühnöl Uli Köhler Dr. Johannes Engelsberger



Hintergrund

In der Robotik galt bisher ein Kompromiss: Entweder sind Roboter stark und schnell – oder sie sind langsam, dafür aber sicher. Versatile Robotics löst diesen Widerspruch auf.



Versatile Robotics macht die Welt besser, weil ...

... sensitiv agierende Roboter überall dort eingesetzt werden können, wo Menschen, KI und Maschinen besonders eng zusammenarbeiten, zum Beispiel in der Medizin oder im Haushalt.

Nächste Herausforderung

weitere zahlende Roboterhersteller als Kunden gewinnen

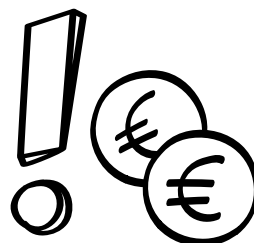


Bild: Versatile Robotics GmbH



Kann dieser Fisch fliegen?

Mit dem breiten, flachen Rumpf und seiner Form erinnert das Konzept des D150-BWB (Blended Wing Body) an einen Rochen. Die Triebwerke befinden sich auf dem „Rücken“, in der Kabine finden insgesamt 150 Passagiere Platz. Gleich daneben liegen die Frachträume, die in etwa die gleiche Kapazität haben wie in herkömmlichen Flugzeugkonstruktionen. Durch aerodynamische Optimierung ist der D150 nicht nur leiser als ein herkömmliches Passagierflugzeug, sondern auch äußerst energieeffizient.

Er ist eines von derzeit sieben detaillierten klimaverträglichen Flugzeugmodellen, die das DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt in seinem Digitalen Hangar präsentiert. Die Modelle haben Reichweiten zwischen 600 und 4.630 Kilometern und können neun bis 250 Passagiere transportieren. Einige wurden darauf ausgelegt, mit synthetischem oder fossilem Kerosin zu fliegen, andere mit Wasserstoff. Diese und weitere technische Details sowie die wichtigsten Kennzahlen sind dabei übersichtlich wie in einem Quartett-Kartenspiel dargestellt.

Der Digitale Hangar ist ein Angebot für Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Hochschulen und Start-ups, die sich für den Flugzeugbau der Zukunft interessieren.

Hier entlang zum Digitalen Hangar:

