



## VORHANG AUF FÜR DEN ISTAR

NEUES FORSCHUNGSFLUGZEUG FÜR DIE DLR-FLOTTE

Weitere Themen:

- ▶ **DER WEISSE FLECK MUSS WEG**  
Forschung für mehr Breitbandverfügbarkeit
- ▶ **IN ZEITLOSEN RÄUMEN**  
Begegnung im zentralen DLR-Archiv

## Das DLR im Überblick

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

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 47 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Unsere mehr als 9.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

## Impressum

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

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

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

Politikbeziehungen und Kommunikation

Linder Höhe, 51147 Köln

Telefon 02203 601-2116

E-Mail [info-DLR@dlr.de](mailto:info-DLR@dlr.de)

Web [DLR.de](http://DLR.de)

Twitter [@DLR\\_de](https://twitter.com/DLR_de)

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten

Gestaltung: B+D Agenturgruppe GmbH, Vitalisstraße 67, 50827 Köln, [www.bplused.de](http://www.bplused.de)

ISSN 2190-0094

Online lesen:

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

Onlinebestellung:

[DLR.de/magazin-abo](http://DLR.de/magazin-abo)

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

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



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.



## AUF EINMAL IST ALLES ANDERS

Während dieses DLRmagazin entsteht, ändert sich das gesellschaftliche Leben in Deutschland und weiten Teilen der Welt spürbar. Schulen, Betriebe, Restaurants und Kulturstätten schließen, das öffentliche Leben kommt zum Erliegen. Messen und Events finden nicht statt oder werden verschoben. Normalerweise wären die Kolleginnen und Kollegen nun mitten in den Vorbereitungen für die kommenden Veranstaltungen, wo die Ergebnisse unserer Forschung und neue Entwicklungen gezeigt werden: sei es auf der Hannover Messe, bei der Internationalen Luft- und Raumfahrt Ausstellung ILA in Berlin, auf dem Space Symposium in Colorado Springs oder auch bei der Raumfahrt-Show für den Nachwuchs. Besonders wichtig sind uns dabei die Begegnungen, der Dialog mit Wissenschaft und Wirtschaft, mit Menschen aller Bevölkerungsschichten. Sorgen die ersten Absagen für Enttäuschung bei den jeweiligen Beteiligten, so weicht diese mit jedem Tag und seinen neuen Informationen der Einsicht, dass das, was hier im Frühjahr 2020 passiert, an niemandem spurlos vorübergeht. Der Ausbreitung des Coronavirus entgegenzustehen, fordert jede und jeden. Im Jahr 2020 ist alles anders.

So bitter – und ja, auch teuer – es ist, das gesamte gesellschaftliche Leben gravierend einzuschränken, so wichtig ist es nun, an all jene zu denken, die besonders gefährdet sind, die im Kampf gegen die Krankheit in der ersten Reihe stehen: in Medizin und Pflege, bei der Versorgung der Menschen mit Lebensnotwendigem, im Krisenmanagement und nicht zuletzt in den Laboren, wo mit Hochdruck an einem Impfstoff geforscht wird.

Die 9.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des DLR zeigen nun Leistungsfähigkeit auf ganz andere Weise: fern aller Routine, in flexiblem Reagieren auf ungewohnte Arbeitsbedingungen, in solidarischer Hilfe zu Hause, mit Besonnenheit und Disziplin. Die Bewährungsprobe der Corona-Pandemie fordert uns alle. Das DLR tut mit seinem Know-how und mit der Kraft seiner Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter alles, was in diesen Wochen geboten ist, damit wir diese noch nie da gewesene Situation bestmöglich überstehen.

Bleiben Sie gesund und achten auch Sie auf sich und Ihre Lieben!

## Liebe Leserinnen und liebe Leser,

Vorhang auf! Der Star, um den es hier geht, ist zweifelsohne ein besonderer. Einzigartig, vielseitig, ein „Arbeitspferd“ – garantiert ohne Allüren und sehnsüchtig erwartet: der ISTAR. Als Falcon geboren in Bordeaux-Mérignac verlief seine Karriere zunächst wie die der meisten Mittelklasseflugzeuge aus dem Hause Dassault: Zuverlässig flog die Maschine als Erprobungsträger für Muster-Zulassungen ihre Runden. Das Blatt wendete sich, als sich vor drei Jahren das DLR für den smarten Franzosen interessierte. Zwei Jahre lang wurde die Falcon auf ihre neue Rolle vorbereitet – als Allrounder für Untersuchungen zur Aerodynamik, Flugführung und Flugregelung. Im Februar 2020 schließlich bekam sie – nun unter dem Namen ISTAR – den roten Teppich ausgerollt. Der Name bedeutet In-flight Systems & Technology Airborne Research und ist Programm. Das DLR schlägt damit ein neues Kapitel in der Luftfahrtforschung auf. Das Flugzeug hat noch eine großartige Zukunft vor sich. Das mit dem Vorhang dürfte allerdings einmalig gewesen sein.

Ebenso einmalig sind Helga und Zohar. Nicht nur, weil sie zum Mond fliegen werden, sondern weil ihre Kunststoffkörper mit tausenden Sensoren bestückt sind. Diese sollen Auskunft darüber geben, welcher Strahlenbelastung ein Mensch auf einer Weltraumreise ausgesetzt wäre und wie gut Schutzvorkehrungen wirken.

Weitere Themen in diesem Heft sind Luftfahrt und Klima, Energie aus Altreifen und Verkehrsforschung auf dem Testfeld Niedersachsen. Und sollten Sie an Stars des Alltags interessiert sein, die als leibhaftige Personen täglich Besonderes leisten, dann lernen Sie Dr. Jessika Wichner kennen. Sie verfolgt alles, was im DLR geschieht, ganz genau, denn sie ist Archivarin mit Leib und Seele.

Viel Vergnügen beim Lesen wünscht Ihnen

Ihre Redaktion





VORHANG AUF FÜR DEN ISTAR

44



IN ZEITLOSEN RÄUMEN

48



EIN TESTFELD FÜR ALLE FÄLLE

30



HELGA FLIEGT ZUM MOND

36



BREITBAND IN DER FLÄCHE

10



AUF DER RICHTIGEN SPUR

22



DAS BESTE AUS ZWEI WELTEN

34



EINE SCHWESTER, DIE SO GANZ ANDERS IST

40

<b>KOMMENTAR</b>	6
Mehr als smarte Algorithmen	
<b>MELDUNGEN</b>	7
► <b>DER WEISSE FLECK MUSS WEG</b>	10
Forschung für mehr Breitbandverfügbarkeit	
<b>KREATIVER SCHUB FÜR ZUKÜNFTIGES FLIEGEN</b>	14
Elektromobilität am Himmel	
<b>ARCHITEKTEN EINER NEUEN LUFTFAHRT</b>	18
Interview zum unbemannten Fliegen	
<b>AUF DER RICHTIGEN SPUR</b>	22
Wege zum klimafreundlichen Luftverkehr	
<b>MELDUNGEN</b>	25
<b>EINBLICK</b>	26
Bemannt trifft unbemannt	
<b>DER ALTE REIFEN KANN NOCH WAS</b>	28
Neue Materialquelle für Energiespeicher	
<b>EIN TESTFELD FÜR ALLE FÄLLE</b>	30
Forschungsplattform für neue Fahrfunktionen	
<b>DAS BESTE AUS ZWEI WELTEN</b>	34
Förderung nachhaltiger Projekte	
<b>HELGA FLIEGT ZUM MOND</b>	36
Projekt MARE erfasst Strahlenbelastung im All	
<b>EINE SCHWESTER, DIE SO GANZ ANDERS IST</b>	40
Warum ist die Venus nicht wie die Erde?	
► <b>VORHANG AUF FÜR DEN ISTAR</b>	44
Neues Forschungsflugzeug für die DLR-Flotte	
► <b>IN ZEITLOSEN RÄUMEN</b>	48
Begegnung im zentralen DLR-Archiv	
<b>REISE UM EINEN UTOPISCHEN PLANETEN</b>	52
Im Klimahaus Bremerhaven	
<b>FEUILLETON</b>	56

# MEHR ALS SMARTE ALGORITHMEN

© DLR/David Senkic



Dr. Mark Azzam, Programmkoordinator Digitalisierung im DLR

Von Dr. Mark Azzam

Der europäische Markt für künstliche Intelligenz (KI) wird von rund drei Milliarden Euro im Jahr 2018 bis auf zehn Milliarden Euro im Jahr 2022 steigen, so eine Studie, die der Digitalverband Deutschlands, kurz Bitkom, bereits 2018 in Auftrag gegeben hatte. KI ist also bereits ein entscheidender Erfolgsfaktor der deutschen Industrie im internationalen Wettbewerb. Heute lassen sich dank höherer Speicher- und Rechenleistung sowie verbesserter Konnektivität große Mengen an Daten erfassen, sammeln und fusionieren, wodurch permanent neue Anwendungspotenziale für KI entstehen. So erleichtern smarte Algorithmen die zustandsbasierte Wartung und Instandhaltung von Industrieanlagen, indem sie Funktionsausfälle signalisieren, bevor sie geschehen. Methoden der künstlichen Intelligenz machen auch Produktionsketten effizienter, sicherer und nachhaltiger. Diese Entwicklungen werden vom DLR seit vielen Jahren entscheidend geprägt. Ein aktuelles Beispiel dafür ist das Querschnittsprojekt Factory of the Future. Zehn DLR-Institute und -Einrichtungen aus den Bereichen Raumfahrt, Luftfahrt und Verkehr arbeiten an der Vision einer voll vernetzten digitalisierten Produktion, in der Menschen und Roboterassistenten effektiv zusammenarbeiten.

Doch künstliche Intelligenz vermag noch mehr, als die industrielle Produktion zu erneuern. So sind beispielsweise durch KI gewonnene Informationen aus Erdbeobachtungsdaten eine wichtige Quelle, um den Zustand unserer Erde zu erforschen. Satellitendaten sind so für die Regional- und Stadtplanung, für die Landwirtschaft oder ein effizientes Ressourcenmanagement hochrelevant geworden. Das DLR gehört hier vor allem mit seinem Earth Observation Center zu den weltweit führenden Forschungseinrichtungen.

Auch in der künftigen Mobilität nehmen KI-Technologien eine Schlüsselfunktion ein. An intelligenten Verkehrsmanagementsystemen und daran, Verkehrswege dreidimensional digital abzubilden, forschen wir im DLR. Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wollen grundlegende Voraussetzungen schaffen, um in Zukunft sicher hochautomatisiert und vernetzt unterwegs sein zu können. In der Luftfahrtforschung arbeiten sie an einem intelligenten persönlichen Assistenten für Fluglotsen. Dieser hört Gespräche zwischen Lotse und Pilot mit und gibt Handlungsempfehlungen passend zum Gesprächskontext.

Wir sind schon weit gekommen. Dennoch müssen Wirtschaftsbereiche wie Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr oder der Energiesektor besser mit sicheren und intelligenten Technologien ausgestattet werden. Dies bestätigt eine Studie des Technologieverbands VDE: Lediglich ein Prozent der befragten Unternehmen und Hochschulen ist der Meinung, dass die Bundesrepublik im Bereich der künstlichen Intelligenz eine Vorreiterrolle einnimmt. – Das ist irritierend. Gerade die Ingenieurkompetenz unterscheidet Deutschland von anderen Ländern! Wenn es sicherheitskritisch wird, sind tradiertes Sicherheitsdenken und das Wissen um physikalische Zusammenhänge notwendig, und zwar ebenso wie smarte Algorithmen. Bei Spielen wie Go oder Schach lösen Schwächen in der KI vielleicht Enttäuschung aus, bei KI in autonomen Fahrzeugen aber geht es um Menschenleben. Die Nachweisbarkeit, dass es funktioniert, ist also essenziell. Das DLR sorgt mit seinen KI-Kompetenzen für eine nachweislich sichere technologische Grundlage. Gemeinsam mit der deutschen Industrie führen wir sicherheitskritische KI-Anwendungen so zum wirtschaftlichen Erfolg – made in Germany.

## SUPERPOWER IN DRESDEN FÜR DIE LUFT- UND RAUMFAHRT

Seit dem 5. Februar 2020 hat das DLR einen weiteren Hochleistungsrechner: CARA (Computer for Advanced Research in Aerospace) steht in Dresden und ist mit seinen fast 150.000 Recheneinheiten einer der leistungsstärksten Supercomputer, der für die Luft- und Raumfahrtforschung zur Verfügung steht. Mit ihm können beispielsweise alle Eigenschaften und Komponenten eines Flugzeugs auf Basis hochgenauer physikalischer und mathematischer Modelle simuliert werden – eine entscheidende Voraussetzung für deren virtuelle Entwicklung, die Erprobung, den Betrieb und die Zertifizierung. Das ist eine Grundlage, um neue Technologien für wirtschaftlicheres, umweltfreundlicheres und sichereres Fliegen einzuführen.

Darüber hinaus kann der neue Rechner auch für die Raumfahrt- und Verkehrsforschung genutzt werden, beispielsweise im Bereich des Raumtransports oder bei der Forschung für Züge der nächsten Generation. CARA wurde im Rechenzentrum der Technischen Universität Dresden (TU Dresden) installiert und wird vom Zentrum für Informationsdienste und Hochleistungsrechnen (ZIH) der TU Dresden betrieben.

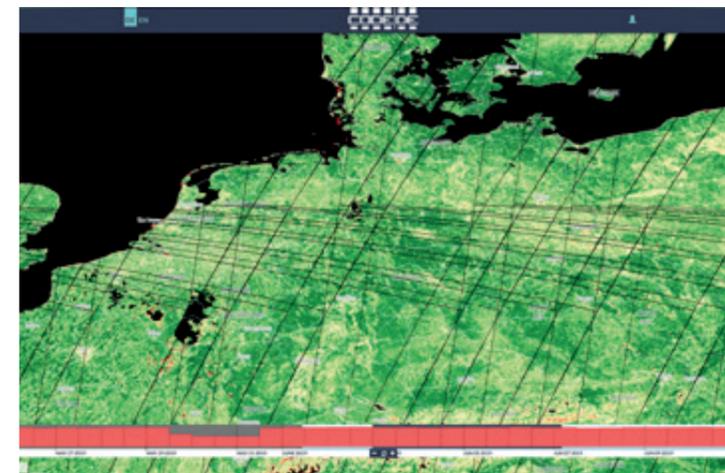


Der Supercomputer CARA

## CODE-DEUTSCHLAND – KARTEN SELBST ERSTELLEN

Erdbeobachtungsdaten helfen, Umweltprozesse besser zu verstehen. Mit dem Webdienst CODE-DE (Copernicus Data and Exploitation Platform – Deutschland) kann jeder kostenlos auf Satellitendaten zugreifen – ob Behörden, Wissenschaftler oder Privatleute. Die Daten stammen hauptsächlich von den Sentinel-Satelliten des europäischen Copernicus-Programms und decken Deutschland und die Welt ab. Zusätzlich bietet das Portal komplette Informationspakete an, die beispielsweise die Entwicklung von Agrarflächen im zeitlichen Verlauf zeigen, aber auch Programme, mit denen jeder online eigene Karten bearbeiten und herunterladen kann. Wem das nicht reicht, der kann eigene Verarbeitungsprogramme und automatisierte Prozessketten in das Portal einbinden.

Ein Team vom Erdbeobachtungszentrum des DLR hat CODE-DE in den vergangenen drei Jahren im Auftrag des Verkehrsministeriums aufgebaut und betrieben. Ab April 2020 übernimmt das polnische Cloud-computing-Unternehmen CloudFerro den Betrieb. CloudFerro möchte die Plattform zu einem cloudbasierten Dienst weiterentwickeln.

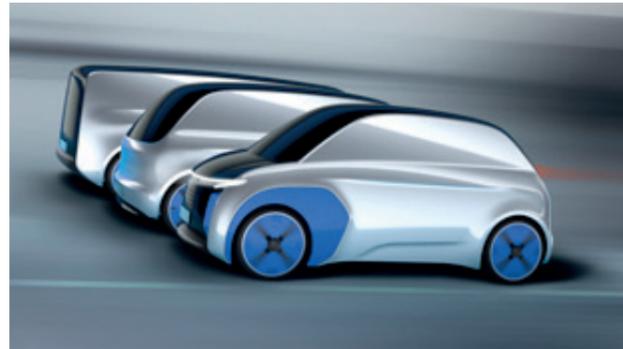


Hier ist Deutschland in CODE-DE in der Ansicht des sogenannten Sentinel-3-OLCI-Vegetationsindex abgebildet. Dieser Index zeigt an, wie gesund die Pflanzen sind. Dunkelgrün entspricht gesunder, dichter Vegetation.

## ELEKTROLEICHTFAHRZEUGE FÜR PENDLER UND LIEFERANTEN

Elektrisch angetriebene Klein- und Leichtfahrzeuge, sogenannte Light Electric Vehicles (LEV), könnten einen Großteil des individuellen Personennahverkehrs sowie des Lieferverkehrs in Ballungsräumen übernehmen. Dies zeigt eine Studie der DLR-Institute für Fahrzeugkonzepte und für Verkehrsforschung sowie des Instituts für Mitbestimmung und Unternehmensführung (IMU), einer Forschungs- und Beratungseinrichtung mit Standorten in Stuttgart, Nürnberg, München, Berlin und Dresden.

Demnach wären Elektroleichtfahrzeuge für bis zur Hälfte aller privaten Fahrten nutzbar, einschließlich der Pendelfahrten zur Arbeit. Die Forscher sehen in E-Fahrzeugen nicht nur eine Ergänzung zum öffentlichen Personennahverkehr – beispielsweise als Zubringer zu Bahn- und Busstationen –, sondern auch einen attraktiven und nachhaltigen Ersatz für konventionelle Autos und Kleintransporter, insbesondere im kleinteiligen Wirtschaftsverkehr, bei Kurier-, Express- und Paketdiensten.



Next Generation Cars aus dem DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte. Diese Autos der Zukunft sollen energieeffizient, emissionsfrei, sicher und kostengünstig fahren.

## SCHIMMELPILZSPOREN KÖNNTEN AUF DEM MARS ÜBERLEBEN

Bakterien und Pilze gehören zur Natur und auch zum Menschen – ob äußerlich auf der Haut oder im Körper. Während Bakterien auf der Erde nahezu überall existieren, überleben sie in einer marsähnlichen Atmosphäre größtenteils nicht. Schimmelpilzsporen hingegen tolerieren solche Extrembedingungen. Dies zeigen die vorläufigen Ergebnisse des Projekts MARSBOX. Darin schickten Astrobiologen des DLR im September 2019 Mikroorganismen mit einem Stratosphärenballon der NASA auf eine neunstündige Reise bis 30 Kilometer über der Erde. Dort ähneln Temperatur, Strahlung und Druck den Bedingungen auf dem Roten Planeten. Die Ergebnisse von MARSBOX liegen nun vor und sind interessant für zukünftige Reisen zu Mond und Mars, aber auch für die sogenannte Planetary Protection, den Schutz des planetaren Raums: Denn wenn Lander, Rover oder andere Raumfahrzeuge, die mit Schimmelpilzsporen besetzt sind, auf Planeten und Himmelskörpern abgesetzt würden, bestünde die Gefahr, dass sie dort die Oberfläche kontaminieren.



Das DLR-Forschungsflugzeug HALO auf dem Flughafen der Karibikinsel Barbados. Im Hintergrund sind flache Kumulus-Wolken zu sehen. Sie reflektieren das Sonnenlicht und kühlen so die Erdoberfläche. In den Tropen gibt es besonders viele davon.

## ELEKTRISCH IM 19-SITZER VON BERLIN NACH MANNHEIM



Visualisierung eines elektrisch angetriebenen Flugzeugs der Commuter-Klasse

Elektrisch betriebene Kleinflugzeuge sind bereits vereinzelt im Einsatz, beispielsweise als Trainingsflugzeuge für Flugschüler. Das DLR hat gemeinsam mit dem Bauhaus Luftfahrt analysiert, welches Potenzial ein hybrid-elektrisches Verkehrsflugzeug mit 19 Sitzen hat. Das Projekt CoCoRe (Cooperation for Commuter Research) zeigt, dass sich elektrische Antriebe bei kurzen Distanzen effektiv nutzen lassen. Aktuell sind weltweit rund 3.000 Flugzeuge der sogenannten Commuter-Klasse im Einsatz. Solche 19-Sitzer fliegen im Linienverkehr zu 56 Prozent Strecken unter 200 Kilometern und zu 83 Prozent unter 350 Kilometern Länge. Begrenzt durch das Gewicht der Batterie gehen die Forscher in ihrem Konzept von einer vollelektrisch geflogenen Reichweite von 200 Kilometern aus. Dabei betrachteten sie Technologien, die heute schon eingesetzt werden. Um die Reichweite zu erhöhen, erweiterten sie ihr Konzept um zwei Gasturbinen, die bei Bedarf mit den Propellern gekoppelt werden. Das Konzept würde bereits einen Großteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Commuter-Flugzeugen vermeiden.

## EIN PLATZ AN DER SONNE



Künstlerische Darstellung der Raumsonde Solar Orbiter

Extreme Hitze und Teilchenstürme machen die unmittelbare Umgebung der Sonne zu einem sehr unwirtlichen Ort. Doch genau dorthin ist seit dem 10. Februar 2020 die Sonde Solar Orbiter unterwegs. Sie soll unseren Stern und seine innere Heliosphäre erforschen. Dieser Bereich wird stark vom Sonnenwind mit seinen Magnetfeldern und energetischen Teilchen bestimmt. Eine zentrale Frage, die beantwortet werden soll, ist, wie die Sonne die Heliosphäre erzeugt und beeinflusst.

Dazu ist Solar Orbiter mit zehn Instrumenten ausgestattet, die zum einen die physikalischen Eigenschaften des Sonnenwindes im direkten Umfeld der Sonde untersuchen und zum anderen mit hochauflösenden Fernerkundungsinstrumenten die Sonnenoberfläche und ihre Atmosphäre vermessen. Hierbei muss der Hitzeschild Temperaturen von bis zu 500 Grad Celsius aushalten, denn die Sonde nähert sich dem Stern auf bis zu 42 Millionen Kilometer. Geleitet wird die Mission von der Europäischen Weltraumagentur ESA mit Beteiligung der amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA. Das DLR Raumfahrtmanagement fördert die Mission mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).

## REGIONALMELDUNGEN

**GÖTTINGEN:** Im DLR-Institut für Aeroelastik wurde eine neue Nutzlastplattform für die Internationale Raumstation ISS getestet. Die Plattform von Airbus nennt sich Bartolomeo und soll in den Forschungsbereichen Strahlenbiologie, Technologieerprobung, Klima- und Erdbeobachtung, Astronomie, Sonnenphysik und Laserkommunikation eingesetzt werden. Ein Roboterarm erlaubt den Einbau und das Verändern von Experimenten von der Erde aus.

**BRAUNSCHWEIG:** Mit einem speziellen Triebwerksimulator haben Forscher aus dem DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik den Lärm, der speziell durch den Triebwerksstrahl an der Flügelklappe entsteht, akustisch messbar gemacht. Der Test zeigte: Nicht nur das Triebwerk ist laut, auch an der Landeklappe des DLR-Windkanalmodells entstand Lärm.

**KÖLN:** Am 6. Februar 2020 kehrte der italienische ESA-Astronaut Luca Parmitano von der Internationalen Raumstation ISS zurück. Er hatte dort seit Juli 2019 im Rahmen seiner Mission Beyond die Durchführung von mehr als 50 europäischen und 200 internationalen Experimenten unterstützt und einen Weltraumspaziergang durchgeführt. Die ersten Tage nach seiner Landung verbrachte Parmitano in der DLR-Forschungsanlage :envihab, wo er medizinisch betreut wurde.

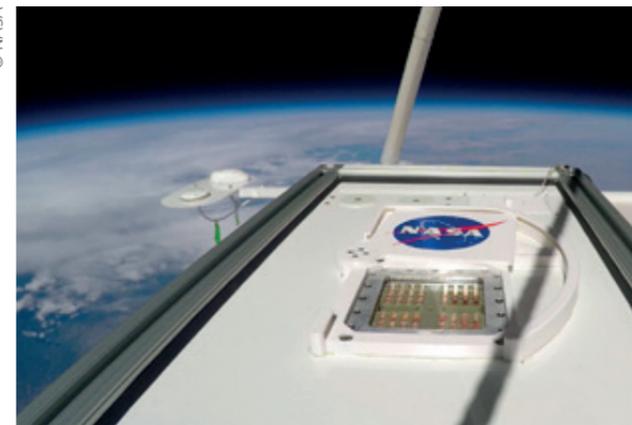
**STADE:** Im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie haben Anfang des Jahres erstmals sieben verschiedene Roboter Einheiten gemeinsam eine Flügelschale gefertigt. Die Zusammenarbeit der Roboter vereinte die automatisierte Faserablage in verschiedenen Materialbreiten, eine mobile Roboterplattform, das Scannen zur Überwachung der Oberflächen während der Fertigung und die automatisierte Qualitätssicherung.

**STUTTGART:** Nicht jedes Elektroauto benötigt immer gleich die volle Ladeleistung. Oft reicht es aus, wenn das Fahrzeug rechtzeitig zur nächsten Fahrt geladen ist. In dem Pilotprojekt eLISA-BW (E-Ladeinfrastruktur intelligent steuern und anpassen in Baden-Württemberg) entwickeln und erproben das DLR und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg vorausschauendes Laden.

### DLR.DE: MELDUNGEN AUF DER DLR-WEBSITE

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

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



DLR-Probenräger an Bord des Stratosphärenballons der NASA. Im Sommer 2020 soll eine weitere Testkampagne zur Internationalen Raumstation ISS starten, um Kurz- und Langzeiteffekte von Schwerelosigkeit auf Mikroorganismen zu untersuchen.

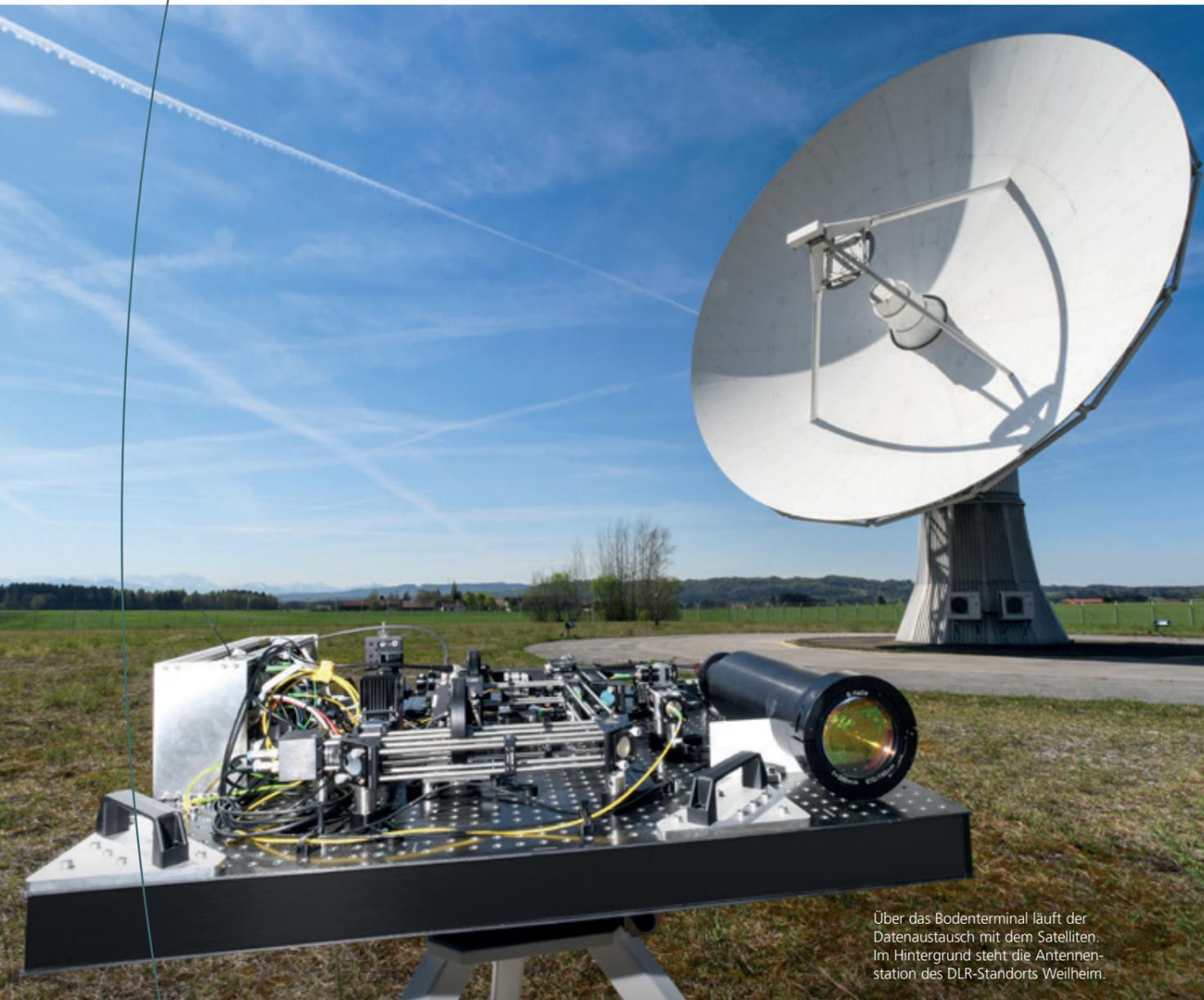
## WIE WOLKEN DAS KLIMA BEEINFLUSSEN

Wolken sind ein wesentlicher Klimafaktor. Welchen Einfluss sie auf den globalen Klimawandel haben und wie sich demzufolge die Wolkenbedeckung verändert, wurde während der sechswöchigen Kampagne EUREC4A untersucht. Dafür waren fünf Forschungsflugzeuge und vier Forschungsschiffe, unterstützt von Bodenmessstationen und Satelliten, östlich und südlich der Karibikinsel Barbados im Einsatz. Die Bewölkung dort ist repräsentativ für die Wolken, die in den Passatwindregionen der gesamten Tropen zu finden sind.

In Messflügen studierte das Team den „Lebenszyklus“ der Wolken. Mit Hilfe von Messungen im Ozean analysierten die Forscher, wie Wirbel und Wasserfronten mit der Atmosphäre interagieren. Mit einem laserbasierten LIDAR-System auf dem Forschungsflieger HALO untersuchte das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre kleinere Wolken und ihre Vorstufe, Wasserdampfschichten. Mit den Daten wollen sie sowohl die aktuellen Klimamodelle verbessern als auch die Entwicklung von neuen Methoden der Satelliten-Fernerkundung unterstützen.

In EUREC4A arbeiteten über 40 Partner zusammen. Das Projekt wurde vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg und dem Laboratoire de Météorologie Dynamique in Paris geleitet.

# DER WEISSE FLECK MUSS WEG



Über das Bodenterminal läuft der Datenaustausch mit dem Satelliten. Im Hintergrund steht die Antennenstation des DLR-Standorts Weilheim.

Im DLR-Querschnittsprojekt Global Connectivity via Satellite wird für eine leistungsfähige Kommunikation geforscht  
 Von Dr. Sandro Scalise

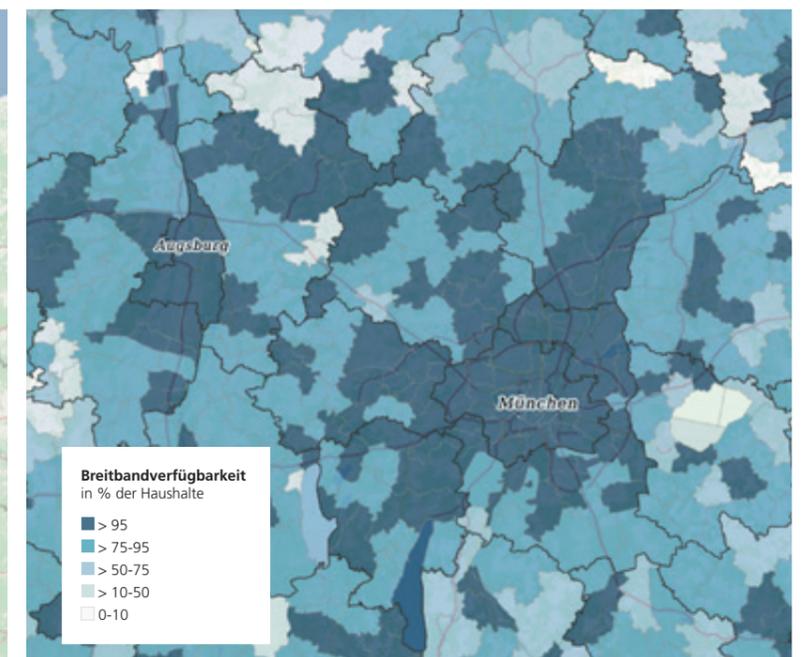
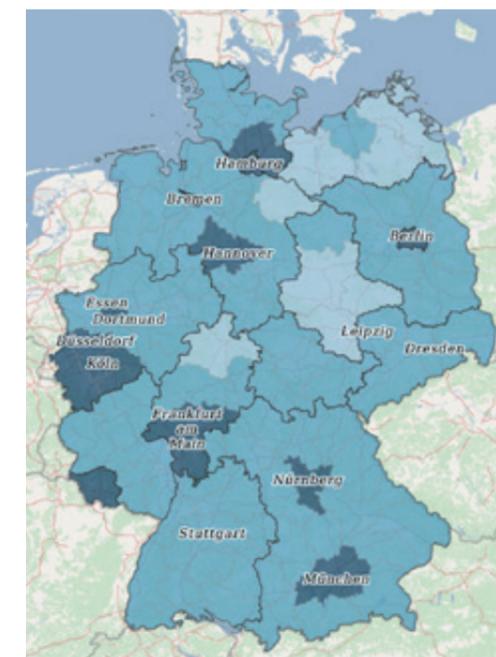
**K**ein Netz! Schnelles Internet? Fehlanzeige! Man hört ein Fluchen aus Mecklenburg-Vorpommern. Doch auch im Großraum München gibt es Gegenden, in denen weniger als die Hälfte der Haushalte keine Breitbandabdeckung hat. Wenn es sogar unter zehn Prozent der Haushalte sind, dann wird von „weißen Flecken“ gesprochen. Was privat ärgerlich ist, bedroht Unternehmen in ihrer Existenz. Weiße Flecken müssen weg! In diesem Punkt sind sich Parteien und Behörden einig: Im Koalitionsvertrag von 2018 zwischen CDU, CSU und SPD werden „das Ziel eines flächendeckenden Zugangs zum schnellen Internet aller Bürgerinnen und Bürger“ und „ein rechtlich abgesicherter Anspruch zum 1. Januar 2025“ als wesentliche Elemente für die Verwirklichung einer „Gigabit-Gesellschaft“ konkret angesprochen. Das DLR hat dafür ein Querschnittsprojekt gestartet: Global Connectivity via Satellite.

Industrie 4.0 ist ohne breitbandiges, ausfallsicheres und in der Fläche verfügbares Internet schwer vorstellbar. Von vernetzten Produktionsprozessen und Geschäftsmodellen, die sich stark auf das Internet stützen, dürfen Unternehmen in strukturschwachen Regionen nicht ausgeschlossen werden. Auch privat wollen die Bürger zuverlässig auf Informationen zugreifen und kommunizieren; zunehmend geht es inzwischen auch darum, von zu Hause aus arbeiten zu können. Das ist heutzutage in dünn besiedelten Gegenden häufig nicht möglich. Der fehlende Breitbandzugang behindert die wirtschaftliche Entwicklung solcher Regionen und trägt zur Binnenmigration in die Ballungszentren bei. Mehr noch: Wenn bei Großveranstaltungen oder im Katastrophenfall temporär in begrenzten Gebieten keine ausreichende Netzkapazität zur Verfügung steht, sind Menschenleben in Gefahr.

Glasfaser und 5G sind geeignete Technologien, um die Lücken in der Breitbandabdeckung zu schließen. Unter 5G versteht man dabei nicht einfach ein leistungsfähigeres Mobilfunksystem, sondern ein Netzwerk von Netzwerken, die auf die Anforderungen einzelner Sektoren wie Transport, Medien und Fertigung zugeschnitten sind.

Für die 5G-Normung ist das sogenannte 3rd Generation Partnership Project (3GPP) zuständig, eine weltweite Kooperation von Gremien für die Standardisierung im Mobilfunk. Es hat im Dezember 2019 die Aufnahme der sogenannten nicht terrestrischen Netze (NTN) als integralen Bestandteil von 5G beschlossen. Hinter NTN stehen zwei Technologien: die Kommunikation über Luftplattformen ebenso wie die über Satelliten.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) pflegt ein interaktives offenes Tool, um die tatsächliche Breitbandabdeckung in Deutschland zu überwachen. Bis dato liegt die durchschnittliche Verfügbarkeit des Internetzugangs mit mindestens 16 Mbit/s in den meisten Bundesländern zwischen 75 und 95 Prozent. Eine detailliertere Ansicht der Umgebung von München zeigt allerdings eine Vielzahl verstreuter Stellen, in denen nicht einmal die Hälfte der Haushalte Breitbandzugang hat, in einigen Fällen sind es sogar weniger als zehn Prozent.



Quelle: Breitbandatlas des BMVI

Private Breitbandverfügbarkeit (≥ 16 Mbit/s) für Deutschland einerseits und beispielhaft speziell im Großraum München

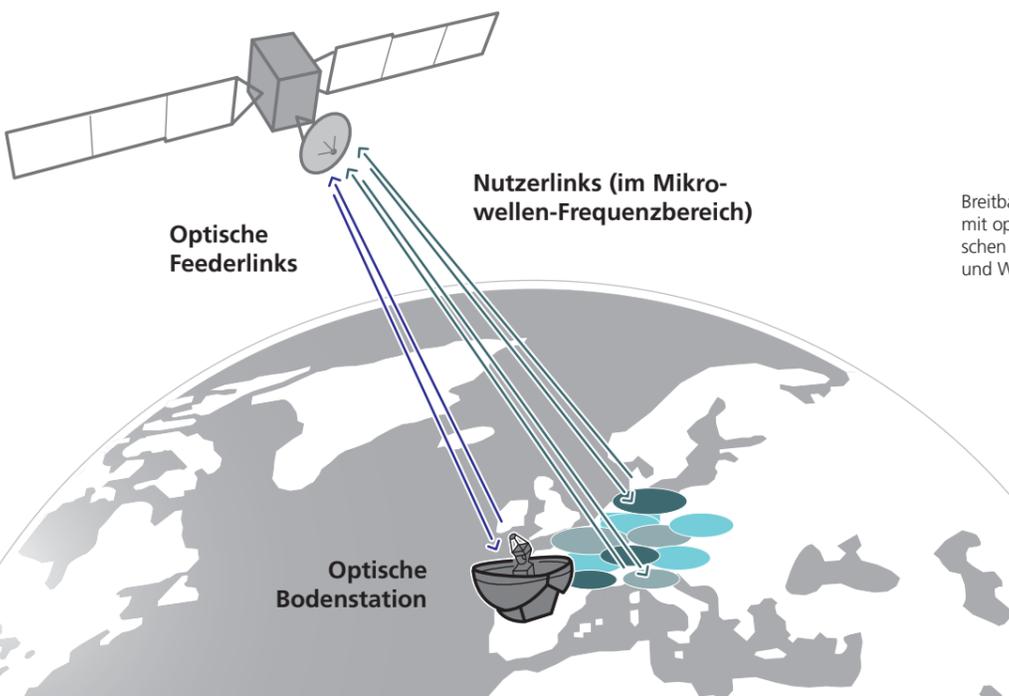
## Hohe Erwartungen an Raumfahrttechnologien

Kommunikationssatelliten wurden bislang überwiegend für Fernseh- und Rundfunkübertragung, für schmalbandige Mobilfunkdienste in abgelegenen Gebieten sowie für Kommunikationsdienste im maritimen Bereich verwendet. Der breitbandige Internetzugang über Satellit war lange Zeit ein Nischenmarkt (insbesondere in Europa) mit eigenständigen Lösungen verschiedener Satellitenbetreiber, die nicht in 3G- und 4G-Mobilfunknetze integriert wurden. Diese Situation soll sich verändern, getrieben hauptsächlich von zwei Faktoren: Zum einen ermöglicht die Einbeziehung von nicht terrestrischen Netzen als Bestandteil von 5G die vollständige Integration der Satellitenkommunikation in das Mobilfunknetz der nächsten Generation. Zum anderen entsteht derzeit mit dem sogenannten New Space ein völlig neuer Wirtschaftssektor für die Raumfahrt. Eine Vielzahl junger und privatwirtschaftlich organisierter Raumfahrtunternehmen, die unabhängig von Regierungen und traditionellen Großunternehmen arbeiten, will einen schnelleren, besseren und billigeren Zugang zu Welt- und Raumfahrttechnologien entwickeln und damit bereits bestehenden Geschäftsmodellen größere Reichweiten geben. Obwohl nicht alle angekündigten New-Space-Initiativen umgesetzt werden dürften, wird dieser Trend absehbar das Angebot an Konnektivität über Satellit deutlich erhöhen und zu erheblichen Preissenkungen führen. Damit fällt eines der Hindernisse, die der Nutzung von Satellitenkommunikation für Breitbanddienste im Wege stehen.

## Datenraten im Terabit-Bereich

Mit Blick auf diese Zukunftsaussichten hat das DLR sein Querschnittsprojekt Global Connectivity via Satellite gestartet. Darin untersuchen die Institute für Kommunikation und Navigation, für Physik der Atmosphäre und für Flugsystemtechnik Schlüsseltechnologien für sogenannte Very High Throughput Satellites (VHTS). Diese nächste Generation von Satelliten ermöglicht einen Durchsatz in der Größenordnung von Terabit pro Sekunde. Das reicht aus, um circa 62.500 Videostreams mit 4k-Auflösung gleichzeitig zu übertragen. Ein wesentlicher technologischer Baustein, damit Kommunikationssatelliten der ständig steigenden Anforderung an hohe Datenraten gerecht werden und mit den entsprechenden Steigerungen der Datenraten in Mobilfunksystemen Schritt halten, sind leistungsfähige Feederlinks (Funkverbindung von einer Bodenstation zu einem Satellit und umgekehrt) zur Anbindung der Satelliten an terrestrische Netze.

## Geostationärer Kommunikationssatellit



Breitbandversorgung über GEO-Satellit mit optischen Feederlinks, also einer optischen Freiraumverbindung zwischen Erde und Weltraum

Es ist vorstellbar, dass für 5G nicht terrestrische Netze von Satelliten auf verschiedenen Umlaufbahnen gebildet werden: Satelliten in niedrigen Orbits (LEO, Low Earth Orbit) sind die bevorzugten Kandidaten für Anwendungen wie Sprachdienste oder Onlinespiele. Geostationäre Satelliten (GEO, Geostationary Earth Orbit) sind prädestiniert für Anwendungen, bei denen eine hohe Datenrate der Haupttreiber ist, beispielsweise Streaming oder Video-Upload. Im Unterschied zu den LEO-Satelliten erfordern GEO-Satelliten keine nachzuführenden Antennen am Boden. Denn ein GEO-Satellit dreht sich mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit wie die Erde, er wird von der Erde aus daher immer in einer festen Position gesehen. LEO- oder MEO-Satelliten (Medium Earth Orbit) erfordern stattdessen Bodenantennen mit der Fähigkeit, die Satellitenbewegung zu verfolgen, wenn hohe Datenraten erreicht werden sollen.

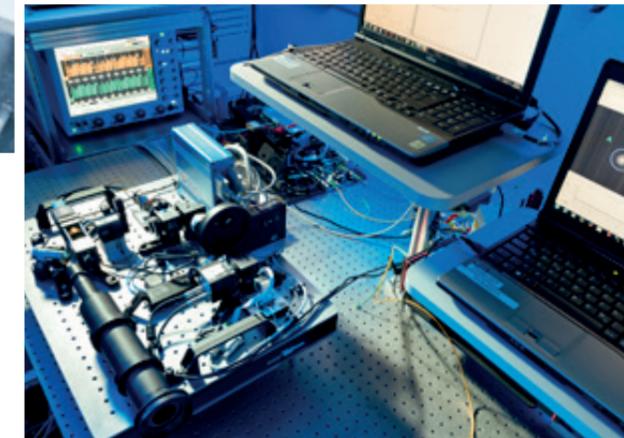
## Vorzüge der Lasertechnologie

Das DLR-Querschnittsprojekt untersucht die Verwendung von optischen Feederlinks. Heutige Hochleistungssatelliten wie Eutelsat KA-SAT oder ViaSat-1 haben einen Durchsatz im Bereich von 100 bis 150 Gigabit pro Sekunde. Allerdings ist die derzeitige Satellitensystem-Architektur nicht beliebig skalierbar und die aktuelle Generation von Hochdurchsatz-Satelliten stößt bereits an ihre Grenzen: Um einen Durchsatz im Bereich Terabit pro Sekunde anbieten zu können, benötigen solche Satelliten aufgrund der begrenzten Spektrumverfügbarkeit im Mikrowellen-Frequenzbereich zu viele Bodenstationen.

Optische Kommunikationstechnologien hingegen können Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit viel geringerer Leistungsaufnahme bereitstellen. Sie eignen sich daher besonders für den Einsatz bei Feederlinks. Darüber hinaus ist die verfügbare Bandbreite nahezu unbegrenzt und unterliegt keinen lizenzrechtlichen oder frequenzrechtlichen Hürden. Dies macht die Lasertechnologie zu einem idealen Kandidaten, um mikrowellenbasierte Technologien in den Feederlinks zu ersetzen. Da ein einzelnes optisches Link eine ausreichend hohe Datenrate bieten kann, um den gesamten Satellitendurchsatz zu unterstützen, würde eine einzige optische Bodenstation ausreichen – vorausgesetzt, sie ist für den Satelliten sichtbar. Die Anzahl notwendiger Bodenstationen würde sich dann lediglich an Statistiken zur Wolkenabdeckung orientieren, denn mindestens eine Bodenstation des Netzes braucht klaren Himmel. Simulationsergebnisse zeigen, dass etwa zehn optische Bodenstationen eine Verfügbarkeit von 99,9 bis 99,99 Prozent erfüllen können. Das ist der Bereich, der für kommerzielle Satellitenkommunikationssysteme erforderlich ist.



Satellitenterminal am oberbayerischen Hohenpeißenberg nahe Weilheim. DLR-Wissenschaftler Dr. Juraj Poliak bereitet das nächste Kommunikationsexperiment vor.



Die Lasertechnologie wird bereits heute im European Data Relay System (EDRS) erfolgreich eingesetzt, um die von LEO-Satelliten gesammelten Erdbeobachtungsdaten an einen GEO-Relaisatellit und von diesem auf die Erde weiterzuleiten. Der Einsatz in direkten Verbindungen zwischen Weltraum und Erde und umgekehrt birgt jedoch immer noch eine Reihe technischer Herausforderungen in sich, die hauptsächlich durch die Signalausbreitung in der Atmosphäre bedingt sind: Zusätzlich zum Wolkeneffekt verursachen atmosphärische Turbulenzen starke Signalverzerrungen. Diese führen selbst bei klarem Himmel zu deutlichen Schwankungen der Empfangsleistung. Dieser Effekt muss durch Gegenmaßnahmen wie Signalverzerrung in Kombination mit Adaptive Optics (AO), einer aus der Astronomie übernommenen Technik zur Korrektur von Wellenfrontverzerrungen, gemildert werden. Der Uplink von der Bodenstation zum Satelliten ist besonders schwierig zu bewerkstelligen, da die Größe des Teleskops auf dem Satelliten begrenzt ist. Eine höhere Empfangsleistung kann also nicht durch die Nutzung eines größeren Teleskops erreicht werden.

## Unternehmen sind mit im Boot

Das DLR-Team kann im Querschnittsprojekt Global Connectivity via Satellite auf Ergebnisse aus Vorläuferprojekten zurückgreifen. So war beispielsweise im Projekt THRUST (Terabit-Throughput Satellite System

Technology) bereits 2017 eine stabile optische Verbindung mit 13,16 Terabits pro Sekunde zwischen dem DLR-Standort in Weilheim und einem virtuellen Satellitenterminal in Hohenpeißenberg hergestellt worden. Die 10,5 Kilometer lange Teststrecke weist Ausbreitungseigenschaften auf, die mit einem Satellitenuplink bei niedrigem Elevationswinkel vergleichbar sind. Dieses experimentelle Testbed wird im Rahmen des Querschnittsprojekts nun weiterentwickelt, unter anderem durch neue Modulations- und Empfangsverfahren. Das soll die Verbindung stabil und somit zuverlässig machen.

Darüber hinaus arbeiten die DLR-Wissenschaftler mit der Industrie zusammen. Beispielsweise entwickeln sie gemeinsam eine geeignete Satellitennutzlast, die das optische Signal in ein elektrisches umwandelt und umgekehrt, unter Einhaltung angemessener Anforderungen an Leistung, Masse und Volumen. Hier sind Firmen wie Tesat Spacecom, ein führender deutscher Hersteller von Lasertechnologien, ADVA Optical Networking, ein Anbieter von Telekommunikationsausrüstung insbesondere für glasfaserbasierte Übertragungstechnik, und Airbus Defence & Space, einer der größten europäischen Satellitenhersteller, Partner des DLR. Gemeinsam verfolgen sie das Ziel, den Breitbandzugang über GEO-Satelliten mit optischen Feederlinks im Rahmen einer Raumflugmission zu demonstrieren und damit den Weg für einen technologischen Durchbruch beim Bereitstellen von Breitbandkonnektivität über Satellit zu ebnen. Dies wäre ein wesentlicher Baustein, um künftig allen Bürgerinnen und Bürgern einen flächendeckenden und jederzeit verfügbaren Breitband-Internetzugang anbieten zu können.

Dr. Sandro Scalise leitet die Abteilung Satellitennetze im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation.



# KREATIVER SCHUB FÜR ZUKÜNFTIGES FLIEGEN

Elektromobilität am Himmel braucht ganzheitliches Denken  
Eine Betrachtung von Jana Hoidis

**D**er globalen Mobilität steht das immer stärker drängende Bedürfnis der Gesellschaft gegenüber, die Auswirkungen des Luftverkehrs auf die Umwelt deutlich zu reduzieren und in Einklang mit den Pariser Klimazielen zu bringen. Gegenwärtig ist der Luftverkehr für 2,8 Prozent aller Kohlendioxid-Emissionen weltweit verantwortlich. Das DLR führt eine Konzeptstudie durch, um bis 2040 ein ökologisch effizientes Flugzeug auf der Mittelstrecke in den Verkehrsflug zu bringen.

Fliegen, ohne das Klima zu beeinflussen, dabei noch wirtschaftlich im Betrieb und in der Produktion zu sein – der Anspruch an das Flugzeug der Zukunft ist hoch. Und widersprüchlich. „Das DLR verfügt über alle Kompetenzen, die nötig sind, um zu eruieren, welche Flugzeuge für welchen Einsatz mit welchen Antrieben und in welchen Flughöhen am umweltschonendsten zu betreiben sind“, sagt Dr. Johannes Hartmann, Leiter des im Januar 2020 gestarteten Projekts EXACT (Exploration of Electric Aircraft Concepts and Technologies). 20 DLR-Institute aus den Bereichen Luftfahrt, Energie und Atmosphärenforschung bringen sich mit ihren Kompetenzen in die Studie ein. Die Planung der Produktion, des Betriebs und der Wartung fließt von Anfang an in das Flugzeugdesign ein. In der Vergangenheit wurden Flugzeuge primär kostengetrieben entwickelt und ihre Klimawirkung wurde erst im Nachgang analysiert. „Wir drehen diesen Prozess somit erstmals um“, erklärt Projektleiter Hartmann, „das ist revolutionär“.

## Dr. Johannes Hartmann

studierte Luft- und Raumfahrttechnik an der Technischen Universität Berlin. Nach einigen Jahren Forschungs- und Entwicklungsarbeit bei Airbus im Bereich der virtuellen Produktentwicklung wechselte er 2018 an das DLR-Institut für Systemarchitekturen der Luftfahrt in Hamburg. Hier beschäftigt er sich mit dem Design und der Entwicklung von Systemarchitekturen für das hybrid-elektrische Fliegen. Johannes Hartmann ist Gesamtprojektleiter der vorgestellten Studie und koordiniert die Arbeiten an den beteiligten DLR-Standorten deutschlandweit. Er ist verheiratet und Vater von drei Kindern, die seine Leidenschaft für Luftfahrzeuge teilen. In seiner Freizeit lässt er gerne mit ihnen zusammen das ein oder andere Modellflugzeug steigen.



© DLR

## Der Weg zum klimaneutralen Flugzeug

Herkömmliche Triebwerke werden permanent weiterentwickelt und sind dadurch schon wesentlich energieeffizienter als noch vor wenigen Jahren. Durch Leichtbauwerkstoffe, optimierte Aerodynamik und bessere Antriebe sind jedoch die Möglichkeiten, ihren Kohlendioxid-Ausstoß noch weiter zu verringern, nahezu ausgereizt. Ein völlig neuer Ansatz muss also her. Elektrische, hybrid-elektrische oder auf Wasserstoff basierende Antriebskonzepte, wie Batterien, Wasserstoff-Brennstoffzellen oder synthetische Kraftstoffe, könnten helfen, klimaschonend und im Betrieb wirtschaftlich zu fliegen. Bis 2040, so das Ziel der DLR-Forscherinnen und -Forscher, soll ein solches Flugzeug mit mindestens 70 Sitzen für eine Strecke von bis zu 2.000 Kilometern einsatzfähig sein.

Kleine Flugzeuge fliegen bereits heute auf kurzen Strecken mit unterschiedlichen Technologien nahezu ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im September 2016 startete am Flughafen Stuttgart das weltweit erste viersitzige Passagierflugzeug, das allein mit einem Wasserstoffbrennstoffzellen-Batterien-System fliegt. Entwickelt wurde die Hy4 von dem Unternehmen H2fly, einer Ausgründung des DLR, in Zusammenarbeit mit dem slowenischen Flugzeughersteller Pipistrel. Das im Jahr 2016 erste offiziell zugelassene und zertifizierte Motorflugzeug mit reinem Elektroantrieb war das zweisitzige Kunstflugzeug des Typs Extra 330LE der Firma Siemens.

Flugzeuge mit bis zu 19 Sitzplätzen machen allerdings weniger als ein Prozent der durch die Luftfahrt erzeugten Emissionen aus. „Wir möchten maximal kreativ und radikal an die Entwicklung herangehen, deswegen schauen wir uns verschiedene Flugzeugkonfigurationen mit 19 bis 200 Sitzen an“, erklärt Projektleiter Hartmann. „Vielleicht können wir mit Hilfe von kleinen Flugzeugen zu bahnbrechenden Erkenntnissen gelangen, die sich auch auf größere übertragen lassen.“ Flugzeuge vom Format eines A320 verursachen circa 50 Prozent der Luftverkehrsemissionen. Damit wären auf der Mittelstrecke also erhebliche Einsparungen möglich. Doch nicht nur für das Fliegen an sich, auch für den Betrieb der Bordelektrik wird nach aktuellem Stand der Technik Kerosin in den Flugzeugturbinen verbrannt. Die elektrischen Systeme könnten sich vergleichsweise einfach mit Batterien versorgen lassen. Längere Flüge indessen dürften aus heutiger Sicht nur durch Verbrennung von Kraftstoffen zu bewerkstelligen sein. Power-to-Liquid heißt das Verfahren, mit dem sich Treibstoff aus erneuerbaren Energien herstellen lässt. Bei diesem Prozess wird der Atmosphäre Kohlendioxid entzogen. Mit Wasserstoff reagiert es zu einem Gemisch aus Kohlenwasserstoffen, woraus dann Benzin, Diesel oder Kerosin gewonnen werden kann. Bei

der späteren Verbrennung gelangt nur so viel Kohlendioxid in die Atmosphäre, wie zuvor entnommen wurde: ein Nullsummenspiel also?

## Ökologisch und wirtschaftlich zugleich

Emissionseinsparungen wären schon möglich, wenn herkömmlichem Kerosin synthetische Kraftstoffe beigemischt würden. Diese sind allerdings bisher nur in geringen Mengen verfügbar und unverhältnismäßig teuer. Bei einem Anteil von zehn Prozent Power-to-Liquid-Kraftstoffen würden sich die Betriebskosten einer Airline mit Hauptflugbetrieb in Deutschland um elf Prozent verteuern. Damit Fliegen, ohne das Klima zu beeinflussen, nicht nur ein Traum bleibt, muss ein Flugzeug auch wirtschaftlich zu betreiben sein.

Da Wasserstoff als Ausgangsstoff für synthetische Kraftstoffe sowieso nötig ist, sollen im Projekt EXACT auch Antriebe untersucht werden, die den Wasserstoff direkt verbrennen. Power-to-Liquid-Kraftstoffe sind an sich betrachtet in ihrer CO<sub>2</sub>-bedingten Klimawirkung neutral, allerdings werden auch für ihre Herstellung sowie für den



Im Labor des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik in Hamburg werden Brennstoffzellen für die Luftfahrt erforscht

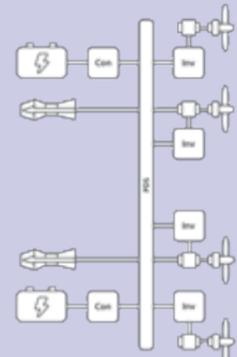
Transport fossile Energieträger verbraucht. Wasserstoff direkt als Kraftstoff zu nutzen, könnte diesen Zyklus abkürzen und zudem Kosten sparen. Der Haken an der Sache: Wasserstoff ist zwar sehr leicht, hat aber ein so großes Volumen, dass ein Flugzeug neu designt werden müsste.

Die Flugzeughersteller nutzen aus wirtschaftlichen Gründen gerne das Prinzip der Kommunalität: Diverse Komponenten können in allen Flugzeugen der gleichen Typenfamilie verbaut werden. Airbus opti-

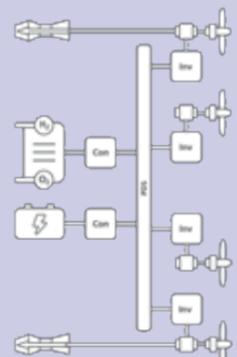
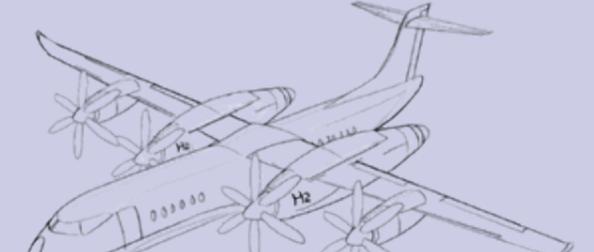
miert so seit jeher seine Produktion. So haben die Flugzeuge A319, A320 und A321 alle das gleiche Seitenleitwerk, obwohl ihre Rumpflängen unterschiedlich sind. Hybrid-elektrische Antriebssysteme unterscheiden sich völlig von denen konventioneller Antriebe und werden andere Anforderungen an die Flugzeugstruktur stellen. Die Frage ist also: Wenn ein Kurzstreckenflugzeug hybrid-elektrisch angetrieben wird, wie muss dann das dazugehörige Mittelstreckenflugzeug aussehen, damit die Produktion noch wirtschaftlich ist?

## ZU UNTERSUCHENDE KONFIGURATIONEN

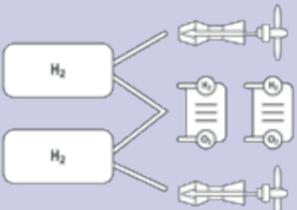
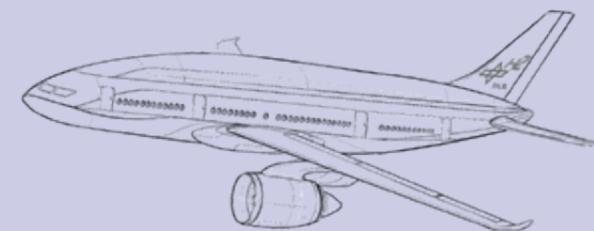
Antriebsarchitektur kombiniert mit Flugzeugkonzept:




Für kleinere, 19-sitzige Flugzeuge, die Strecken bis zu 200 Kilometer zurücklegen, wäre ein vollständig batteriebetriebener Antrieb denkbar. Kraftstoff würde nur als Reserve für den Notfall mitgenommen oder wenn das Flugzeug ausnahmsweise eine längere Strecke fliegt.

Kurzstreckenflugzeuge mittlerer Größe für Strecken bis zu 2.000 Kilometer könnten durch eine geschickte Kombination verschiedener Antriebe CO<sub>2</sub>-Emissionen sparen. Wasserstoff-Brennstoffzellen treiben das Flugzeug während des Reiseflugs und beim Rollen am Boden an. Batterien versorgen die Elektrik an Bord. Bei Start und Landung sorgen Wasserstoff-Gasturbinen für den nötigen Schub.

Flugzeuge auf der Mittelstrecke mit einer Passagierkapazität ab 150 Reisenden, die weiter als 2.000 Kilometer fliegen, benötigen eine höhere Antriebskraft. Gasturbinen, die synthetische Kraftstoffe verbrennen, ermöglichen einen schnellen Reiseflug. Brennstoffzellen werden für den Rollverkehr am Boden genutzt. Beide Systeme parallel eingesetzt erzeugen maximale Energie für den Start.

 Brennstoffzelle  Batterie  Gasturbine | **Con:** Konverter (Umsetzer) **Inv:** Inverter (Wechselrichter) **PDS:** Leistungsverteilungssystem



Projektbesprechung im DLR-Hamburg: Berit Gerlinger, Dr. Kai Wicke, Dr. Johannes Hartmann und Giuseppa Donelli (von links) suchen gemeinsam nach visionären Flugzeugkonfigurationen



### Ein ganz neues Luftfahrtssystem

Als Stellschraube, an der sich im Sinne ökologisch verträglichen Fliegens relativ einfach drehen ließe, käme die Flugzeugflotte infrage. Heute schaffen die Airlines gerne ein „Universalflugzeug“ an, das sie sowohl auf Kurz- als auch auf Mittelstreckenflügen einsetzen können. Piloten, Flugbegleiter und das Wartungspersonal brauchen nur in die Handhabung eines einzigen Typs eingearbeitet zu werden. Das ist praktisch, spart Zeit und Geld, ist ökologisch gesehen allerdings nicht optimal. Hier gibt es enormes Einsparpotenzial. Hartmann sieht hierfür die Lösung in einem angepassten Flottenkonzept: „Abhängig von der Strecke könnten auf kürzeren Flügen Maschinen mit klimaschonenderen Antrieben zum Einsatz kommen.“

Dr. Kai Wicke, der die betriebliche und ökologische Integration der neuen Flugzeugkonfigurationen im Projekt EXACT erforscht, betrachtet auch die Auswirkungen auf das gesamte Luftfahrtssystem: „Ob ein neuartiges Flugzeug mit Wasserstoff, Brennstoffzelle oder Batterie angetrieben wird – spannend wird es, zu klären, welche Auswirkungen dies auf das gesamte Öko- und Luftfahrtssystem hätte, also auf Flughäfen, Airlines sowie auf die Flugsicherung und die Atmosphäre.“ Ein neuartiges Flugzeug wird dieses System beeinflussen und umgekehrt. Würde ein Flugzeug mit Wasserstoff betankt, wären dafür spezielle Zapfsäulen nötig. Wie würden sich Kondensstreifen in der Atmosphäre auswirken, die durch die direkte Verbrennung von Wasserstoff entstehen? Würden diese dann zu verstärkter Wolkenbildung führen und so das Klima wiederum beeinflussen? Batterien müssten geladen und gelagert werden. Und wie sieht überhaupt unser Energiesystem in einigen Jahren aus, wenn Kohlekraftwerke abgeschaltet sind? Können erneuerbare Energien kontinuierlich die erforderliche Strommenge bereitstellen? Wie werden sich die Energiepreise entwickeln? Wie können genügend Batterien produziert werden? Kann man sie am Ende ihres Lebenszyklus wieder recyceln?

All diese Fragen gilt es in den nächsten vier Jahren zu beantworten. Bis dahin soll ein erstes Konzept stehen. Die Flugzeugingenieure, Atmosphärenforscher und Elektrotechniker aus den verschiedenen DLR-Instituten arbeiten gemeinsam daran, valide Modelle aufzustellen und möglichst viele Antworten zu finden. Hartmann blickt enthusiastisch in die Zukunft: „Das DLR kann im Projekt EXACT seine einzigartige Expertise unter Beweis stellen.“

Jana Hoidis ist im DLR mit der Kommunikation für die Standorte Nord (Hamburg, Bremen, Bremerhaven und Oldenburg) betraut.

### AM PROJEKT EXACT BETEILIGTE INSTITUTE:

- Institut für Aeroelastik
- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Antriebstechnik
- Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
- Institut für Flugsystemtechnik
- Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin
- Institut für Instandhaltung und Modifikation
- Institut für Physik der Atmosphäre
- Institut für Softwaretechnologie
- Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt
- Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung
- Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Vernetzte Energiesysteme
- Institut für Verbrennungstechnik
- Institut für Werkstoff-Forschung
- Lufttransportsysteme
- Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie

# ARCHITEKTEN EINER NEUEN LUFTFAHRT

Wie unbemannte Flugsysteme Einzug halten, wo sie von Nutzen sind und woran für ihren Einsatz noch zu arbeiten ist

Dr. Christian Eschmann gibt Auskunft

**S**ie sind immer häufiger am Himmel zu sehen. Ob im Transportsektor, im Hobbybereich oder in der Katastrophenhilfe – unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS) prägen zunehmend das Bild des Luftraums. Und sie sind Gegenstand der öffentlichen Debatte. Welchen Einfluss die Technologie auf den zukünftigen Luftverkehr haben wird, hängt ab von den Leistungen in Forschung und Entwicklung und Entscheidungen der Politik, aber auch von der Akzeptanz durch die Bevölkerung. Welche Hürden es für den Einsatz von unbemannten Luftfahrtsystemen noch zu überwinden gilt und wann beispielsweise Lufttaxis wirklich durchstarten, hat das DLRmagazin Dr. Christian Eschmann gefragt, den DLR-Koordinator für den Bereich unbemanntes Fliegen.

## Dr. Christian Eschmann

koordiniert den Bereich „Unbemanntes Fliegen“ im DLR. Damit ist er die erste Anlaufstelle für Ministerien und Behörden, Forschungseinrichtungen sowie die Industrie. Er vertritt das Themenfeld sowohl DLR-intern als auch gegenüber externen Kunden und Partnern auf nationaler und internationaler Ebene. Darüber hinaus ist er Liaison Officer bei der Europäischen Agentur für Flugsicherheit EASA und leitet im Rahmen der europäischen Forschungsinitiative EREA Future Sky das Thema „Urban Air Mobility“.

## Vor ein paar Monaten machte das baden-württembergische Privatunternehmen Volocopter mit dem ersten öffentlichen Flug eines unbemannten Flugtaxis in Europa Schlagzeilen. War das nur ein gelungener Marketing-Coup?

Unbemannte Luftfahrtsysteme erlangen im zivilen Bereich immer mehr Bedeutung. Dank technologischer Fortschritte entsteht hier gerade eine ganz neue Industrie. Besonders spannend ist zu beobachten, mit welcher Geschwindigkeit Innovationen realisiert werden – vor allem im Vergleich mit den Entwicklungszyklen in der klassischen Luftfahrtindustrie. Das Tempo ähnelt eher dem in IT-Unternehmen. Firmen wie Volocopter oder das süddeutsche Start-up Lilium, die gerade mit Prototypen und Machbarkeitsstudien einen ersten Schritt in Richtung Flugtaxis unternehmen, sind Teil dieser neuen Innovationslandschaft. Allerdings steht und fällt der Erfolg von Flugtaxis mit der Akzeptanz der Bevölkerung, sie muss also entsprechend eingebunden werden. Bei dem Volocopter-Flug standen sicherlich Marketingaspekte klar im Vordergrund, aber er diente auch als Test für die Stimmung in der Öffentlichkeit.

## Wozu werden unbemannte Luftfahrzeuge bereits heute eingesetzt?

Für Bild- und Videoaufnahmen, für Vermessungsaufgaben, aber auch für luftgestützte Inspektionen – also vor allem im kommerziellen Bereich. Doch auch nationale Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben – wie Polizei, Feuerwehr und Rettungsdienste – integrieren immer mehr UAS in ihre Standardprozesse. Auch Krankenhäuser haben den Nutzen für den Transport von Blutkonserven und Gewebe erkannt. Bei humanitären Einsätzen oder bei der Katastrophenhilfe sind es gerade die UAS, die schnell und flexibel notwendige Hilfsgüter und Unterstützungsleistungen liefern können. Dass das funktioniert, hat das DLR gemeinsam mit dem World Food Programme der Vereinten Nationen im Juli 2018 unter realistischen Einsatzbedingungen in der Dominikanischen Republik gezeigt.

## Wie geht es mit dem Einsatz unbemannter Flugsysteme weiter?

Diese Beispiele haben teilweise schon die Markt- beziehungsweise Einsatzreife erlangt. Das klare Sprungziel lautet jedoch „Urban Air



Mit dem unbemannten Hubschrauber superArtis erforscht das DLR Themen wie Flugzeug- und Umgebungserkennung, Flugbahnplanung und Flugsteuerung. Er wurde auch schon zur humanitären Hilfe oder bei Forschungsmissionen über dem Meer eingesetzt.

Mobility“ und das bedeutet die Einführung einer neuen Mobilitätsform. Ein unbemannter – in diesem Fall pilotenloser – Personentransport ermöglicht es, sowohl neue städtische Verkehrsträger einzuführen als auch regionale Randgebiete und strukturschwache Regionen besser anzubinden.

Die Bundesregierung hat mit Aachen, Hamburg, Ingolstadt, Münster und Nordhessen fünf Modellstädte beziehungsweise Modellregionen auserkoren: Diese betrachten sowohl Flugtaxis als auch jegliche andere Anwendungsformen von UAS. Dabei berücksichtigen sie vor allem die regionalen Besonderheiten hinsichtlich Eignung und Bedarf an unbemannten Flugsystemen.

## Wie weit ist der Weg noch bis zum Einsatz von Flugtaxis?

Selbstverständlich ist auch der Personentransport mit Flugtaxis als neue Mobilitätsform von großem Interesse für die Städte und Regionen. Damit diese aber eines Tages dort fliegen können, müssen neben der Entwicklung neuer Flugsysteme sowohl neue Infrastrukturen

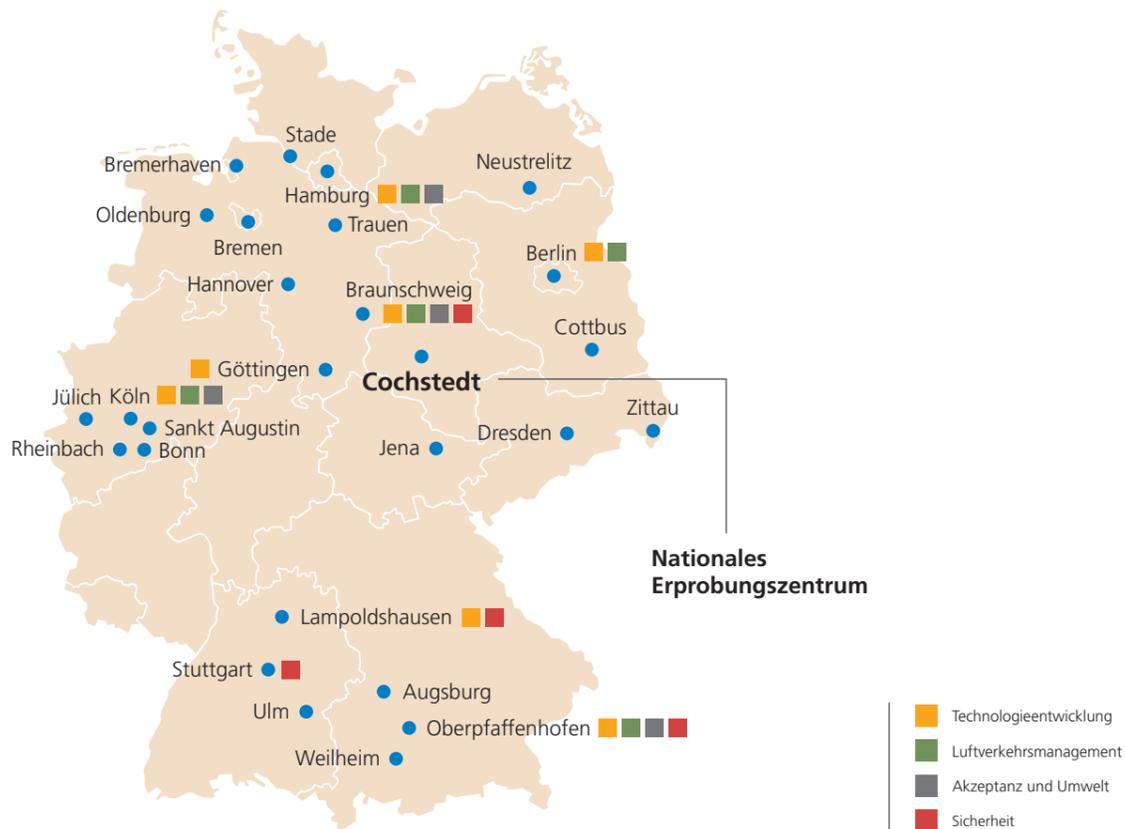
## „Der Erfolg von Flugtaxis steht und fällt mit der Akzeptanz durch die Bevölkerung“

als auch Verkehrs- und Dienstleistungsmodelle geschaffen werden. Das DLR untersucht übrigens auch, inwieweit UAS Akzeptanz finden. Solche Untersuchungen sind glücklicherweise für jegliche Zukunftskonzepte und Geschäftsmodelle von UAS-Mobilität mittlerweile fester Bestandteil der weltweiten Luftfahrtforschung.

## Sind in der Akzeptanz Trends zu erkennen?

Eine Akzeptanzstudie des DLR ergab, dass in Deutschland deutliche Zustimmung zum Einsatz ziviler UAS im Katastrophenschutz sowie im Rettungs- und Forschungseinsatz herrscht, während kommerzielle Flüge wie für Werbeaufnahmen, Freizeitaktivitäten und die Paketzustellung noch bei mindestens der Hälfte der repräsentativ Befragten kritisch gesehen werden.

## DLR-FORSCHUNG AN UNBEMANNTEN FLUGGERÄTEN



Bei der Thematik Flugtaxi kommen dann Bedenken hinsichtlich der Sicherheit sowie die Themen Lärm- und Lichtemissionen hinzu. Die Forschungsergebnisse des DLR finden zudem Berücksichtigung in zukünftigen gesetzlichen Rahmenbedingungen, die den Einsatz von UAS im Alltag regeln werden. Hier arbeitet das DLR eng mit der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) zusammen. Dort werden die

regulatorischen Grundsteine gelegt, die letztlich darüber entscheiden, wann Flugtaxi tatsächlich in Deutschland und Europa fliegen dürfen.

### Sprechen wir über die Erforschung und Erprobung der unbemannten Fluggeräte selbst. Welche Rolle nimmt das DLR dabei ein?

■ Hier muss ich ein wenig ausholen: Weltweit arbeitet eine Vielzahl von Firmen und Forschungseinrichtungen an der Thematik UAS – angefangen von miniaturisierten Multikoptern bis hin zu tonnenschweren Hubschraubersystemen. Gerade beim Thema Flugtaxi könnten jedoch die Konzepte und Designstudien unterschiedlicher nicht sein. Hier zeigen uns seit geraumer Zeit sowohl etablierte Luftfahrtkonzerne als auch junge Unternehmen, dass zumindest theoretisch alles denkbar ist: von klassischen Ansätzen bis hin zu

„Die Konzepte müssen hinsichtlich Tauglichkeit und Realisierbarkeit bewertet werden. Genau hier sieht das DLR seine Aufgabe.“

futuristischen Flugsystemen. Der nächste Schritt ist jedoch ungleich schwerer, denn die Konzepte müssen hinsichtlich ihrer Tauglichkeit und Realisierbarkeit bewertet werden. Genau hier sieht das DLR seine Aufgabe – es übernimmt so etwas wie eine Architektenrolle. Weitere Schwerpunkte liegen auf der Forschung an hochautomatisierten und selbstentscheidenden Systemen sowie an deren nahtloser Integration in den Luftraum.



Dr. Christian Eschmann weiß, dass vor dem Abheben neuer Flugtaxi die Mühen der Ebene liegen: der Weg vom Design bis zur Integration in den Luftraum



## DAS NATIONALE ERPROBUNGSZENTRUM DES DLR IN COCHSTEDT

Unbemannte Flugsysteme in einem wirtschaftlichen Maßstab zu entwickeln sowie in einem gemeinsamen Luftraum mit bemannten Luftfahrzeugen zu betreiben stellt derzeit sowohl Forscher und Hersteller als auch Anwender und den Gesetzgeber vor ungekannte Herausforderungen. Neben den technischen Aspekten müssen auch juristische und verfahrenstechnische Fragestellungen untersucht und neu definiert werden. Mit dem Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt schafft das DLR ein einzigartiges Testzentrum, in dem die DLR-weiten, interdisziplinären Fähigkeiten und Kompetenzen im Bereich UAS gebündelt werden. Einerseits soll es als

Knotenpunkt eines nationalen Netzwerks fungieren, in dem alle zukünftigen Testfeldaktivitäten für Deutschland zusammenlaufen, andererseits soll es die Abstimmung mit den europäischen Partnern des DLR koordinieren, was die Erprobung von UAS-Systemen angeht. Darüber hinaus wird es Wirtschaft und Wissenschaft in technologischen Fragestellungen sowie in der Nachweisführung unterstützen und Politik und Behörden in Gesetzgebungs- und Regulierungsfragen beraten. Im Hinblick auf die Strukturförderung auf Länderebene fungiert das Nationale Erprobungszentrum zudem als Inkubator und Enabler für Start-ups sowie kleine und mittelständische Unternehmen.

### Seit 2018 baut das DLR auf dem Flughafengelände in Cochstedt in Sachsen-Anhalt das Nationale Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme auf – mit welcher Intention?

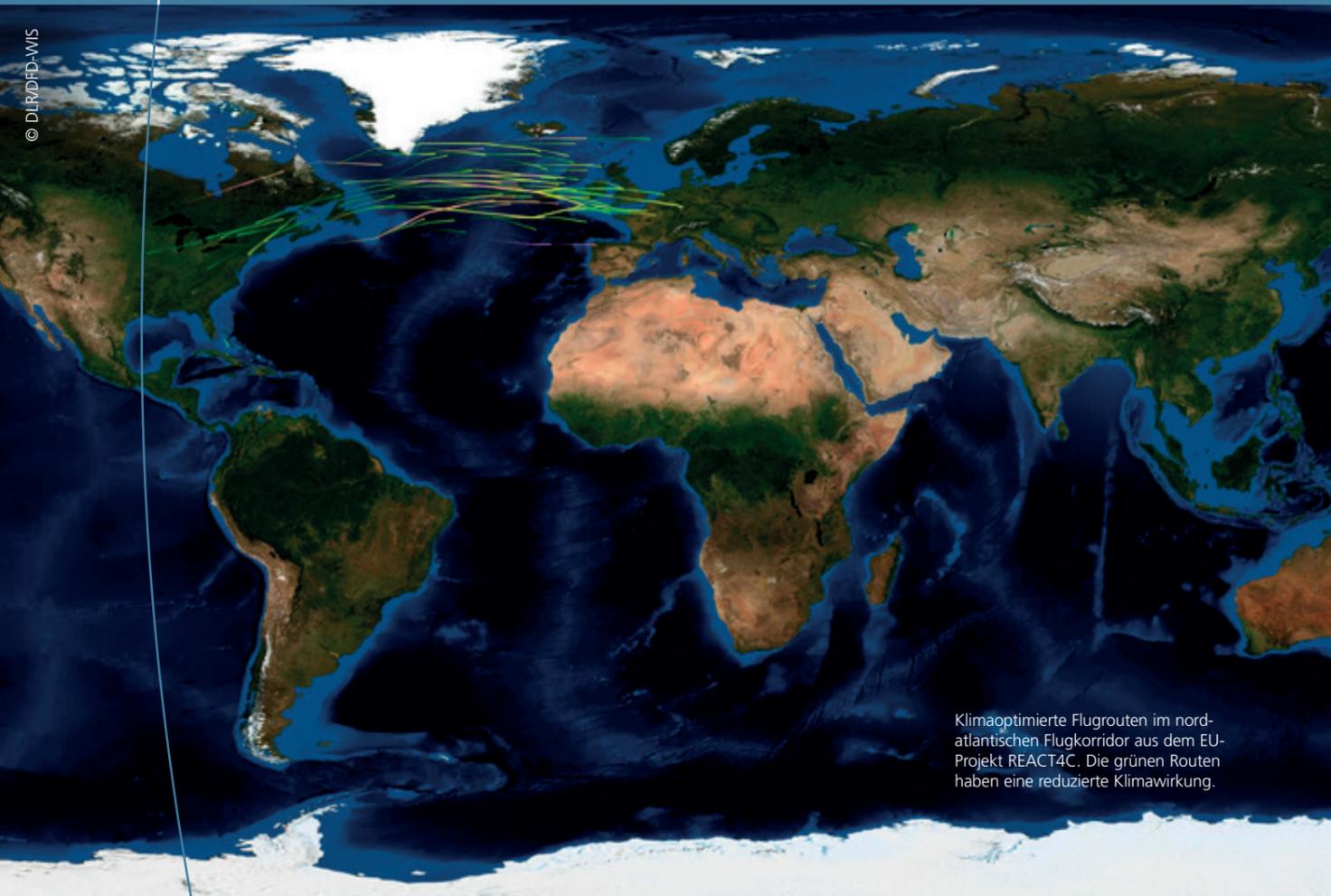
■ Bisher beschränkte sich die weltweite Erprobung von UAS auf eine überschaubare Anzahl von Tests. Aufgrund des rasanten Wachstums der gesamten Branche wird sich nun auch die Zahl der Systemerprobungen wesentlich erhöhen müssen. Dementsprechend müssen neue Testverfahren entwickelt werden. Mit dem Nationalen Erprobungszentrum in Cochstedt entsteht in Deutschland ein dafür einmaliges Gelände. Es erlaubt sowohl der Forschung als auch der Industrie, in einem speziell geschaffenen Umfeld UAS-Technologien umfassend und sicher zu untersuchen. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen,

dass solche komplexen Sachverhalte als Gesamtkonstrukt betrachtet werden müssen und nicht separat – etwa die Vehikel getrennt von der Flugführung und diese getrennt von gesetzlichen Regularien. Weder die Forschung noch der Gesetzgeber kann alle Fragestellungen allein untersuchen und lösen. Dementsprechend ist die Großforschung als Bindeglied sowohl in technischen als auch in regulatorischen Fragestellungen von wachsender Bedeutung. Das DLR sieht sich dabei in einer Doppelrolle: als Dienstleister und als Wegbereiter für eine neue nutzbringende Technologie.

# AUF DER RICHTIGEN SPUR

Welche Wege zu einem klimafreundlichen Luftverkehr führen, erzählt eine DLR-Atmosphärenforscherin im Interview

Von Bernadette Jung



Klimaaoptimierte Flugrouten im nordatlantischen Flugkorridor aus dem EU-Projekt REACT4C. Die grünen Routen haben eine reduzierte Klimawirkung.

**D**er globale Wandel verändert die Luftfahrt. Wie die Atmosphärenforschung dazu beitragen kann, den Luftverkehr in den kommenden 30 Jahren ökoeffizient zu gestalten und welche Herausforderungen dabei noch zu meistern sind, darüber spricht die Atmosphärenphysikerin Dr. Sigrun Matthes mit der DLR-Redakteurin Bernadette Jung.

## Dr. Sigrun Matthes

arbeitet am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen. Ihr besonderes Forschungsinteresse gilt der numerischen Modellierung der Klimawirkung des Luftverkehrs mit dem globalen Erdsystemmodell EMAC. Dabei geht es ihr speziell um die Quantifizierung des Klimaeffekts anthropogener Emissionen. Aktuell leitet sie interdisziplinäre Forschungsarbeiten in den Horizon-2020-Projekten ACACIA und ClimOP zur Klimawirkung des Luftverkehrs. Darüber hinaus ist Matthes Vorsitzende des europäischen Forschungsverbands und Exzellenznetzwerks ECATS (Environmentally Compatible Air Transport System), das Wege zu einem nachhaltigen Luftverkehr finden soll. Sie leitet dort die Arbeitsgruppe Aviation climate impact and mitigation options.



## Wenn der Luftverkehr in Zukunft wächst, nimmt auch der Ausstoß an Emissionen zu – wo setzen Sie in Ihrer Forschung an?

Der Luftverkehr, der aktuell noch auf fossile Energieträger setzt, trägt mit seinen Emissionen zum Klimawandel bei. Die Prozesse in der Atmosphäre, die diese Klimawirkung verursachen, sind äußerst komplex und teilweise sehr schwer messbar. Damit Flugzeuge möglichst klimaausgezeichnet fliegen können, muss die Forschung Informationen darüber bereitstellen, welchen Einfluss die einzelnen Emissionen haben und welche Wechselwirkungen mit der Atmosphäre entstehen. Wir setzen hier auf einen stark interdisziplinären Ansatz und ich arbeite aktuell dazu in verschiedenen nationalen und europäischen Forschungsprojekten. Das DLR hat unter anderem den Zuschlag für das Horizon-2020-Forschungsprojekt ACACIA (Advancing the Science for Aviation and Climate) bekommen. Dieses befasst sich mit der Wirkung von Luftverkehrsemissionen auf das Klima. Besonderes Augenmerk legen wir auf sogenannte Nicht-Kohlenstoffdioxideffekte. Sie sind noch nicht ausreichend bekannt und im Emissionshandel derzeit nicht berücksichtigt. Die Klimawirkung von Nicht-Kohlenstoffdioxideffekten ist komplexer und möglicherweise auch stärker als die von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Wir Atmosphärenforscher möchten dem nachgehen und die Unsicherheiten in den Abschätzungen verringern.

## Was weiß man über diese Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte?

Flugzeuge stoßen unterschiedliche Spurenstoffe aus, die jeweils einen Einfluss auf die Atmosphäre und damit auf die Strahlungsbilanz und das Klima haben. So greifen emittierte Stickoxide in die Luftchemie ein. Dabei entsteht Ozon, welches zu einer Erwärmung der Atmosphäre führt. Die von den Stickoxiden ausgelösten Prozesse bewirken aber auch einen Abbau des atmosphärischen Methans. Das hat einen abkühlenden Effekt. Weiterhin entstehen unter bestimmten atmosphärischen Bedingungen langlebige Kondensstreifen und Kondensstreifenzirren. Dies sind die einzigen Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte des Luftverkehrs, die am Himmel sichtbar sind. Sie können sich in der Atmosphäre über mehrere Stunden ausbreiten und haben, je nach Situation, einen kühlenden bis erwärmenden Strahlungseffekt. In der Summe über Tag und Nacht sowie über den gesamten Globus wirken sie erwärmend.

Eine bisher möglicherweise unterschätzte Wirkung geht von dem noch wenig erforschten „indirekten Aerosoleffekt“ aus. Er entsteht durch die Emission von Aerosolen bei der Verbrennung von Kerosin. Aerosole sind kleinste Partikel, die in der Luft schweben – insbesondere Rußpartikel und Sulfattröpfchen. Diese nehmen noch lange

nach der Emission und auch weit entfernt vom Flugpfad Einfluss auf die natürliche Wolkenbildung. Hierdurch verändern sich der Bedeckungsgrad und die Wolkeneigenschaften. Es ist prinzipiell möglich, dass solche Flugzeugaerosole eine Klimawirkung haben, die der des CO<sub>2</sub> ebenbürtig ist. Die Wirkungen dieser Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte sind aber derzeit noch nicht durch Messungen und Beobachtungen nachgewiesen und vorhandene Abschätzungen des indirekten Aerosoleffekts sind sehr unsicher. Das wollen wir ändern.

## Sie haben also die „Spur“ aufgenommen – wie geht es weiter?

Im Rahmen von ACACIA entwickeln wir eine Messstrategie, damit wir die Mechanismen und Prozesse des indirekten Aerosoleffekts identifizieren und die Stärke des Effekts abschätzen können. Dazu untersuchen wir zunächst, ob und in welcher Weise bereits vorhan-

„Die Klimawirkung von Nicht-Kohlendioxid-effekten ist komplexer und möglicherweise auch stärker als die von CO<sub>2</sub>“

dene Messdaten dafür herangezogen werden können. Das umfasst Daten von Langzeitmessungen auf Linienflugzeugen, von Beobachtungen aus Flugmesskampagnen, unter anderem mit unseren DLR-Forschungsflugzeugen, sowie Daten aus Satellitenmissionen. Weiterhin wird das ACACIA-Team untersuchen, wo noch Daten fehlen oder wo sie zu ungenau sind. Wir möchten diese Lücken schließen und die Prognosen der Klimamodelle weiter präzisieren.

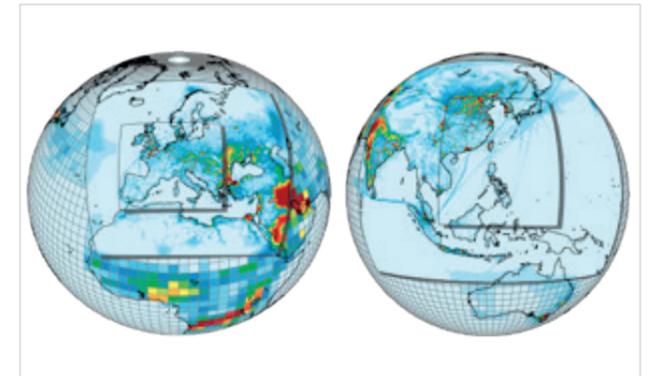
## Wie können diese Erkenntnisse zu einer klimafreundlicheren Luftfahrt beitragen?

Wir müssen genauer verstehen, wie die Atmosphäre auf die unterschiedlichen Emissionen des Luftverkehrs reagiert – dann lassen sich für den Luftverkehr auch nachhaltige Strategien und optimale Maßnahmen für den Klimaschutz entwickeln. In ACACIA haben wir die Wechselwirkungen der verschiedenen Effekte im Blick. So können wir sicherstellen, dass eine Maßnahme, die den Klimaeffekt einer Emissionsart verringern soll, einen anderen Effekt nicht unbeabsichtigt verstärkt. Ebenso ist das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre am europäischen Forschungsprojekt ClimOP (Climate assessment of innovative mitigation strategies towards Operational improvements in aviation) beteiligt, das Anfang des Jahres gestartet ist. Hier gehen wir der Frage nach, welche technologischen und operationellen Maßnahmen geeignet sind, um die Klimawirkung des

# MELDUNGEN

## EFFEKTE DES LUFTVERKEHRS IM MODELL

Die Wechselwirkungen im System Erde sind äußerst komplex. Dementsprechend schwierig ist es, den Einfluss des Luftverkehrs auf die Atmosphäre zu berechnen oder zu ermitteln, wie die Luftfahrt klimafreundlicher werden kann. Simulationsmodelle helfen dabei, diese Prozesse zu beschreiben und zu verstehen. Mit Hilfe des Klima-Chemie-Modells EMAC studieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre beispielsweise die Effekte von Flugzeugemissionen oder untersuchen die Reaktion des Klimas auf Störungen, die durch den Menschen verursacht werden. Darüber hinaus hilft EMAC dabei, Flugrouten interaktiv zu optimieren – sowohl unter Bedingungen des heutigen als auch des zukünftigen Klimas. Dies ist inzwischen auf regionaler wie globaler Skala möglich. Aktuell arbeitet das Team des DLR daran, die Effekte der Aerosolemissionen auf Wolken, hervorgerufen durch den Luftverkehr, zu erforschen und im Modell abzubilden. Das in strikt modularer Form konzipierte Modellsystem EMAC wird im Rahmen eines internationalen Konsortiums der Forschung zur Verfügung gestellt und von führenden Höchstleistungsrechenzentren in Deutschland unterstützt.



Mit dem Klimamodell EMAC können Prozesse in der Atmosphäre, deren Wechselwirkungen mit Ozeanen und Landoberflächen sowie anthropogene Einflüsse dargestellt werden

## AUF GRÜNEN WEGEN

Neue Strategien für umweltfreundliche Flugrouten sind Gegenstand des Projekts Greener Air Traffic Operations (GreAT), das vom DLR-Institut für Flugführung koordiniert wird und im Januar 2020 gestartet ist. Ein internationales Team aus Wissenschaftlern erarbeitet darin neue Methoden einer umweltfreundlicheren Flugverkehrslenkung. Dazu testet das Forscherteam neue Algorithmen und Konzepte, die die Flugführung im Hinblick auf Umweltfreundlichkeit im Streckenflug, im An- und Abflug von Flughäfen sowie im Rollverkehr am Boden verbessern sollen. Hochfrequente Luft- und Flughäfen sollen dabei weiterhin effizient genutzt werden können.

Mittels Schnellzeit- und Echtzeit-Simulationen können die Forscher auch bestimmen, wo die Grenzen der neuen Konzepte für die Einsparungen von Treibstoff und Emissionen liegen. In GreAT arbeiten europäische und chinesische Partner zusammen, darunter Flugsicherungsorganisationen, Luftfahrtforschungsinstitute, Universitäten und Lufttraumnutzer. Die Projektlaufzeit beträgt 3,5 Jahre.

## EIN GEMEINSAMER EUROPÄISCHER LUFTRAUM

Das Luftverkehrssystem in Europa befördert heutzutage über 1,6 Milliarden Passagiere mit jährlich rund zehn Millionen Flügen, Tendenz steigend. Ziel des Programms SESAR2020 ist es, neue Systeme zur Vereinheitlichung des europäischen Luftraums bis zur Marktreife zu entwickeln und dem wachsenden Luftverkehr so gerecht zu werden. Das DLR ist in SESAR an mehreren Projekten beteiligt. Unter anderem hat es eine Flugverkehrsmanagement-Lösung entwickelt, mit der Piloten über vorhergesagte Kondensstreifen informiert werden können. Aktuell entwickeln die Forscher ein Konzept, mit dem Flugrouten im Hinblick auf ihre Klimawirkung analysiert und entsprechend optimiert werden können. Hierfür arbeitet das DLR zusammen mit Industriepartnern daran, einen meteorologischen Dienst zur Verfügung zu stellen, der die Wirkung von Luftverkehrsemissionen auf das Klima quantifiziert.



In SESAR wird beispielsweise auch für Lotsen in der Remote-Tower-Anlage des DLR in Braunschweig an der Fernüberwachung von Flughäfen geforscht



Wie sich Kondensstreifen bilden und weiterentwickeln und wie Stickoxidemissionen wirken, wird unter anderem mit dem Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) untersucht

Luftverkehrs zu verringern. Dazu untersuchen wir bisher vorgeschlagene Maßnahmen und neue Ideen systematisch auf ihren Nutzen für das Klima und ihre Machbarkeit sowie die notwendigen Schritte, um erfolgversprechende Maßnahmen einzuführen.

### Was muss bei der Entwicklung solcher Maßnahmen beachtet werden?

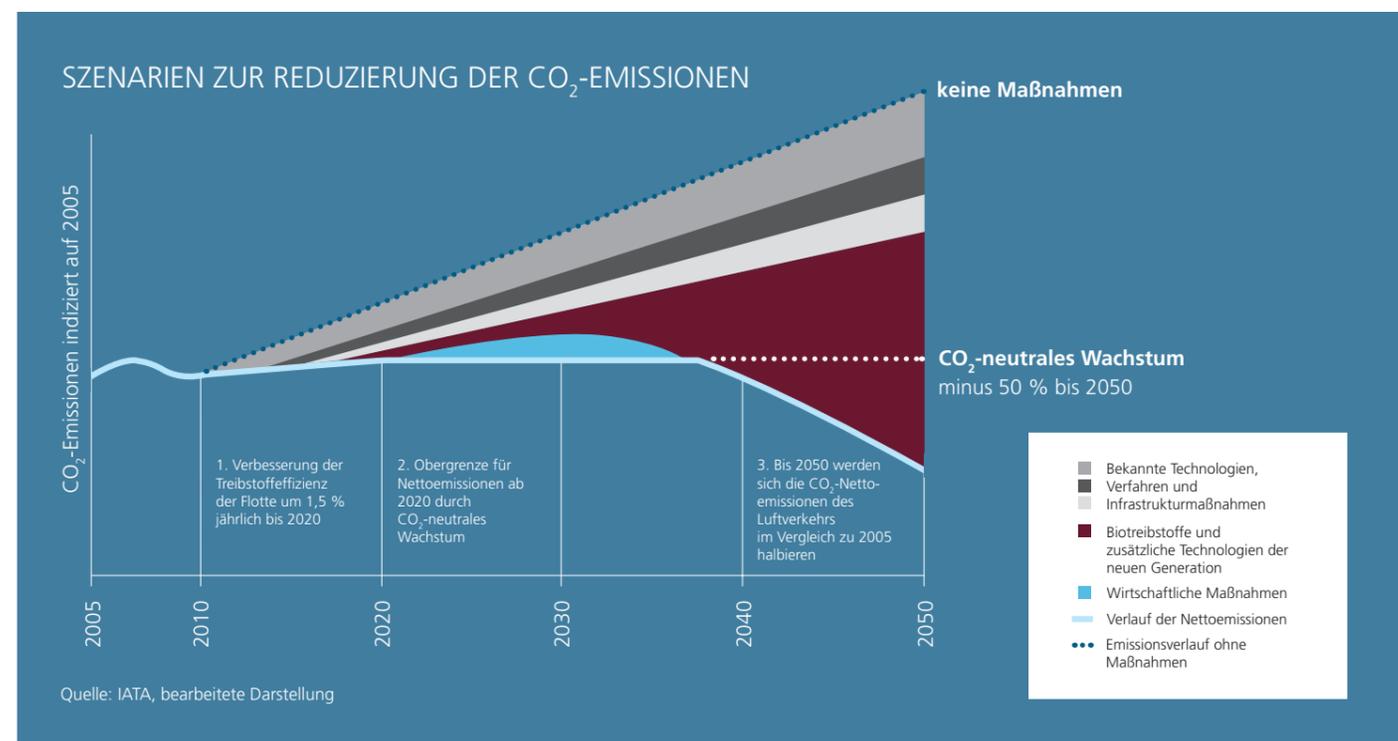
Sagen wir zum Beispiel, wir wollen die Bildung von Kondensstreifen vermeiden, weil diese im Mittel zu einer Erwärmung der Atmosphäre führen. Eine hohe Luftfeuchtigkeit fördert die Wolkenbildung und damit die Entstehung von Kondensstreifen. Es wäre aber nicht sinnvoll, deshalb nur noch Flugrouten durch trockenere und wärmere Regionen zu nutzen und dafür große Umwege und einen hohen Treibstoffverbrauch in Kauf zu nehmen. Doch auch bei Maßnahmen zur Senkung des Treibstoffverbrauchs muss man aufpassen: Erhöht man beispielsweise die Verbrennungstemperaturen im Triebwerk, steigt der Wirkungsgrad der Maschine und sie benötigt weniger Treibstoff. So weit, so gut. Gleichzeitig werden aber auch mehr Stickoxide produziert und entsprechend erhöhte Mengen davon in die Atmosphäre ausgestoßen. Das kann dann ebenfalls die gewünschte Wirkung verfehlen. Um die bestmöglichen Maßnahmen für den Klimaschutz zu entwickeln, müs-

sen wir die Szenarien in der Atmosphäre also einmal komplett „durchspielen“. Dazu benötigen wir möglichst detaillierte Kenntnisse der Atmosphärenprozesse.

### Ihr Forschungsthema macht an Grenzen nicht halt – wie wichtig ist das Thema Zusammenarbeit?

Um Wege für einen nachhaltigen Luftverkehr zu entwickeln, hat sich vor nun zehn Jahren rund um das DLR der europäische Forschungsverbund ECATS (Environmentally Compatible Air Transport System) formiert. Eine Arbeitsgruppe dort befasst sich mit dem Thema, wie der Luftverkehr auf das Klima wirkt und welche Minderungsstrategien es dazu gibt. Dank der komplementären Forschungsaktivitäten im Institut und in Kooperationen schaffen wir am DLR verstärkt Synergieeffekte. Während wir in ACACIA das Verständnis für die komplexen atmosphärischen Prozesse erweitern, können wir die Erkenntnisse gleichzeitig in Projekten wie ClimOP zur Entwicklung von Handlungsempfehlungen nutzen. Im Sinne des Klimaschutzes und für einen nachhaltigen Luftverkehr werden wir den Hinweisen und Rätseln in der Atmosphäre somit weiter mit gemeinsamen Anstrengungen nachgehen.

Bernadette Jung ist Redakteurin am DLR-Standort Oberpfaffenhofen.





## BEMANNT TRIFFT UNBEMANNT

Wie kann autonome Frachtzustellung künftig erfolgen? Fachleute des DLR-Bereichs Unbemannte Luftfahrtsysteme gehen dieser Frage nach – von der Konzeption bis zum Probetrieb. Das Einsatzspektrum reicht von der schnellen Belieferung von Industriestandorten bis zum Gütertransport für die humanitäre Hilfe. Das Bild zeigt links den fliegenden Hubschraubersimulator des DLR. Mit ihm testen Piloten neue Steuerungs- und Regelungssysteme. Der unbemannte Kleinhubschrauber rechts dient der Erprobung neuer Technologien für das unbemannte Fliegen, beispielsweise zur Kollisionsvermeidung oder lasergestützten Umgebungswahrnehmung.

Dieses und weitere Motive können in druckfähiger Auflösung heruntergeladen werden: [DLR.de/Poster](https://www.dlr.de/Poster)

Aus Reifen wie diesem von Bergbaufahrzeugen, so die Idee der Werkstoffforscherinnen, kann Ruß für die Verwendung in Lithium-Ionen-Batterien gewonnen werden

# DER ALTE REIFEN KANN NOCH WAS

## Neue Materialquelle für Energiespeicher

Von Dr. Marina Schwan und Somi Doja

**F**ünf Millionen Tonnen Reifenabfälle fallen schätzungsweise jedes Jahr allein in Nordamerika und Europa an. Sie werden auf Mülldeponien abgeladen oder für weitere Anwendungen recycelt. Auf Deponieräumen entstehende Brände oder chemische Auswaschungen in das Grundwasser stellen ein erhebliches Risiko für die menschliche Gesundheit und für die Umwelt dar. Das Recycling gebrauchter Reifen ist allerdings mit großen ökologischen und ökonomischen Herausforderungen verbunden.

Einer der Hauptbestandteile von Reifen ist mit einem knappen Drittel Ruß. Das macht Altreifen auch für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR und der University of British Columbia (UBC) interessant. Sie untersuchen, wie Ruß oder Aktivkohle aus ihnen gewonnen werden kann. Recycelte Aktivkohle lässt sich beispielsweise als Zusatz für Kunststoffe, Farbpigmente oder für Beschichtungen verwerten. Eine Anwendung, für die sich die Forscherinnen besonders interessieren, ist die Herstellung von Batterien. Vor dem Hintergrund künftiger Elektrofahrzeuge oder -flugzeuge steigt der Bedarf an leistungsfähigeren und kostengünstigeren Energiespeichertechnologien. Bei herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien verursachen die Elektrodenmaterialien einen Großteil der Kosten. Mit der Verwendung von Aktivkohle aus Altreifen gehen die Wissenschaftlerinnen zwei Probleme an: die Kosten und die Umweltauswirkungen.

### Batterie statt Deponie

Das Gemeinschaftsprojekt des DLR-Instituts für Werkstoff-Forschung und eines Teams der UBC hat das Ziel, etwa 80 Prozent des Rußes der Altreifen in Aktivkohle umzuwandeln und für Anodenmaterial von Lithium-Ionen-Batterien zu nutzen. Die Reifen, die die Forscher dafür nehmen, kommen aus dem Bergbau. Diese können einen Durchmesser von bis zu 2,5 Metern haben. Dementsprechend viel Ruß lässt sich aus ihnen gewinnen. Der Prozess ist auch auf andere Reifen übertragbar, muss allerdings für jeden Reifentyp speziell angepasst werden, da sich diese in ihrer chemischen Zusammensetzung unterscheiden.

Das Verfahren für die Rußextraktion wird aktuell an der UBC entwickelt. Die Werkstoffforscherinnen des DLR kombinieren die Aktivkohle aus den Altreifen mit Aerogelen, hochporösen und leichten Materialien. Diese Kombination nutzen sie, um die Anoden der Batterien herzustellen. Das hat entscheidende Vorteile: Die Dichte von Aerogelen ist zwischen 50 und 80 Prozent geringer als die der Aktivkohle, abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Aerogels. Dadurch werden die Batterien gegenüber Modellen mit reinen Aktivkohle-Anoden deutlich leichter. Durch den Anteil an recycelten Materialien sind sie zudem nachhaltig produzierbar.

### Neue Rezepturen für den Elektrodenmix

Erste Erfolge kann das Team bereits verbuchen: Es entwickelte mit recycelter Aktivkohle und Aerogelen leichte Lithium-Ionen-Halbzellen mit hoher Entladekapazität und konstanter Leistung. Aktuell entwi-



Somi Doja von der University of British Columbia (links) und Dr. Marina Schwan vom DLR beim gemeinsamen Experimentieren am Analysegerät des Instituts für Werkstoff-Forschung im DLR Köln

ckeln und testen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Rezepturen für die Kombination von Aktivkohle und Aerogelen. Darüber hinaus arbeitet das Team daran, die Batteriefertigung vom Labor- in den Industriemaßstab zu überführen. Dazu müssen gleich mehrere Kilogramm Elektrodenmaterial in gleicher Qualität hergestellt werden.

**Dr. Marina Schwan** arbeitet im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung, Abteilung Aerogele und Aerogelverbundwerkstoffe, in Köln. Sie ist zuständig für die Entwicklung neuartiger Aerogele für die Batterieforschung.

**Somi Doja** ist Doktorandin an der UBC in Kelowna. In ihrer Doktorarbeit entwickelt sie Verfahren für die Extraktion von Aktivkohle aus Altreifen und die Verwendung von Aktivkohle für Lithium-Ionen-Batterien.

# EIN TESTFELD FÜR ALLE FÄLLE

Niedersachsens Forschungsplattform analysiert automatisierte und vernetzte Fahrfunktionen

Von Eva-Maria Dobriloff

**W**eniger Staus, weniger Unfälle, weniger Emissionen: Die Erwartungen an das automatisierte Fahrzeug sind groß. Aber was braucht ein Auto, um eigenständig fahren zu können? Welchen Situationen muss es gewachsen sein? Auf dem Testfeld Niedersachsen des DLR wird dafür geforscht, dass entsprechende Technologien vom Rechner auf die Straße kommen. Das Sichtbarste sind die 71 Masten, die den Fahrbahnrand der A 39 bei Braunschweig säumen. Sie sind gespickt mit modernster Kommunikationstechnik, dank der hier bald erste automatisierte Fahrzeuge unterwegs sein könnten. Der größte Teil des insgesamt 280 Kilometer langen Testfelds ist allerdings weniger offensichtlich.

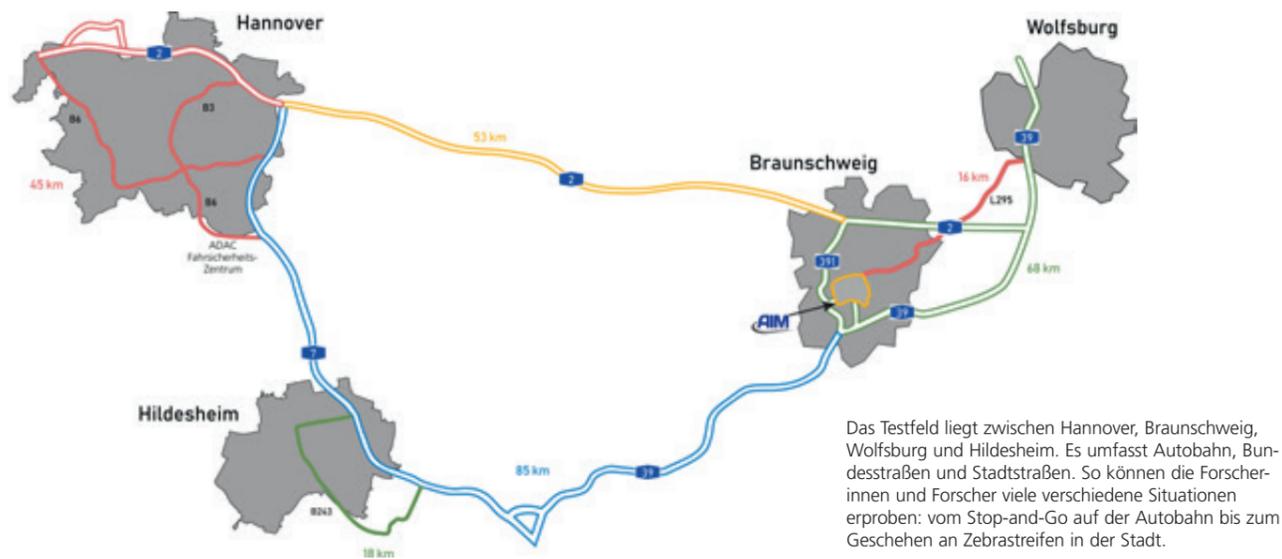
Am 8. Januar 2020 fiel der offizielle Startschuss für die Inbetriebnahme des Testfelds Niedersachsen. Direkt auf einer Brücke über der A 39 stellte der DLR-Vorstand für Energie und Verkehr, Prof. Karsten Lemmer, den niedersächsischen Ministern Bernd Althusmann und Björn Thümler die komplexe technische Infrastruktur des Testfelds vor. Es wird vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik betrieben und ist hier, zwischen Braunschweig und dem Kreuz Wolfsburg-Königsutter, besonders gut zu sehen. Auf einer Strecke von 7,5 Kilometern stehen 71 Masten, jeder acht Meter hoch. Deren Sensorköpfe sind mit Erfassungs- und Kommunikationstechnik ausgerüstet. Damit werden alle relevanten Daten zum Verkehr rund um die Uhr aufgezeichnet – unter Beachtung der hohen Anforderungen an den Datenschutz. Die Forscherinnen und Forscher erhalten so einen detaillierten Einblick in das Verhalten von Fahrzeugen und von sonstigen verkehrsrelevanten Objekten. Das Besondere daran ist, dass eine zusammenhängende Bewegungsbahn der Fahrzeuge von Anfang bis Ende des Erfassungsbereichs erzeugt werden kann. Das gibt Aufschluss darüber, was zukünftige Assistenz- und Automationssysteme leisten müssen und mit welchen normativen und nicht normativen Verhaltensweisen sie umzugehen haben.

Fahrzeuge, die untereinander vernetzt sind, können sich im Verkehr sicherer bewegen und Fahrer wie Fahrerin kommen entspannter ans Ziel. Kommunikationstechnik ermöglicht es, dass Fahrzeuge rechtzeitig vor Baustellen oder Glatteis gewarnt werden oder in „Einfädel“-Situationen effiziente Manöver abstimmen können. Auch das können die Entwickler im Testfeld Niedersachsen erproben. Mit V2X-Kommunikationseinheiten (V to X), die an den Masten auf der A 39 installiert sind, können Autos standardisierte Nachrichten austauschen, wie Überholmanöver oder Warnungen vor Gefahrensituationen. Ein weiterer Vorteil des Testfelds: Durch die Kombination von Erfassungs- und Kommunikationstechnik können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sogar simulieren, dass alle, die auf der A 39 fahren, miteinander kommunizieren, auch wenn zurzeit die wenigsten Fahrzeuge tatsächlich schon mit der entsprechenden Technik ausgestattet sind. So entstehen Zukunftsszenarien einer vernetzten Mobilität, an denen dann weiter geforscht werden kann.

## Mehr als nur Autobahn

Die auffällige Kamera- und Kommunikationstechnik auf der A 39 ist ein räumlich begrenzter Teil des Testfelds. Die gesamte Strecke beträgt über 280 Kilometer und umfasst Autobahnen, Bundes- und Landstraßen. Darin integriert sind auch die Strecken der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) im Stadtgebiet Braunschweig, die das DLR seit 2014 betreibt. Mobile Aufbauten, die mit der gleichen Erfassungs- und Kommunikationstechnik ausgerüstet sind wie die fest installierten Masten, können außerdem überall dort eingesetzt werden, wo keine feste Sensorik vorhanden ist. So werden auch Testgelände, Park- oder Gewerbeflächen für die Forschung nutzbar. Solche zusätzlichen Flächen und der Übergang zwischen verschiedenen Straßentypen sind interessant für die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen und kooperativer Funktionsverbünde.

Auf der A 39 wird der Verkehr rund um die Uhr aufgezeichnet – auch bei Nacht. Die hochauflösenden Stereo-Kamera-Systeme in acht Meter Höhe erfassen anonymisiert die vorbeifahrenden Fahrzeuge beider Fahrrichtungen.



Das Testfeld liegt zwischen Hannover, Braunschweig, Wolfsburg und Hildesheim. Es umfasst Autobahn, Bundesstraßen und Stadtstraßen. So können die Forscherinnen und Forscher viele verschiedene Situationen erproben: vom Stop-and-Go auf der Autobahn bis zum Geschehen an Zebrastreifen in der Stadt.



Vorsicht, Stau! Die Kommunikationstechnik warnt Fahrerinnen und Fahrer vor Staus und Unfällen – in Echtzeit



Die Erfassungs- und Kommunikationstechnik am Rand des Testfelds nimmt Geschwindigkeit, Position und Richtung der vorbeifahrenden Autos und Lkw auf und sendet diese Informationen an andere Fahrzeuge. So wird die Kommunikation zwischen Fahrzeugen simuliert.

Ein weiterer elementarer Bestandteil des Testfelds sind eine hochgenaue Karte und Simulationen: Vor der Markteinführung müssen automatisierte und vernetzte Fahrfunktionen eine Vielzahl von Tests durchlaufen. Das alles auf einer realen Straße durchzuführen, wäre viel zu aufwendig und kostspielig. Virtuelle Testmöglichkeiten können die Fahrfunktionen deutlich effizienter erproben. Diese Kombination macht das Testfeld Niedersachsen zu einem einzigartigen Forschungswerkzeug. Die digitale Karte ist für unterschiedlichste Anwendungen notwendig – beispielsweise für automatisierte Fahrzeuge im öffentlichen Raum, für die Ableitung von Testszenarien und für die Vergleichbarkeit. Zudem lassen sich auf diese Weise die Modelle und Entwicklungen in simulationsbasierten Umgebungen und Prüfständen auf ihre Genauigkeit überprüfen. Die Strecken sind dafür in Datenbanken mit Fahrzeugdaten angelegt und enthalten topografische und topologische Informationen über die Straßen, Verkehrsinfrastrukturen, Bepflanzungen und sogar die Vegetation.

#### Mehr als nur das DLR

Eine erfolgreiche Forschungs- und Entwicklungsplattform lebt davon, dass sie zu vielfältigen unterschiedlichen Zwecken eingesetzt wird und sich so weiterentwickeln kann. Das Testfeld soll ein lebendiger Raum für den wissenschaftlichen Dialog sein und gemeinsam mit seinen Nutzern dazu beitragen, die automatisierte und vernetzte Mobilität der Zukunft mitzugestalten. Dank ihrer vielfältigen Infrastrukturen sowie Technologiebausteine ist die Plattform besonders interessant für Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen, die im Bereich Mobilitätsforschung arbeiten.

Das DLR hat schon in der Planungsphase auf die Expertise seiner Partner gesetzt und ein enges Netzwerk aufgebaut: Der ADAC Niedersachsen/Sachsen-Anhalt, das Unternehmen Continental, die Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr (IAV) sowie die Firmen NordSys, Oecon, Siemens, Volkswagen und die Wolfsburg AG waren von Beginn an wichtige Partner und Berater bei der Entwicklung des Testfelds. Darüber hinaus wurde das Großprojekt vom Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung sowie vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur gefördert. In diesem Zusammenhang wurden auch Mittel wirksam, die aus den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) des Landes Niedersachsen stammen. Das Partnernetzwerk wird nun sukzessive ausgebaut und gemeinsam mit den Unternehmen werden nach umfangreichen Testmessungen erste Projekte gestartet.

## WIESO? FÜR WEN? WAS DANN?

Drei Fragen von Eva-Maria Dobriloff an Prof. Dr. Katharina Seifert, Direktorin des Instituts für Verkehrssystemtechnik, und Prof. Dr. Frank Köster, Leitung der Geschäftsfeldentwicklung im Institut für Verkehrssystemtechnik und verantwortlich für die Testfeldaktivitäten:

#### Wieso benötigt die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge ein Testfeld?

**Seifert:** Ein automatisiert fahrendes Fahrzeug muss mit einer Vielzahl an Verkehrsteilnehmern und unterschiedlichen Situationen umgehen können. Um es darauf sicher vorzubereiten, müssen diese Situationen umfassend erprobt werden. Bei der entwickelten Sensorik für diese Fahrzeuge muss darüber hinaus in einem vorab klar definierten Raum geprüft werden, ob sie die Realität korrekt wahrnimmt.

**Köster:** Dafür benötigen wir eine Kombination von simulationsbasierten Prüfumgebungen mit Mixed-Reality-Ansätzen und realen Prüfgeändertests sowie die Erprobung im öffentlichen Raum. Das alles bietet das Testfeld Niedersachsen.

#### Für wen sind die Dienste des Testfelds interessant?

**Köster:** Beispielsweise für Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen, die rund um das Thema automatisierte und vernetzte Mobilität forschen, die Sensoren, Fahrfunktionen oder neuartige Technologiebausteine in Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur entwickeln. Aber auch für Politik und Verbände, die sich über das Thema des automatisierten und vernetzten Fahrens informieren möchten. Unser Ziel ist es, ein enges Netzwerk mit solchen Akteuren aufzubauen.

#### Was ist Ihre Vision vom zukünftigen Verkehr?

**Seifert:** Bei meiner Arbeit treibt mich der Gedanke an, eine Zukunft mitzugestalten, in der sicheres Fahren selbstverständlich ist und Fahrkomfort weit über bequeme Sitze hinausgeht. Der Verkehr wird besser fließen und weniger Emissionen verursachen.

**Köster:** Wir haben jetzt die Chance, eine Mobilität zu gestalten, die sicherer, effizienter und komfortabler ist. Dafür wollen wir das Potenzial vernetzter und automatisierter Flotten voll ausschöpfen.

**Eva-Maria Dobriloff** ist für die Öffentlichkeitsarbeit am Institut für Verkehrssystemtechnik zuständig.

© Stefam Julius Römer



Prof. Dr. Katharina Seifert und Prof. Dr. Frank Köster

## TECHNISCHE INFRASTRUKTUR DES TESTFELDS NIEDERSACHSEN

Die Dienste des Testfelds sind für Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen zugänglich, einzeln oder in Kombination.

**Erfassungstechnik:** Hochauflösende Stereo-Kamera-Systeme auf 7,5 Kilometern, installiert auf der A 39, können Fahrzeuge und andere Objekte im Verkehrsraum präzise erfassen.

**Kommunikationstechnik:** Road-Side-Units auf der A 39 für die V2X-Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur ermöglichen auf dem Autobahnabschnitt den Empfang von Nachrichten.

**Hochgenaue Karten:** Topografische und topologische Informationen über die Straße, Verkehrszeichen und die Infrastruktur sind Grundlage für den Aufbau realitätsnaher virtueller Verkehrsumgebungen und können auch als hochpräzise georeferenzierte Landmarken genutzt werden.

**Szenarien und Modelle:** Sie ermöglichen die simulationsbasierte Untersuchung von Fahrzeugen oder Fahrzeugkomponenten im Rahmen einer virtuellen Umgebung. Die virtuelle Testfeldstrecke ist circa 84 Kilometer lang.

**Schnittstellen:** Sowohl aktuelle als auch historische Daten aus unterschiedlichen Quellen (unter anderem von der Verkehrsmanagementzentrale Hannover) werden über standardisierte Datenschnittstellen importiert. Damit wird unter anderem die aktuelle Signalisierung oder die aktuell angezeigte Information der Verkehrsinfrastruktur für Fahrzeuge zugänglich.

**Mobile Aufbauten:** Diese können auf nicht stationär ausgerüsteten Abschnitten des Testfelds sowie in Sonderbereichen wie dem Testgelände oder auch Park- und Gewerbeflächen kampagnenspezifisch genutzt werden.

**Kataster Testfeldzustand:** Das Register enthält relevante Informationen zum Testfeld wie Straßen- und Leitplankenzustand sowie Wetterdaten. Es kann auch zur Aufklärung eines auffälligen Fahrzeugverhaltens genutzt werden.

**Hintergrundsysteme:** Eine Informations- und Kommunikationstechnologie-Plattform zum Datenmanagement sowie zur zentralen Informationsaufbereitung und -bereitstellung ist ein wichtiger Systembaustein zur Verknüpfung unterschiedlicher Testfelddienste.

© Uni Oldenburg/Schmidt



© DLR-PT /green4cities/Anschöber

# DAS BESTE AUS ZWEI WELTEN

Gute Ideen gemeinsam gestalten

Von Stefanie Hulan

**S**pätestens seit der „Fridays-for-Future“-Bewegung ist ein Wort in aller Munde: Nachhaltigkeit. Der Ruf nach entsprechendem Handeln begegnet uns inzwischen in allen Lebensbereichen. Wie vielfältig das Thema ist, zeigt eine kurze Serie, in der vom DLR Projektträger Beispiele aus seiner Arbeit rund um Nachhaltigkeit vorgestellt werden. In der heutigen Folge geht es um nachhaltiges Wirtschaften.

Ein zukunftsfähiges Wirtschaftssystem braucht innovative Ideen, die nicht an Ländergrenzen Halt machen. Dieser Ansatz ist die ursprüngliche Idee hinter dem Förderprogramm Eurostars, das in 36 Ländern kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) unterstützt. Die Projekte reichen von nachhaltiger Ledergerbung durch Olivenpflanzenreste über laserbasierte Messsysteme, die den Wartungsbedarf von Gebäuden per Drohnenüberflug feststellen, bis hin zu Bildgebungsverfahren, die den Herzschlag im MRT in Echtzeit sichtbar machen. Insgesamt 1.880 Projekte wurden in den letzten 13 Jahren gefördert. Verantwortlich für das deutsche Programmmanagement ist seit Beginn der DLR Projektträger.

## Stefanie Bartels-Schmies und Dr. Joachim Burbiel

Dr. Joachim Burbiel ist Leiter der Abteilung Internationale markt-nahe Forschung und Innovation sowie vertretungsweise Leiter der Gruppe Förderung internationaler KMU. Außerdem ist er seit knapp vier Jahren der nationale EUREKA-Projekt Koordinator für Deutschland. Stefanie Bartels-Schmies ist seit 2010 als wissenschaftliche Mitarbeiterin für Eurostars dabei und seit Oktober 2018 nationale Eurostars-Projekt Koordinatorin. Beide arbeiten im Bereich Europäische und internationale Zusammenarbeit des DLR Projektträgers.



© DLR

### Warum ist ein übergreifendes Programm wie Eurostars wichtig?

**Bartels-Schmies:** Die Idee hinter Eurostars ist es, das Beste aus zwei Welten zu kombinieren: Wir vernetzen Forschung und Wirtschaft international. Das heißt, wir haben hier ein Instrument, mit dem wir kleine und mittelständische Unternehmen befähigen, mit internationalen Partnern aus der Forschung neue Technologien zu entwickeln und diese zur Marktreife zu bringen.

**Burbiel:** Wegen des EU-Beihilfenrechts können wir nur die Entwicklung bis zum Prototyp fördern. Eine Anforderung von Eurostars ist es, dass die Ergebnisse aus den Vorhaben binnen zweier Jahre nach Projektende auf den Markt kommen. Dass dies gelingt, belegt unsere Statistik: Im Schnitt vergehen von der Antragstellung bis zum fertigen Produkt weniger als fünf Jahre. Relativ wenig, wenn man die Komplexität der von uns geförderten Ideen betrachtet.

### An wen richtet sich die Fördermaßnahme?

**Bartels-Schmies:** In erster Linie an kleine und mittelständische Unternehmen, die mindestens zehn Prozent ihres Umsatzes in Forschung und Entwicklung investieren oder zehn Prozent ihres Personals in diesem Bereich einsetzen. Aber: Die finanzielle Unterstützung gibt es nicht für ein Unternehmen allein, sondern ausschließlich für Forschungsverbünde. In diesen muss es neben dem führenden Unternehmen mindestens einen weiteren Projektpartner aus einem weiteren Eurostars-Land geben. Partner können dabei Forschungsinstitute und Großunternehmen sein. Der Gründungsgedanke der Eurostars ist die Förderung des nachhaltigen Wirtschaftens.

**Burbiel:** Die Aufgabe eines Projektträgers in einem solch komplexen Gefüge ist nicht leicht. In Deutschland stammen die Eurostars-Mittel vom Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF), in dessen Auftrag wir die Programmbetreuung übernommen haben. Zu unseren

Kernaufgaben gehört es, über den gesamten Zeitraum die beteiligten deutschen Einrichtungen an den geförderten Projekten zu betreuen. Im Austausch mit allen 36 Fördereinrichtungen der Teilnehmerländer erstellen wir außerdem die Förderbekanntmachungen. Weiterhin beraten wir die Antragsteller, prüfen alle eingehenden Anträge mit deutscher Beteiligung, regeln die Geldflüsse und begleiten den Fortschritt der einzelnen Projekte. Ganz zentral ist für uns auch die Beratung des BMBF. Ende 2020 läuft die zweite Förderphase des Programms aus, dann wäre es Zeit für Eurostars-3, also eine dritte Förderphase, die auch politisch gewollt ist.

### Sie sind schon viele Jahre im Umfeld von Eurostars aktiv. Was schätzen Sie daran besonders?

**Burbiel:** Das Spannende an Eurostars ist für mich die unglaubliche Themenvielfalt. Aber auch wirtschaftliche Trends lassen sich an den eingereichten Ideen ablesen: In den letzten Jahren haben wir beispielsweise eine Verschiebung zu den Themen Biotechnologie sowie Informations- und Kommunikationstechnologie beobachtet.

**Bartels-Schmies:** Ich glaube, es ist immer gut, wenn Menschen verschiedener Kulturen miteinander arbeiten. Man schaut über den eigenen Tellerrand, erweitert den Blick und lernt voneinander. So entstehen Innovationen.

**Das Interview führte Stefanie Hulan,** Unternehmenskommunikation DLR Projektträger.

*Die Zukunft der Mobilität liegt im autonomen Fahren. „In 20 Jahren“, sagt Peter Wüstnienhaus, Abteilungsleiter im DLR Projektträger, „nutzen wir für unsere täglichen Wege keine eigenen Autos mehr“. Mehr in der kommenden Ausgabe des DLRmagazins.*

## EUROSTARS-Projekte:

### Green Skin

Beim deutsch-österreichischen Verbundprojekt Green Skin steht die Begrünung von Fassaden im Mittelpunkt. Ihr Nutzen: Sie wirken kühlend auf das Mikroklima der Umgebung, bieten Lebensraum für Insekten und andere Tiere, leisten einen Beitrag zur Regulierung der Raumtemperatur im Gebäudeinneren und absorbieren Schadstoffe. Das Problem: Nachträglich installiert kosten sie viel. Im Rahmen des Eurostars-Projekts Green Skin werden daher Fassadenmodule entwickelt, die fassadengebundene Begrünung inklusive der notwendigen Infrastruktur wie beispielsweise Bewässerung bereits beinhalten.

### Tanixing

Leder ist ein Alltagsprodukt. Vor allem Schuhe geraten aber immer wieder in die Schlagzeilen wegen hoher Werte an giftigem Chrom und anderen Allergenen. Im ersten Eurostars-Projekt zum Start des Förderprogramms haben deutsche Unternehmen zusammen mit spanischen Partnern das patentierte Gerbverfahren wet-green® weiterentwickelt. Es vermeidet umwelt- und gesundheitsschädliche Gerbchemikalien vollständig und verwendet stattdessen Gerbstoffe, die aus Olivenpflanzenresten gewonnen werden. Dank der Eurostars-Förderung war das „Olivenleder“ bereits nach fünf Jahren marktreif. Heute zählen BMW, Hugo Boss und Porsche zu den Abnehmern.

# HELGA FLIEGT ZUM MOND

Das Experiment MARE erfasst erstmals die Strahlenbelastung auf dem Weg zum Erdtrabanten

Von Manuela Braun

**D**ie Anzahl der Menschen, die jemals das schützende Magnetfeld der Erde verlassen haben, ist überschaubar: Insgesamt 24 Astronauten ließen mit den Apollo-Missionen den Van-Allen-Gürtel hinter sich, jenen Strahlungsgürtel, an dem in einer Höhe von rund 58.000 Kilometern das Magnetfeld der Erde aufhört zu existieren. Von dort an schützt nichts mehr den menschlichen Körper vor der kosmischen Strahlung und vor den geladenen Teilchen, die ständig von der Sonne in alle Richtungen abströmen. Seit dem Apollo-Programm, das 1975 endete, drangen nur noch Raumsonden ohne Besatzung in diese lebensfeindlichen Regionen vor. Nun soll sich das ändern: Mit der Artemis-Mission will die amerikanische Weltraumbehörde auf dem Orion-Raumerschiff die erste Frau und den nächsten Mann auf den Mond bringen. Welche Strahlenbelastung auf diese Crew zukommen wird, ist Forschungsgegenstand des Experiments MARE (Matroschka AstroRad Radiation Experiment). DLR-Biophysiker bereiten es für seinen Testflug vor – mit Helga und Zohar, den ersten „Astronautinnen“, die zum Mond fliegen.

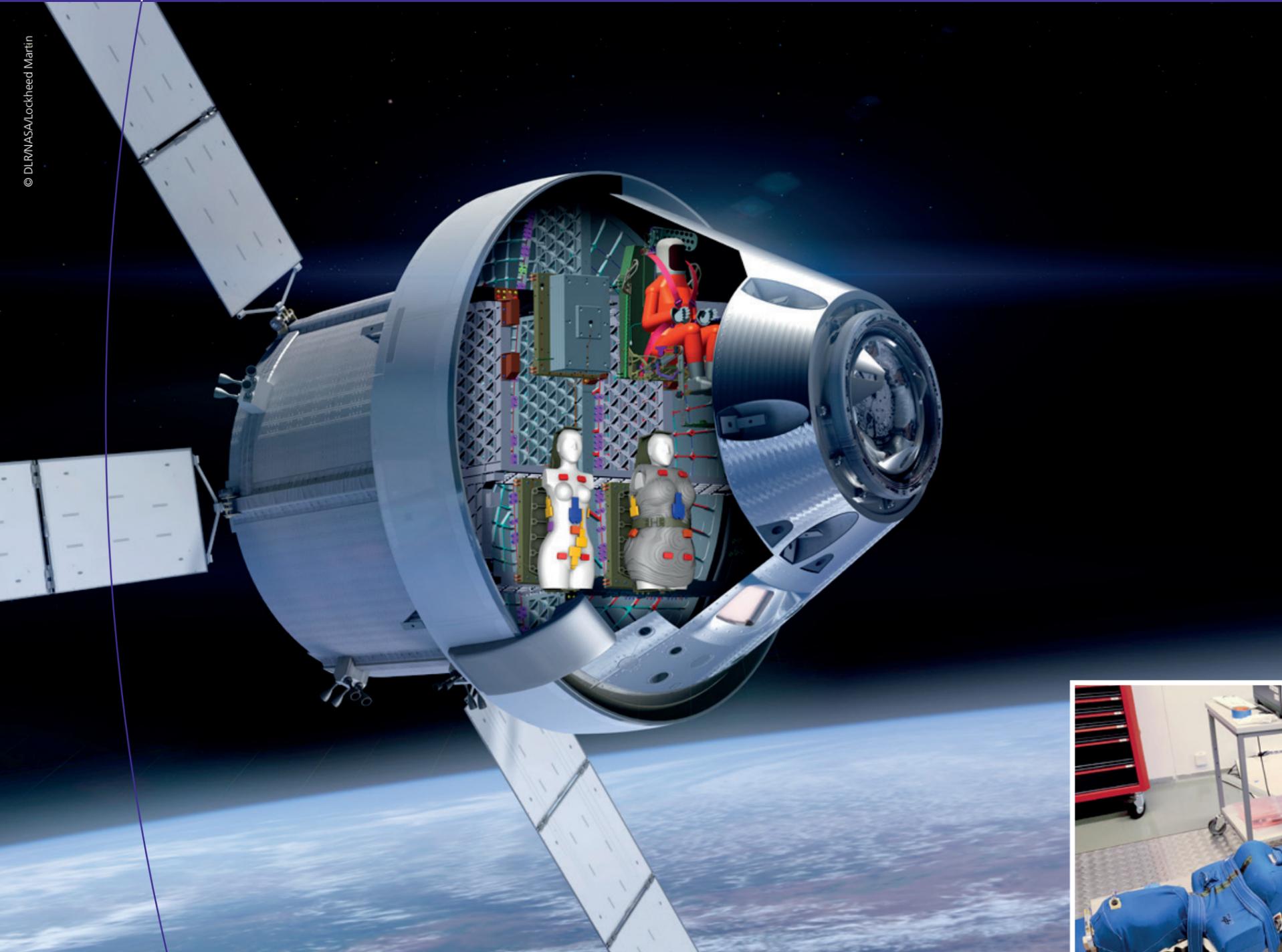
Helga besteht aus 38 Scheiben, ist 95 Zentimeter groß, wiegt 36 Kilogramm und ihre Organe und Knochen sind aus Kunststoff. Zugegeben: Damit ist sie keine gewöhnliche Astronautin, und dennoch wird sie – gemeinsam mit ihrer Zwillingsschwester Zohar – Entscheidendes für die Raumfahrt leisten. Die beiden weiblichen Phantome werden in den Passagiersitzen der Orion-Kapsel sitzen und genau erfahren, welche Strahlung auf einen menschlichen Körper während des Fluges zum Mond und zurück zur Erde einwirkt.

„Es gibt mehrere Faktoren, die für den Menschen im All ein Risiko darstellen“, sagt Dr. Thomas Berger, Strahlenbiologe am DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin: „Die Schwerelosigkeit beeinträchtigt unter anderem Knochen und Muskeln, die Isolation und die Entfernung von der Erde haben psychologische Auswirkungen, und die Strahlung kann sowohl lang- als auch kurzfristige Schäden verursachen.“ Die kosmische Strahlung kann beispielsweise das Krebsrisiko erhöhen oder das Sehvermögen schädigen. Solare Teilchenereignisse können zudem zur Strahlenkrankheit unter anderem mit Übelkeit und Müdigkeit führen.

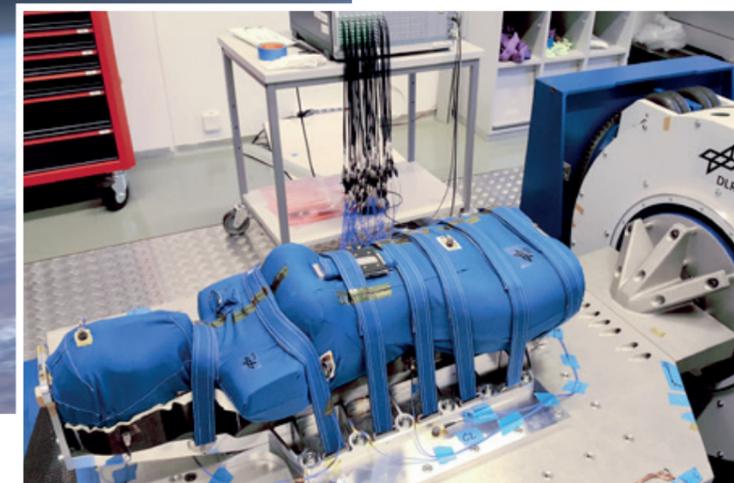
Die Strahlenbelastung eines Menschen auf der Erde liegt durchschnittlich bei drei Millisievert im Jahr – dieser Wert schließt bereits medizinische Untersuchungen wie Röntgenaufnahmen oder Computertomografien ein. Mit dem Messgerät RAD (Radiation Assessment Detector) auf dem Marsrover Curiosity erfasste ein Wissenschaftlerteam des DLR bereits während des Fluges zum Mars die Strahlung: Die Dosis lag bei etwa zwei bis drei Millisievert – pro Tag! Will man Astronauten und Astronautinnen auf Flügen zu Mond und Mars einsetzen, ohne dass deren Gesundheit Schaden nimmt, so müssen die Strahlenbelastung erforscht und mögliche Schutzmaßnahmen erarbeitet und getroffen werden. „Wir werden mit MARE zum ersten Mal bei einer solchen Mission die Strahlenbelastung der Crew genau erfassen“, sagt Dr. Thomas Berger.

## Zurück zum Mond

Mit „einer solchen Mission“ meint Dr. Berger den Plan der NASA, mehr als 50 Jahre nach der Mondlandung erneut Menschen zum Erdtrabanten zu schicken. Waren die Flüge in den Sechzigerjahren dem griechischen Gott Apollo gewidmet, so sollen die nächsten Flüge unter dem Namen von Apollos Zwillingsschwester Artemis erfolgen. Der Name ist Programm: Bei der Apollo-Mission reisten ausschließlich Männer durchs All, bei der Artemis-Mission wird hingegen immerhin eine Frau mit an Bord sein. Helga und Zohar werden als ihre Stellvertreterinnen im ersten Flug des Orion-Raumerschiffs vom Kennedy Space Center



Auf dem ersten Mondflug des Orion-Raumerschiffs werden zwei weibliche Phantome in den Passagiersitzen mitfliegen



Das sensorbestückte Phantom Helga soll die Strahlenbelastung beim Flug zum Mond messen



Bis zu 42 Tage wird die Artemis-1-Mission mit Helga und Zohar zum Mond und wieder zurück zur Erde dauern

aus zum Mond fliegen. Die von der israelischen Raumfahrtagentur beigesteuerte Zohar wird die Schutzweste AstroRad tragen, die das israelische Unternehmen StemRad entwickelt hat. Die deutsche Helga wird den Mondflug ohne schützende Maßnahmen antreten. Beide werden mit passiven und aktiven Detektoren ausgestattet, sodass man nach ihrer Rückkehr nicht nur die Strahlung, sondern durch den Vergleich auch die Effektivität der Schutzweste einschätzen kann.

Noch stehen beide Phantome im Kölner Labor der DLR-Strahlenbiologie, um für die Reise ausgestattet zu werden. Etwas versteckt, in einer wenig genutzten Ecke des Labors ist ein männlicher Kollege „geparkt“, der derzeit nicht verwendet wird: das „Matroschka“-Phantom. Es war von 2004 bis 2011 vier Mal auf der Internationalen Raumstation ISS und wurde nicht nur in verschiedenen Forschungslaboren im Inneren, sondern auch an der Außenseite der ISS der Strahlenbelastung ausgesetzt. 2011 endete die letzte Mission, auf der das Phantom 310 Tage im japanischen KIBO-Modul im Einsatz war.

Jetzt wird mit Helga also eine künstliche Astronautin ins All fliegen. „Wir hätten auch wieder ein männliches Phantom auswählen können, aber die Zahl der Astronautinnen nimmt zu und so sollten wir auch unsere wissenschaftliche Forschung dementsprechend ausrichten“, sagt Thomas Berger. Die erste Frau im Weltraum war die Russin Valentina Tereschkova 1963. Seitdem haben Frauen unter anderem bei amerikanischen Space-Shuttle-Missionen sowie auf der Internationalen Raumstation ISS gearbeitet und waren bei Weltraumausstiegen im Einsatz.



Helga und Zohar bestehen aus jeweils 38 Scheiben und werden von den Wissenschaftlern des DLR mit tausenden von Strahlungsdetektoren ausgerüstet



DLR-Strahlenbiologe Dr. Thomas Berger mit den Dummies in der Orion-Kapsel

### Tausende Detektoren

Die Phantome Helga und Zohar simulieren daher Frauenkörper mit Fortpflanzungsorganen und Brüsten. Die Vorbereitung der beiden für ihre Mission wird eine penible Geduldsarbeit: Jede der 38 Scheiben hat im Inneren Aussparungen, in die DLR-Wissenschaftler kleine Kristalle gelegt haben. Diese können die Strahlung speichern. 1.400 Sensorplätze sind zu befüllen, insgesamt 5.600 Kristalle müssen Stück für Stück mit der Pinzette vorsichtig an den richtigen Platz gelegt und dokumentiert werden. Jeder einzelne dieser passiven Detektoren wird dann vom Beginn der Mission an bis zur Rückkehr zur Erde kontinuierlich die Strahlung aufnehmen. Mit dem Auslesen der Kristalle entsteht so ein dreidimensionales Abbild des menschlichen Körpers. Es zeigt, wie hoch die Strahlenbelastung während eines Mondfluges insgesamt auf Knochen und Organe an unterschiedlichen Stellen ist. Hinzu kommen 16 aktive Detektoren. Sie erfassen nicht nur die Gesamtmenge der Strahlung über die komplette Mission, sondern messen auch die aktuelle Strahlenbelastung zu den jeweils bestimmten Zeitpunkten. So können die Wissenschaftler nachvollziehen, unter welchen Bedingungen und in welchen Phasen der Mission welche Strahlenbelastung auf die Körperteile einwirkt. Angebracht werden die Messgeräte in den empfindlichsten Organen, also Lunge, Magen, Uterus und unter anderem am Rückenmark der Phantome.

Spätestens bei diesen Detektoren ist Ingenieurkunst gefragt: Die aktiven Detektoren werden über Batterien mit Strom versorgt – und dieser darf während der gesamten Missionsdauer nicht ausfallen, denn

die Strahlenbiologen haben keine Möglichkeit, die Messgeräte vom Boden aus zu kommandieren. Beschleunigungsmesser innerhalb des Geräts sorgen dafür, dass sich die Detektoren mit dem Start einschalten. Erfolgreiche Tests unter realistischen Bedingungen konnten die Wissenschaftler bereits auf den beiden vergangenen MAPHEUS-Flügen, einem DLR-Forschungsprogramm mit Höhenforschungsraketen, durchführen. Auch bei einem Mitflug auf einer Ballon-Kampagne der NASA über dem Südpol stellten die Forscher die Detektoren zur Strahlungsmessung auf die Probe.

Zwölf Tage vor dem Starttermin müssen die Phantome an die NASA übergeben werden – danach haben die Wissenschaftler erst wieder Zugriff auf ihr Experiment, nachdem es in der Orion-Kapsel an Fallschirmen sicher im Pazifik gelandet ist und geborgen wurde. „Je nach Starttermin und Orbit kann die Mission zwischen 25 und 42 Tage dauern – und so lange müssen unsere Batterien die aktiven Detektoren immer wieder aktivieren, am Laufen halten und die Datenspeicherung sicherstellen.“

Die Reise, die Helga und Zohar unternehmen werden, wird sie in eine Entfernung von der Erde bringen, die bisher noch kein Astronaut erreicht hat: Das Orion-Raumerschiff holt bei seinem Vorbeiflug am Mond Schwung und schwenkt erst 70.000 Kilometer hinter dem Mond wieder um. Die beiden Phantome in ihren Passagiersitzen werden sich dann fast eine halbe Million Kilometer von der Erde entfernt befinden. Einen ersten erfolgreichen unbemannten Testflug hat die NASA bereits im Dezember 2014 mit dem Orion-Raumerschiff absolviert. Damals flog die Kapsel zwei Orbits um die Erde und landete nach knapp fünf Stunden im Pazifik. Im Juli 2019 wurde das Rettungssystem für den Start einer Orion-Kapsel mit Erfolg getestet.

### Neues Kapitel mit dem Artemis-Programm

Den ersten Flug um den Mond wird die Artemis-1-Mission mit MARE an Bord absolvieren – geplant ist er für das letzte Quartal 2020. Ob dieser Starttermin gehalten wird oder ob er sich bis 2021 verzögert, hängt vor allem vom Fortschritt bei der Entwicklung des „Space Launch Systems“ (SLS) ab, der Schwerlastrakete, die von der NASA für die Missionen zum Mond derzeit entwickelt und getestet wird. Sie soll noch leistungsfähiger als die Saturn-V-Rakete sein, mit der die Apollo-Astronauten zum Mond gelangten. Den ersten Flug zum Mond mit dem Orion-Raumerschiff plant die NASA für 2022 – dann sollen keine Phantome wie Helga und Zohar in den Passagiersitzen Platz nehmen, sondern eine vierköpfige menschliche Crew. Sie soll auf der Artemis-2-Mission den Mond umrunden. Die nächste Mondladung, bei der erstmals eine Frau zum Team gehört, soll nach den derzeitigen Plänen der NASA mit Artemis-3 im Jahr 2024 stattfinden. Mit weiteren Artemis-Missionen könnte dann bis 2026 das „Lunar Gateway“, eine permanente Raumstation im Orbit des Mondes, aufgebaut werden.

Bevor dies alles umgesetzt werden kann, sind zunächst einmal Helga und Zohar an der Reihe. Die ersten Meilensteine für ihre Mission sind bereits erreicht: Das Probesitzen in der Orion-Kapsel verlief ohne Probleme. Die Haltestruktur, auf der die beiden befestigt und transportiert werden, überstand bei einem Vibrationstest in den DLR-Testanlagen in Bremen die herausfordernden Bedingungen eines Raketenstarts. Die Crew der ISS testet seit November 2019 die israelische Schutzweste – schließlich muss sie nicht nur in ihrer Funktion effektiv, sondern auch praktisch gut nutzbar sein. Am perfekten Sitz der Schutzweste bei Zohar hat das Team von Dr. Thomas Berger gemeinsam mit dem israelischen Partner im Kölner Labor schon gearbeitet. „Das kann man noch so schön mit Zeichnungen und Entwürfen planen, die Realität ist nochmal was anderes.“ Und auch wenn Helga und Zohar nur aus Scheiben und Kunststoff bestehen – bei ihrer Mission soll alles perfekt sein. Wie bei Astronautinnen aus Fleisch und Blut.

**Manuela Braun** ist für die strategische Kommunikation der Raumfahrtforschungsthemen verantwortlich.

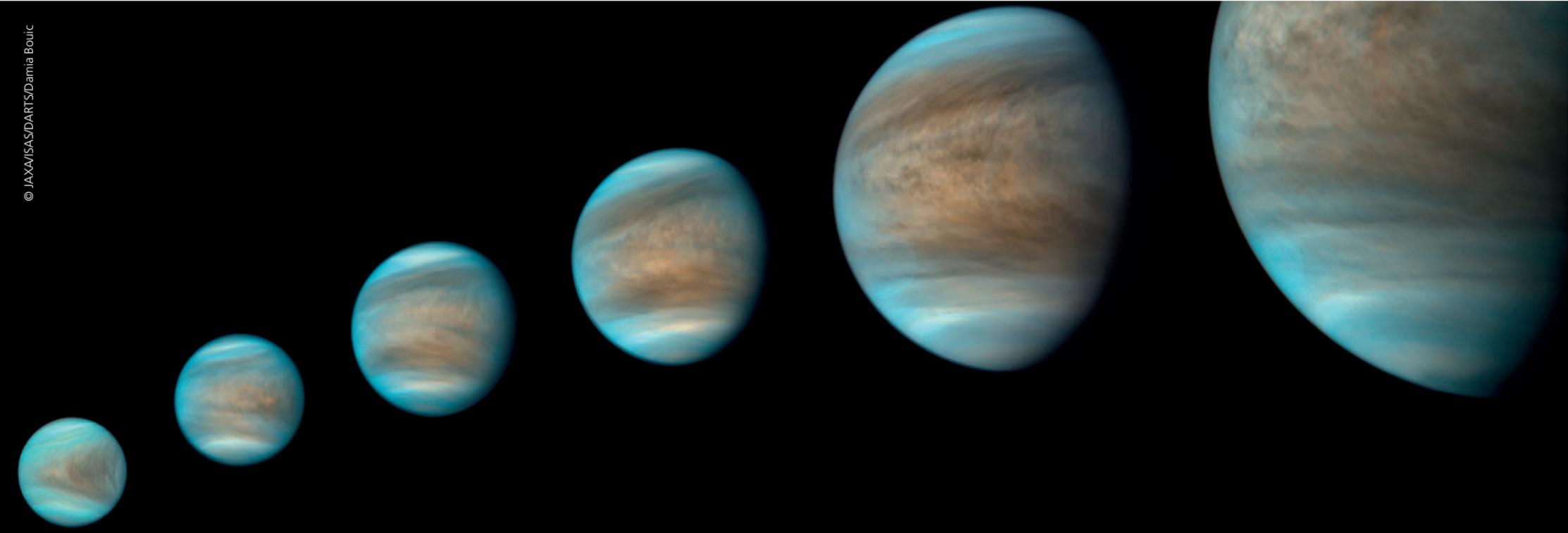
## EUROPAS ANTEIL AM ORION-RAUMFAHRZEUG

Das NASA-Raumerschiff Orion wird vom Europäischen Service-Modul (ESM) der europäischen Weltraumorganisation ESA angetrieben. Über vier Solarsegel versorgt es die Kapsel mit Strom. Außerdem lagern im ESM der Treibstoff sowie die Sauerstoff- und Wasservorräte für die Crew. Erst am Ende der Mission trennt sich das ESM von der Orion-Kapsel und verglüht in der Erdatmosphäre.

Deutschland finanziert circa 40 Prozent des ESM und ist damit größter europäischer Partner. Gesteuert wird der deutsche Beitrag vom Raumfahrtmanagement des DLR in Bonn.



2022 soll zum ersten Mal eine menschliche Besatzung an Bord der Orion zum Mond reisen



# EINE SCHWESTER, DIE SO GANZ ANDERS IST

Vom Mars wissen wir recht viel, doch was ist mit der Venus?

Von Dr. Jörn Helbert und Ulrich Köhler

**W**arum ist die Venus nicht wie die Erde? Wir wissen es nicht, weil sie noch vieles unter ihrer dichten Wolkenhülle verbirgt. Doch es gibt Ideen für neue Missionen, die das Rätsel lösen könnten.

Nach 400 Jahren teleskopischer Beobachtungen und bald 60 Jahren interplanetarer Raumfahrt ist uns die in der günstigsten Konstellation kaum 40 Millionen Kilometer entfernte Venus noch immer ein Rätsel. Der einzige Planet, der einen weiblichen Namen trägt – den der römischen Göttin der Liebe –, wird wohl auch deswegen gerne als der Schwesterplanet der Erde bezeichnet. Und wie sooft erschließt sich Außenstehenden und manchmal selbst Verwandten nicht, warum diese oder jene Entwicklung innerhalb der Familie so ganz anders verlaufen ist ...

Im Gegensatz zum inneren Nachbarplaneten der Erde wissen wir über den äußeren Nachbarn Mars dank zahlreicher Raumsonden eine ganze Menge: halb so groß wie die Erde, aber nur ein Zehntel ihrer Masse, ohne dichte Atmosphäre und zumindest zeitweise mit Wasserkreislauf. Ob dieses Wasser einst das Lebenselixier von einfachen Organismen war, das wird intensiv untersucht. Möglich ist es, trotz der Eiseskälte, die auf dem Mars herrscht.

Was die Suche nach Leben betrifft, so war die Venus in modernen Zeiten ein „No-Go“. Zur Zeit der Aufklärung und bis zum Beginn des Raumfahrtzeitalters war das anders. Die Venus ist nach dem Mond der hellste Lichtpunkt am nächtlichen Firmament und lässt sich ausgezeichnet mit Teleskopen beobachten. Von der Oberfläche des Planeten ist damit allerdings nichts zu sehen! Die Venus ist von einer geschlossenen Wolkendecke in einer ohnehin extrem dichten Atmosphäre umgeben. Das aber öffnete im 18. Jahrhundert der Fantasie auch seriöser Forschernaturen einen weiten Raum. Könnte es nicht sein, dass unter dieser Wolkenhülle wie auf der Erde auch Ozeane und Kontinente existieren, bei lebensfreundlichen Temperaturen?

Erste Raumsonden wie die amerikanischen Mariner und Pioneer-Venus oder die Staffeln der enorm erfolgreichen sowjetischen Venera und Vega zeigten eine andere Realität. Die Atmosphäre der Venus besteht zwar fast nur aus Kohlendioxid (wie es übrigens auch auf der Erde bis vor etwa 2,5 Milliarden Jahren der Fall war und auf dem Mars noch

Die Venus ist permanent von einer Wolkenhülle umgeben, die im sichtbaren Licht kaum Konturen aufweist und schon gar keinen Blick auf die Oberfläche gestattet. In den ultravioletten Wellenlängen absorbiert jedoch ein noch nicht identifiziertes Gasmolekül Teile des Sonnenlichts und lässt in den Wolken der Venus dynamische Strukturen erkennen. Japans Akatsuki-Orbiter beobachtet das Wettergeschehen auf seiner Zehntagesumlaufbahn.

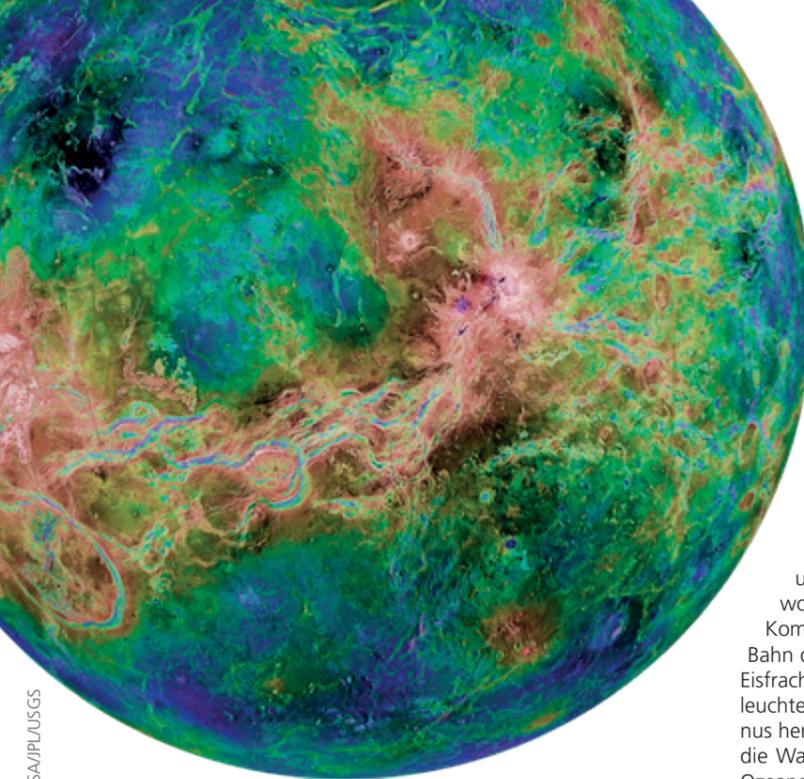
heute ist), aber die ganze Gashülle hat fast die hundertfache Masse der Erdatmosphäre. Das bewirkt, dass die von der Sonne auf den Planeten geworfene Wärmestrahlung zwar in die Atmosphäre eindringt, aber zu einem beträchtlichen Teil nicht mehr herausfindet. Durch die Wechselwirkung mit Gasmolekülen und der Venusoberfläche wird die Wärmestrahlung langwelliger. Sie kann dann die Gashülle nicht mehr nach außen durchdringen. Die Folge: Die Wärme wird nicht ins All abgestrahlt. Die Temperatur in der Atmosphäre steigt und steigt. Wir kennen das inzwischen in viel milderem Ausmaß von der Erde als Treibhauseffekt. Auf der Venus führt er zu Temperaturen von bis zu 470 Grad Celsius. Da schmilzt schon das Metall Blei.

## Wir „sehen“ nur die letzte halbe Milliarde Jahre

Aber war das immer so? Wir wissen von der Erde, dass sie in den 4,5 Milliarden Jahren ihrer Existenz fundamentale Veränderungen durchlaufen hat. Zunächst musste ein mehrere tausend Kilometer mächtiger Magma-Ozean abkühlen, damit eine erste Kruste entstehen konnte. Durch zehntausende Jahre Dauerregen wurden dann Ozeane gefüllt. Schließlich kam ein Prozess in Gang, der wie ein Thermostat das System des Planeten von innen nach außen kontrollierte und eine bedeutende Rolle bei der Entstehung von Leben spielen sollte: die Plattentektonik. Das Verschieben von Krustenplatten, deren Entstehung an aktiven Nahtstellen und ihr Recycling an passiven Kontinentalrändern waren, zusammen mit dem Nachfüllen der Atmosphäre mit vulkanischen Gasen, entscheidende Faktoren für die Entwicklung von Leben.

Die Voraussetzungen hierfür waren auch auf der Venus gegeben. Warum also sehen wir dort keine Kontinente, keine Plattentektonik, keine Ozeane und keine aktiven Vulkane, die Wasser und andere flüchtige Stoffe in die Atmosphäre füttern? Was wir stattdessen sehen, ist erstaunlich: Raumsonden wie der Orbiter Magellan der NASA (1990–1994) ermöglichten uns die erste und bislang einzige gut aufgelöste Sicht auf die Oberfläche. Radarmessungen durch die Atmosphäre hindurch zeigen eine von Vulkanismus globalen Ausmaßes gestaltete Oberfläche, die sich seit etwa einer halben Milliarde von Jahren nicht verändert hatte. Nur vereinzelte Ansätze von Plattentektonik – als ob sie im Anfangsstadium stecken geblieben wäre. Stattdessen mehr als zehntausend erloschene Vulkane. Sind manche noch aktiv? Möglicherweise! Die europäische Raumsonde Venus Express funkte Daten im thermalen Infrarot zur Erde, auf deren Basis Stellen erhöhter Temperatur identifiziert werden konnten, über 480 Grad Celsius heiß. Vulkanismus wäre durchaus möglich und aufgrund theoretischer Modelle nicht ausgeschlossen.

Fehlende Plattentektonik aber bedeutet für die Geophysiker: Wir haben es bei der Venus mit einem Planeten zu tun, der nur aus einer Krustenplatte besteht. Diese liegt wie eine schwere Grabplatte auf dem heißen Mantel der Venus, sodass die im Inneren des Planeten erzeugte Hitze nicht entlang von Nahtstellen entweichen kann – wie bei den Plattengrenzen auf der Erde. Stattdessen staut sie sich an. Wie in einem Dampfkochtopf steigt der Druck. Irgendwann fliegt der Deckel weg, sprich, der Vulkanismus bricht sich in unvorstellbarem Ausmaß Bahn an die Oberfläche und überflutet den ganzen Planeten mit Lava. Das ist das Bild, das wir heute sehen! Was aber geschah in der Zeit der Planetenentstehung vor 4,5 bis vor etwa einer Milliarde Jahren?



Die Raumsonde Magellan offenbarte erstmals Details der Topografie in hoher Auflösung, mit kontinentartigen (beige), mehrere tausend Meter über die vulkanischen Tiefebene (blau und grün) ragenden Hochebenen, über zehntausend erloschenen Vulkanen und rätselhaften tektonischen Strukturen

(vielleicht sogar nur zu einem kleinen Teil) aus der Mitgift der protoplanetaren Scheibe, in der die „Zutaten“ der Planeten um die junge Sonne kreisten. Ein beträchtlicher Teil stammt wohl von eisreichen Körpern im äußeren Asteroidengürtel, von Kometen oder von größeren Körpern im Kuiperergürtel, jenseits der Bahn des Neptun. Sie luden in der Frühzeit des Sonnensystems ihre Eisfracht sowohl auf der Erde als auch auf der Venus ab. In dieser Zeit leuchtete die Sonne um bis zu einem Drittel schwächer. Auf der Venus herrschten also vermutlich Druck- und Temperaturbedingungen, die Wasser auch im flüssigen Aggregatzustand möglich machten. Ozeane auf der Venus, über viele hundert Millionen Jahre lang, vielleicht sogar über eine Zeitspanne von einer oder zwei Milliarden Jahren? Wasser als „Schmiermittel“ für eine aktive Plattentektonik? Das ist nicht ausgeschlossen, zieht aber sofort die Frage nach sich: War die Venus dann auch in der Lage, Leben hervorzubringen, wie dies auf der Erde vor etwa 3,6 Milliarden Jahren geschah?

War es, wie dies bei Geschwistern ja häufig der Fall ist, so, dass die Entwicklung in der Kindheit ähnlich verlief, sich aber in der Jugend deutliche Unterschiede ausprägten? Blicken wir deshalb heute auf zwei so verschiedene „erwachsene“ Planeten?

Die Kluft zwischen dem tatsächlichen Wissensstand und einem Berg offener Fragen ist in den letzten Jahren größer geworden. Venusforscher aus aller Welt, die für die NASA-Initiative „Venus Exploration Analysis Group“ (VEXAG) beratend tätig sind, schlagen deshalb vor, die Venus mit neuen Raumsonden aus der Nähe zu erforschen: Die Orbiter könnten heute mit einem viel moderneren, leistungsfähigeren Instrumentarium ausgestattet werden. So wäre es möglich, der dynamischen Atmosphäre Gasproben zu entnehmen, mit hochauflösendem Radar und abbildenden Spektrometern durch die Atmosphäre bis auf den Grund zu blicken und sogar wieder mit Landemodulen zu arbeiten, die dann auch länger als zwei Stunden Experimente durchführen könnten.

### War auch die Venus einst ein „Blauer Planet“?

Dazu ein kurzer Blick auf die formalen Bedingungen: Venus und Erde – fast gleich groß, mit fast gleicher Masse, fast identischem „Inventar“ an chemischen Elementen und in ähnlicher mineralogischer Zusammensetzung. Auch wenn die Venus der Sonne „nur“ 50 Millionen Kilometer näher ist, könnte das schon ein Teil der Erklärung für die Unterschiede zwischen den ungleichen Geschwistern sein. Für die Planetenbildung gilt sehr grob verallgemeinert: je größer die Entfernung von der Sonne, desto niedriger der Anteil an schweren Elementen, wie Eisen, Nickel, Magnesium oder Silizium, und desto höher der Anteil an flüchtigen Stoffen, wie Wasserstoff oder Kohlenstoff. Schwere, erdähnliche Planeten mit fester Oberfläche haben sich deshalb im inneren Sonnensystem gebildet, die Gasplaneten in Entfernungen ab etwa einer Milliarde Kilometer. Ist der geringfügige Unterschied zwischen den Umlaufbahnen von Venus und Erde, von etwa 100 zu 150 Millionen Kilometern, der entscheidende Unterschied und verantwortlich dafür, dass die Venus kaum oder kein Wasser aus der zirkumsolaren Scheibe aus Staub und Gas abbekommen hat? Mag sein, dass dies eine der Ursachen für die Wasserarmut der Venus ist. Aber das Wasser der Erde stammt sehr wahrscheinlich nicht nur



EnVision ist Kandidat für einen ESA-Venusorbiter, der mit Radar auf und unter die Oberfläche „blicken“ und darüber hinaus aktive Vulkane entdecken soll



VERITAS ist in der Endauswahl für eine von zwei neuen Missionen des NASA-Discovery-Programms. Der Orbiter soll die Venusoberfläche kartieren.

## EINE DEKADE DER VENUSFORSCHUNG

Derzeit erstrahlt das internationale Interesse an Missionen zur Venus – sodass einige Wissenschaftler schon von einer bevorstehenden Dekade der Venusforschung sprechen. Die Technik für alle diese Missionen existiert entweder schon oder wird gerade entwickelt.

**DAVINCI+** (Deep Atmosphere of Venus Investigation of Noble gases, Chemistry & Imaging, Plus): Eine Sonde fällt an einem Fallschirm durch die Atmosphäre der Venus und zeichnet währenddessen präzise die atmosphärische Zusammensetzung und besonders das Isotopenverhältnis auf. Daraus lässt sich auf den Zeitraum schließen, in dem die Venus ihr Wasser verloren hat.

**VERITAS** (Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, and Spectroscopy mission): Die Mission kombiniert ein hochauflösendes Radarsystem und ein vom DLR entwickeltes Spektrometer für das nahe Infrarot. VERITAS würde die erste globale mineralogische Karte der Venus liefern und wäre ein Schritt auf dem Weg zu einer Landemission.

**EnVision** ist auf der europäischen Seite einer der drei Finalisten für die fünfte M-Klasse-Mission der ESA. EnVision soll den aktuellen Zustand der geologischen Aktivität auf der Venus und ihre Beziehung zur Atmosphäre bestimmen. Von zwei Radarsystemen wird eines erstmals einen Blick unter die Oberfläche der Venus ermöglichen. Vervollständigt wird die Nutzlast durch drei Spektrometer aus Frankreich, Belgien und Deutschland unter führender Beteiligung des DLR.

Die indische Raumfahrtagentur ISRO untersucht derzeit die Voraussetzungen für die **Shukrayaan-1-Mission**. Diese kombiniert ein Radarinstrument mit einer Reihe von Spektrometern und Plasmainstrumenten.

Seit vielen Jahren gibt es auf russischer Seite Studien zu einer **Venera-D-Mission**. Neben einem Orbiter soll ein Landemodul basierend auf den erfolgreichen Venera-Landern auf der Venus aufsetzen. Es gibt auch Überlegungen, Ballons oder andere Flugelemente mitzuführen.

### Rückschlüsse auf die Forschung zu Exoplaneten

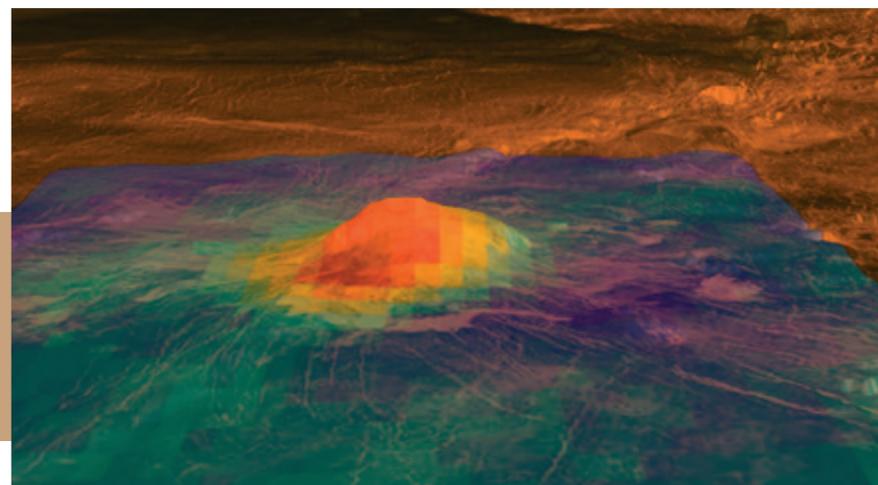
Durch die raschen Fortschritte in der Hochtemperatur-Elektronik gibt es Entwicklungen für Landeelemente, die nicht nur Stunden, sondern Tage oder Monate „überleben“ sollen. Das Glenn Research Center der NASA arbeitet an einem Konzept für ein miniaturisiertes Landeelement, das wenigstens 60 Tage auf der Oberfläche durchhalten soll. Dies würde es ermöglichen, langfristige Messungen der seismischen Aktivität der Venus durchzuführen, vergleichbar mit der NASA-Mission InSight auf dem Mars. Venusbeben lassen sich auch von Ballons in der Atmosphäre erfassen: Die dichte Venusatmosphäre überträgt die Wellen von der Oberfläche des Planeten sehr gut und diese würden sich mit Geofonen unter einem Ballon messen lassen. Vergleichbare Messungen werden auf der Erde in Ozeanen durchgeführt.

Blicken wir über unser Sonnensystem hinaus, dann stellen wir fest, dass unter den bisher entdeckten über 4.000 Exoplaneten viele venusähnliche Planeten sind. Mit den geplanten Missionen zur Venus

können wir diese Klasse von Exoplaneten quasi vor der irdischen Haustüre erforschen und damit Hinweise erhalten, wie wahrscheinlich es ist, dass sich unter ihnen ein lebensfreundlicher Planet entwickelt haben könnte. Man gebe also nie Prognosen ab zur Wahrscheinlichkeit, wie sich eine Schwester entwickelt ...

**Dr. Jörn Helbert** ist Planetenphysiker und leitet die Abteilung Planetare Labore am DLR-Institut für Planetenforschung. Er ist fasziniert von Planeten und Monden mit heißen Oberflächen und stellt deren „höllische“ Bedingungen im Labor nach.

**Ulrich Köhler** ist Planetengeologe am selben Institut und versucht seit 30 Jahren zu verstehen, warum sich die fünf erdähnlichen Körper des inneren Sonnensystems so verschieden entwickelt haben. Die Erkenntnisse trägt er in vielfältiger Form in die Öffentlichkeit.



Messungen mit dem Spektrometer VIRTIS auf der ESA-Sonde Venus Express zeigten, dass einige Vulkane wie der 2.500 Meter hohe Idunn Mons eine höhere Temperatur als ihre Umgebung haben und noch aktiv sein könnten



# VORHANG AUF FÜR DEN ISTAR

## Nachwuchs für die Flugzeugflotte des DLR

Von Falk Dambowsky

**E**s ist ein frischer Januartag am Beginn eines neuen Jahrzehnts und die Falcon 2000LX ISTAR macht sich auf den Weg vom Dassault-Werk in Bordeaux-Mérignac in ihre neue Heimat beim DLR in Braunschweig. ISTAR steht für In-flight Systems & Technology Airborne Research. Als sogenannter Inflight-Simulator wird sie die Forschungsflugzeugflotte des DLR erweitern und helfen, sowohl das Wissen zum automatisierten und unbemannten Fliegen zu erweitern als auch weiterentwickelte Pilotenassistenzsysteme zu realisieren. Das DLRmagazin stellt den Newcomer vor.



Die Spuren der letzten Handgriffe und eines spontanen Regenschauers werden beseitigt, damit ISTAR blitzblank übergeben werden kann



Mit dem Schlüssel wechselt ISTAR den Besitzer: von Dassault Aviation zum DLR

Knapp zwei Jahre lang wurde die Dassault Falcon 2000 in Frankreich als eines der ersten Modelle ihrer Serie auf eine zweite Karriere als Forschungsflugzeug mit den entsprechenden Einbauten vorbereitet. An diesem Januarmorgen wird das Flugzeug von vielen fleißigen Händen auf Hochglanz poliert. Ein kurzer Schauer überrascht die Beteiligten beim Rollen zum Hangar, in dem die feierliche Übergabe stattfinden soll. Und so wird noch schnell alles blank gerieben, bevor der große Moment der Schlüsselübergabe kommt und ein neues Kapitel der DLR-Luftfahrtforschung aufgeschlagen wird.

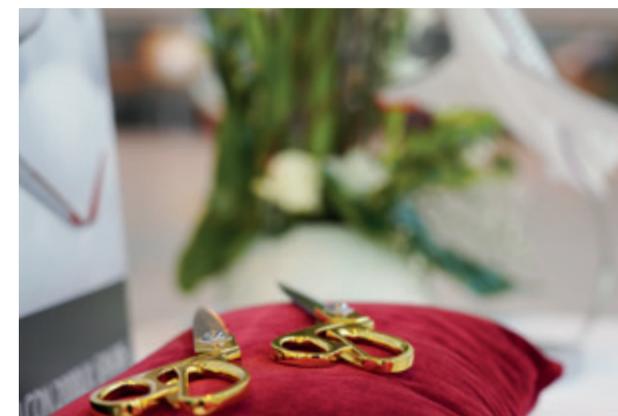
### Gerüstet für die Umrüstung

Doch zurück zum Anfang: Im April 2018 schloss das DLR auf der Internationalen Luftfahrtmesse ILA in Berlin den Kaufvertrag mit Dassault. Am Sitz des französischen Flugzeugherstellers in Bordeaux erhielt der Twinjet zunächst Sensoren, Halterungen, neue Kabelwege und weitere Modifikationen nach DLR-Spezifikationen – alles Vorbereitungen für den Einbau der Basismessanlage. Diese zentrale Einheit in der ISTAR-Kabine wird zukünftig neben der Erfassung aerodynamischer Eckdaten des Flugzeugs gleichzeitig Signale der Experimentalsensoren und -antennen aufzeichnen. Dazu gehört eine Arbeitsstation mit zwei Plätzen für Flugversuchingenieure, die die Experimente und Daten während des Fluges überwachen und steuern. Bis zum Sommer 2020 wird die Basismessanlage von DLR-Ingenieuren in Braunschweig integriert. Mit ihr wird ISTAR dann zunächst als Flugversuchsträger in den Bereichen Aerodynamik, Aeroelastik, Strukturen und Antrieb eingesetzt.

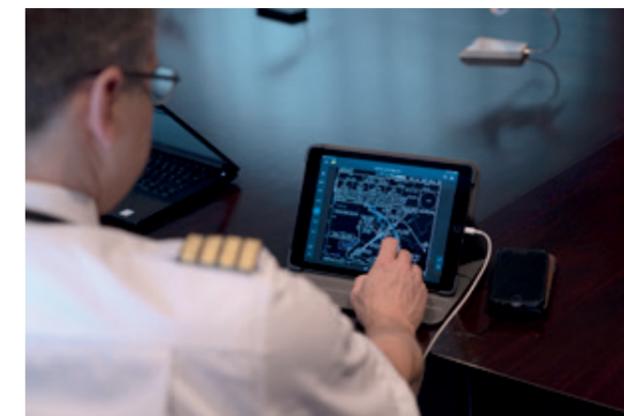
### Digitaler Zwilling als treuer Begleiter

Nun liegen in Bordeaux-Mérignac zwei Scheren auf einem roten Samtkissen, die Bänder sind gespannt und der DLR-Luftfahrtvorstand Prof. Rolf Henke sowie der Leiter der DLR-Flugexperimente Burkard Wigger stehen bereit. Stolz und Freude über den Neuankömmling sind ihnen anzusehen. „Unser jüngstes Forschungsflugzeug entwickelt sich zu einem Allrounder für eine optimierte Aerodynamik, Flugführung und Flugregelung. Auch ermöglicht ISTAR einen neuen großen Schritt hin zur Digitalisierung der Luftfahrt. Wir werden für ihn einen digitalen Zwilling erschaffen, der ihn sein ganzes Flugzeugleben begleiten wird“, sagt Prof. Henke. Nach der Übergabe fährt DLR-Testpilot Jens Heider gemeinsam mit einem Kollegen von Dassault auf die Rollbahn und gegen 14 Uhr ist der Take-off. Dieser Flug schließt die erste Umbauphase ab. In den nächsten Wochen, Monaten und Jahren stehen Forschungsflüge und neue Projekte im Dienste der Wissenschaft auf dem Programm.

Ein DLR-Projekt, das den ISTAR in den ersten drei Jahren eng begleiten wird, ist HighFly (High speed inflight validation). Es verbindet die Einarbeitung der DLR-Wissenschaftler auf dem neuen Flugversuchsträger mit dem Aufbau der Instrumentierung. Ab Mitte 2020 sollen erste Messflüge starten, bei denen die Forscher unter anderem flugmechanische und flugdynamische Eigenschaften bei spezifischen Flugmanövern erfassen. Im Herbst 2020 folgen ein Taxi Vibration Test (TVT) sowie ein Ground Vibration Test (GVT). Bei diesen Untersuchungen werden die Schwingungseigenschaften gemessen. Beim GVT

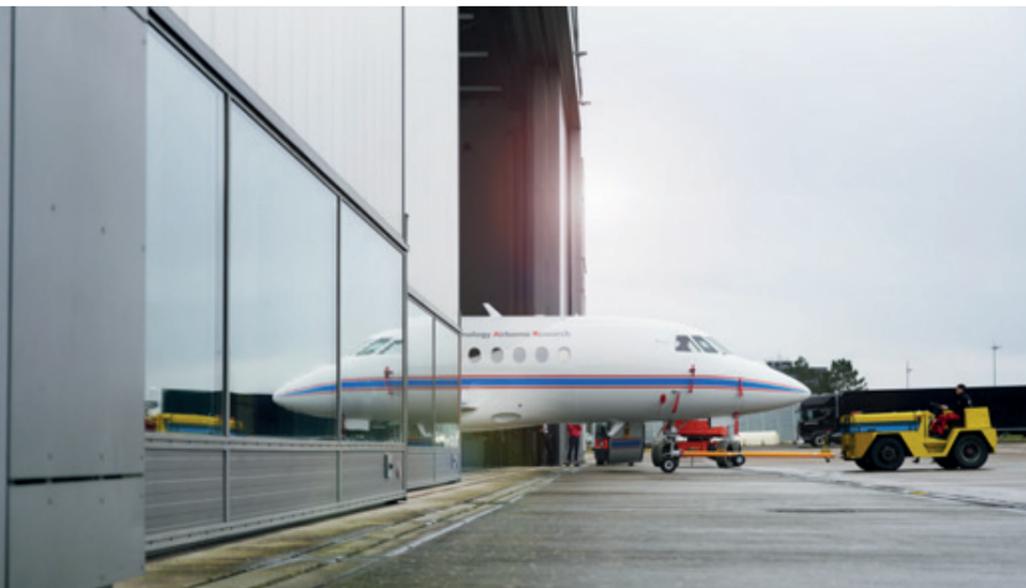


Warten auf den großen Einsatz: Während der offiziellen Übergabe des Flugzeugs vom französischen Hersteller Dassault an das DLR wird traditionsgemäß ein rotes Band durchschnitten



DLR-Pilot Jens Heider checkt noch einmal die Flugroute von Bordeaux-Mérignac nach Braunschweig

© DLR



Roll-out für das erste DLR-Forschungsflugzeug mit digitalem Zwilling



Markant: die orangefarbenen Winglets



Jens Heider flog ISTAR nach Braunschweig. Die letzten Meter am Boden übernimmt das Schleppfahrzeug.

steht das Flugzeug, während es beim TVT rollt. Um jede Bewegung zu erfassen, werden Wissenschaftler aus dem Göttinger DLR-Institut für Aeroelastik zusätzlich zu den fest installierten Beschleunigungssensoren zahlreiche weitere Beschleunigungsaufnehmer außen am Flugzeug anbringen. Diese erfassen auch, wie die angeregten Schwingungen gedämpft werden.

#### Bis an die Grenzen der Fliegbarkeit

Ab 2021 wird das den ISTAR-Aufbau begleitende Projekt HighFly in eine zweite Phase gehen: Lasermesstechnik, Spezialkameras und Mikrofone erfassen turbulente Strömungen und deren Akustik hinter dem laufenden Triebwerk. Dabei kommt die im DLR in Göttingen entwickelte Methode Particle Image Velocimetry (PIV) zum Einsatz.

Sie macht mit kleinsten lichtstreuenden Partikeln Strömungsmuster im gepulsten Laserlicht sichtbar. 2022 wird die Aerodynamik des ISTAR mit den neuesten Messtechniken des DLR in Braunschweig erfasst. Hierbei wird das neue Forschungsflugzeug an die Grenze seiner fliegerischen Leistungsfähigkeit gebracht. Die Ergebnisse dieser Versuche dienen dazu, Computermodelle zur Strömungssimulation zu verbessern und neue Flugzeuge exakter, leichter und energieeffizienter auszulegen.

Diese Forschungsarbeiten und Modifikationen der ersten Jahre sind wichtig, um Wissenschaftler und Piloten mit dem neuen Mitglied der großen DLR-Forschungsflugfamilie – übrigens mit zwölf Flugzeugen und Hubschraubern die größte zivile Forschungsflotte Europas – vertraut zu machen. 2023 wird ISTAR erneut zu Dassault nach Frankreich

fliegen, um dort ein experimentelles System zur elektronischen Flugsteuerung (Fly By Wire) und einen experimentellen Autopiloten zu erhalten. Hiermit können automatisierte Pilotenassistenzsysteme erprobt werden, einschließlich des automatischen Rollens und Startens. Das System wird auch für Tests zur Integration unbemannter Luftfahrzeuge in den kontrollierten Luftraum zum Einsatz kommen. Mitte der Zwanzigerjahre folgt dann der dritte und finale Ausbauschritt bei Dassault. Dann können mit dem ISTAR Flugeigenschaften neuer Flugzeugentwürfe real oder virtuell, bemannt oder unbemannt, unter realen Betriebsbedingungen getestet werden. Sein digitaler Zwilling wird mit sämtlichen Daten über den ganzen Lebenszyklus von ISTAR gefüttert. Mit ihm wird die aktuelle Betriebsphase des realen Flugzeugs gespiegelt, aber auch Umbauten, Wartung und Instandhaltung sowie operationelle Aspekte werden nachvollzogen und gemanagt.

Am 31. Januar 2020 gegen 16 Uhr steht die Sonne tief über den Wolken und ISTAR geht in den Anflug auf den Forschungsflughafen Braunschweig. Die internationale Luftfahrtcommunity verfolgt die Anreise über die sozialen Medien. Erwartungen und Vorfreude auf das neue, vielseitige Forschungsflugzeug sind schier mit Händen zu greifen. Am Boden warten bereits Fotografen, Kameralente und zwei Feuerwehr-Löschfahrzeuge für den standesgemäßen Empfang. Nach dem Aufsetzen erhält der Neankömmling zur Begrüßung eine Dusche durch zwei Feuerwehrfahrzeuge. Vor dem DLR-Hangar ist ISTAR mit dem Sonnenuntergang in seiner neuen Heimat angekommen. Mit den Eindrücken dieses Fluges blickt DLR-Luftfahrtvorstand Prof. Rolf Henke nach vorn: „Es ist genau das richtige Flugzeug für das DLR, für die jetzige Zeit, für die Forschung, die vor uns liegt.“

Falk Dambowsky ist Presseredakteur im DLR.



Der Neankömmling wird bestaunt



Das Flugzeug ist der Star des Tages



Bahn frei! Mit dem fliegenden Forschungslabor werden neue Flugzeugkonfigurationen simuliert.

# IN ZEITLOSEN RÄUMEN

Geschichte bewahren, Geschichte(n) erzählen, Brücken bauen – im Zentralarchiv des DLR werden Vergangenes, Gegenwärtiges und Ideen mit Zukunft aufgehoben.

Von Peter Zarth



## Arche des Lebens, Archiv für die Erde

Das Wort ist alt, modern, zeitlos: Arche (ἀρχή). Antike Philosophen bezeichneten so den Urgrund. Die Bibel nennt Noahs „großen Kasten“ Arche. In ihr wurden die Arten gerettet. Zur Charakterisierung zeitgenössischer Schutzräume für Kulturgüter wird auf das archaische Wort zurückgegriffen: bei der Voyager-Mission, bei der Arche Nebra, die es im Namen trägt. Der Barbarastollen in Oberried ist mit „Zentraler Bergungsort der Bundesrepublik“ nüchtern benannt, wird aber regelmäßig als Arche bezeichnet. International gilt der Globalt sikkerhetsshelv for frø på Svalbard auf Spitzbergen als größter Saatgutspeicher weltweit: eine Arche des Lebens, Archiv für die Erde.

## 100 Jahre Wissen für morgen

Manchmal muss man 100 Jahre alt werden, um so jung zu sein, dass einen das Alte interessiert. Für eine Institution wie das DLR, die es auf ihren Schild gehoben hat, „Wissen für morgen“ zu erkennen, ist 100 ja kein Alter. „Morgen“ ist für die Forschung täglicher Auftrag. Linus Pauling nannte das lakonisch: „Wissenschaft ist Irrtum – auf den letzten Stand gebracht.“ 2007 beging das DLR seinen 100. im Ursprungsort, Göttingen, mit einem Festakt. Aus diesem Anlass nahm die Idee Gestalt an, in dieser Stadt der Wissenschaften, die 45 Nobelpreisträger hervorgebracht hat, das Zentrale Archiv des DLR einzurichten. Zwei Jahre später war die Leitungsstelle zu besetzen.

Jessika Wichner steht zu dieser Zeit unmittelbar vor ihrer wissenschaftsgeschichtlichen Promotion. Sie hat sich beworben und ist auf dem Weg nach Schottland, eine ihrer Wahlheimaten, als ein Anruf sie erreicht. Wichner erhält nicht nur die Stelle, sie soll das Archiv mit aufbauen. Für so eine Aufgabe scheint sie prädestiniert zu sein: Die Tochter eines Fluglehrers ist nahe Göttingen mit Flugzeugen und mit Luftfahrt groß geworden. Sie hat ein Grundinteresse an Luft- und Raumfahrt zu Hause mitbekommen – und sie kennt das DLR. Thema ihrer Promotionsarbeit: „Der Traum vom Fliegen von der Antike bis zu den Ballonaufstiegen im Großbritannien Ende des 18. Jahrhunderts“. Sie sei überrascht gewesen, dass es auf diesem Forschungsfeld „so gut wie nichts“ gab, sagt sie im Gespräch mit dem DLRmagazin. Nicht zuletzt das Interdisziplinäre dieses Themas habe sie angesprochen: In ihrer Arbeit trifft sich die Luftfahrt mit Geschichte, Anglistik und Literaturwissenschaft.

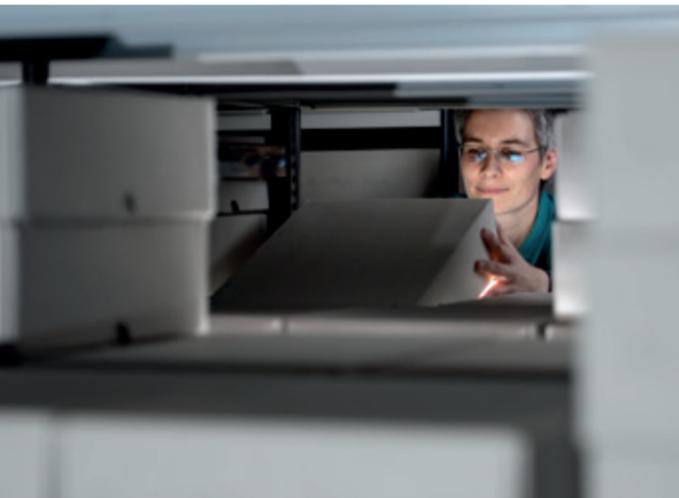
## Gelassenheit und Kreativität

Nach dem Anruf änderte sich für sie vieles. „Das war schon toll, zu erfahren, demnächst im DLR und an so etwas zu arbeiten“, erinnert sie sich. Diese Freude spürt man auch heute. Dr. Jessika Wichner kommt für diese Aufgabe aber nicht nur die im DLR angelegte interdisziplinäre Arbeitsweise entgegen. Als Rollkünstlerin hat sie seit früher Jugend Konzentrationsfähigkeit und Fokussierung auf Wesentliches gelernt. „Dank des Leistungssports habe ich eine gewisse Gelassenheit“, sagt sie, denn „im Wettbewerb, wenn es um eine Zehntelsekunde geht, kann man nicht einfach aussteigen“. Auch ihre „gewisse Kreativität“ führt sie mit auf den Sport zurück, denn dort „muss man, wenn der eine Weg nicht geht, sofort einen anderen suchen“.

## Die hohe Kunst des Weglassens ...

In ihrem Büro kommen wir auf die Kernaufgaben des DLR-Archivs zu sprechen, auf den Bestand und auf das Prozedere, wie Interessenten aus dem DLR ebenso wie aus der Öffentlichkeit Zugang erhalten. Das Verhältnis von externen Anfragen zu internen beträgt ungefähr zwei Drittel zu einem Drittel. Im Bestand gibt es mehr als 50.000 Dokumente. Ein Schwerpunkt liegt auf den Jahren nach 1969. Damals wurden die Überleitungsverträge der Aerodynamischen Versuchsanstalt (AVA), der Deutschen Forschungsanstalt für Luftfahrt (DFL) und der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) mit der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und

Gelassen, konzentriert, präsent und kreativ: Im Fokus des DLR-Zentralarchivs in Göttingen steht mit Dr. Jessika Wichner eine Leiterin, die prädestiniert ist, Vergangenes für das Heute und das Morgen zu bewahren und vor allem lebendig zu halten



© DLR

Raumfahrt e. V. (DFVLR) abgeschlossen. Erstmals ist die Rede vom heutigen DLR. Zu den wichtigen Dokumenten zählen auch Originale von Studienarbeiten Ludwig Prandtls, gewissermaßen des Gründervaters des DLR, aus dem Jahr 1897; in dieses „lebende Archiv“ wird heutzutage auch „die neueste Pressemitteilung aufgenommen“. Dr. Wichner erläutert: „Archivwürdig sind besonders Dokumente, die aussagekräftig über die Institution sind. Über das Sammlungsprofil entscheiden wir zusammen mit dem DLR-Vorstand.“ Hier seien die schwierigsten Fragen zu beantworten: „Was sammeln wir? Was ist in der Zukunft von Interesse?“ Bei der hohen Schule des Weglassens hilft ein Pflichtprogramm.

So werden besonders Vorgänge archiviert, die Rechtssicherheit gewährleisten, zum Beispiel ausgelaufene Patente der Dreißiger- und Vierzigerjahre wie auch Bauzeichnungen der DLR-Gelände. Hinzu kommt das, was regelmäßig angefragt wird – „archiviert nach bestem Wissen und Gewissen“, wie Dr. Wichner sagt. Es wird anhand einer administrativen Ebene unterschieden – bis hin zu ausgewählten Personalakten unter strikter Beachtung des Daten- sowie des Persönlichkeitsschutzes – und nach der Forschungsebene. Sperrfristen müssen beachtet werden: Es gelten die des Bundesarchivs, somit die längsten, die es in Deutschland gibt. Dokumente des DLR Raumfahrtmanagements und der DLR Projektträger gehen organisations- und historisch bedingt nicht in das Zentrale Archiv des DLR ein, sondern kommen ins Bundesarchiv.

Die mehr als 50.000 Dokumente oder, wie es offiziell heißt, die Verzeichniseinheiten, existieren in Form von Akten. Darin sind beispielsweise Besprechungsprotokolle und Vorstandsbeschlüsse bewahrt, Entscheidungen des externen DLR-Senats und des Wissenschaftlich-Technischen Rats des DLR sowie aus zig Protokollen. Zum Bildmaterial zählen 15.000 historische Glasplatten, im Wesentlichen aus Göttingen und Oberpfaffenhofen, außerdem Bildmaterial der DLR-Fotomedien, die 2019 rund 700 Aktenordner mit Negativstreifen übergeben haben, und vieles andere. Dr. Wichner erläutert: „Eine zentrale Ablage muss sein: Wir wollen die Mitarbeiter entlasten. Oft findet sich in dem, was für Altpapier gehalten wird, ein Schatz. Wir arbeiten gegen die Zeit, gegen den Wissensverlust.“ Letzterer betrifft auch älteres digitales Material, dessen Haltbarkeit auf Dauer wegen des Trägermaterials ein besonderes Problem darstellt. „Der IT-Bereich denkt in anderen, kürzeren Zeithorizonten und -erwartungen, als es ein Archiv muss.“ Hier könnten Verbünde helfen, beispielsweise mit dem Bibliotheksservice-Zentrum Baden-Württemberg in Konstanz.

Problematisch wird Archivierung auf einem nicht erwarteten Feld: „Wir werden eine Wissenslücke infolge zunehmenden E-Mail-Verkehrs haben, die Korrespondenz in alter Form gibt es kaum noch“, sagt Jessica Wichner. Wer die Zeit von Umlaufmappen und Papiervermerken erlebt hat, ahnt, was das bedeutet.

### Von Hausbesuchen, lohnender Vergangenheit und der Dimension Zukunft

Als lebendes Archiv sind Profil und Sammlung wesentlich auf die Mitarbeit der DLR-Kolleginnen und -Kollegen angewiesen. Archivierung ist freiwillig; ein Archiv soll allerdings auch kein Papierkorb für Überflüssiges werden. „Wir müssen Überzeugungsarbeit leisten“, so die Archivleiterin, „damit uns die Kolleginnen und Kollegen wahrnehmen, an uns denken und uns auf Schutzwürdiges aufmerksam machen“. Ist das der Fall, folgt eine Dienstreise, von ihr mit trockenem Humor „unser Hausbesuch“ genannt. „Einer der Hauptanlaufpunkte der Dienstreisen ist das DLR in Oberpfaffenhofen. Dort befindet sich die Stabsstelle Wissenschaftliche Information, geleitet von Dr. Jutta Graf, der neben dem Zentralen Archiv die DLR-Bibliothek und der Forschungsdatenmanager des DLR unterstellt sind.“ Oberpfaffenhofen erweist sich bis heute als der ergiebigste DLR-Standort, was Abgaben an das Zentrale Archiv betrifft. Die vier DLR-Kolleginnen und -Kollegen im Archiv sichten Nachlässe, werden auch schon einmal in eine Garage voller Altpapier gerufen und sind oft bei Umzügen vorab mit fachlichem Rat dabei.

Dass die archivierte Vergangenheit nicht komplett vergangen ist, zeigt „eine ganz andere Dimension“, die in der Archivierung wissenschaftlicher und technischer Arbeiten liegen kann. Jessica Wichner berichtet anekdotisch: „Im Archiv befinden sich Dokumente des Hubschrauberforschers Professor Walter Just.“ Er gründete 1953 die Deutsche Studiengemeinschaft Hubschrauber, die 1964 in die DFL in Braunschweig eingegliedert wurde. Zu den Dokumenten zählen Abschlussarbeiten von Studenten, die für heutige Ingenieure interessant sind. In ihnen finden sich viele Ideen, die damals nicht umsetzbar waren, aber heute, mit modernen Materialien, realisiert werden können. „Ein Beispiel“, so Wichner, „dass Vermittlung von Wissenschafts- und Technikgeschichte Potenzial für die Zukunft enthalten kann.“

### Brücken bauen für die Jugend

Die Zukunft gehört der Jugend. Archivarbeit bedeutet entsprechend auch, junge Menschen für diese Arbeit zu begeistern. Der „Zukunftstag“ (auch „Girls' Day/Zukunftstag“; in Niedersachsen auch für Jungen) bietet dazu gute Gelegenheit. „Wir schlagen Brücken“, sagt Dr. Wichner, „indem wir Kindern zeigen, wie und an welches Material wir herankommen, dessen Thematik sie aus dem Schulunterricht kennen“. Sie holt einen der „Schätze“ herbei: ein Originalschreiben des letzten deutschen Kaisers, Wilhelm II., das dieser lange nach seiner Abdankung aus dem Exil im niederländischen Doorn 1935 an den Braunschweiger Professor Heinrich Koppe richtete. Darin bedankte sich Wilhelm nicht nur für ihm überbrachte wissenschaftliche Arbeiten. Ihn hätte besonders „ein Vortrag über die praktischen Erfahrungen aus Blitzschlaegen in Flugzeuge“ interessiert. Alldem fügte er, heute würde man sagen, ein Autogramm hinzu – „als Zeichen Meines Dankes und Meiner Anerkennung“ – und zeichnete beides majestätisch: in Purpurschrift.

© DLR



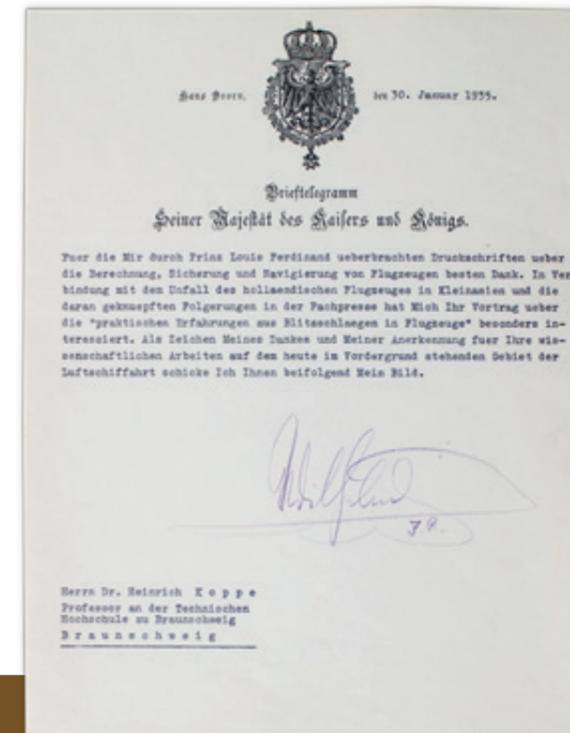
Nicht eingeschränkt: Offenheit bedeutet für eine Wissenschafts- und Forschungseinrichtung, wie sie das DLR ist, eine Qualität an sich. Für Besucherinnen und Besucher öffnen sich die Türen, hinter denen Dokumente geschützt bewahrt werden.

### Im Ideennetzwerk

Dr. Jessica Wichner schreibt schlicht, mit Bleistift. Auf Graphit angesprochen sagt sie, das sei zwar Zufall, Kugelschreibertinte bleiche aber viel schneller aus. Gute Historikerinnen, die ein Archiv leiten, erkennt man vielleicht an solchen Zufällen (die dann doch irgendwie keine Zufälle sind). Eine von ihnen arbeitet „bis heute unheimlich gerne“ in zeitlosen Räumen, in denen Geschichte, Geschichten, geliebtes Leben und die Zukunft gleichzeitig und gegenwärtig sind. Jessica Wichner sagt: „Mir macht es jeden Tag Spaß, ich lerne jeden Tag hinzu. Im DLR kommen Menschen zusammen, wir entwickeln Ideen in einem Netzwerk.“

Wir alle sind willkommen im Archiv und bei seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Auch Sie.

Peter Zarth arbeitet im Bereich Politikbeziehungen und Kommunikation des DLR.



Kaiserlicher Dank: Schreiben (Bild oben) des letzten deutschen Kaisers aus dessen Exilort Doorn in den Niederlanden an den Braunschweiger Professor Heinrich Koppe, dessen Arbeiten über „praktische Erfahrungen zu Blitzschlaegen in Flugzeuge“ betreffend



Typisches Beispiel für Akteninhalte im DLR-Zentralarchiv Göttingen: Arbeiten zu Aerodynamik von Trag- und Triebwerken

Archivwürdig: Mehr als 50.000 Dokumente, offiziell Verzeichniseinheiten genannt, gelten aktuell als besonders aussagekräftig im Hinblick auf die Institution DLR und deren Vorgängereinrichtungen



Papierne Schätze: Originale von Studienarbeiten des DLR-Gründervaters Ludwig Prandtl aus dem Jahr 1897 werden mit großer Achtsamkeit behandelt



Ohne Tunnelblick: das Team des Archivs (hintere Reihe von links: Stefan Bondzio, Thore Herzog, Ute Rasche; vordere Reihe: Jessica Wichner, Sylvia Arendt) zeichnet sich durch etwas aus, das man „fokussierten Weitblick“ nennen könnte: Genauigkeit, Wissbegierde, Durchhaltevermögen auch auf schwierigen Recherechfeldern

# REISE UM EINEN UTOPISCHEN PLANETEN

## Im Klimahaus Bremerhaven

Von Peter Zarth

**Streckenweise brillant wird erzählt, wie der Mensch sich der Natur entfremdet hat und von Orten berichtet, an denen er Teil der Natur ist. Eine Erfahrungsreise – dorthin, wo sich das Weltklima wandelt, mit ihm Natur, Mikroklimata und Leben. Folgen Sie uns zunächst auf etwas ungewöhnliche Pfade, entdecken Sie später die Klimawelten an der Wesermündung unbedingt selbst.**

Der Schriftsteller, Neurologe und Psychiater an der Charité, Ernst Augustin, schildert in seinem Roman „Raumlicht: Der Fall Evelyne B.“ eine Reise, die vieles enthält: Sie verläuft Außen und führt uns bis Kandahar, sie verläuft Innen und lüftet das Geheimnis des titelgebenden „Raumlichts“; sie ist Vexierspiel, (Alb-)Traum, Wirklichkeit und Wahn, kühn und wahrhaftig, natürlich verrückt, und sie dauert, genau genommen, nur vier Stunden.

### Verrückte Räume

Die Szenerie ähnelt in manchem der im Klimahaus Bremerhaven (KHB). Augustin erzählt auf den Breitengraden von Literatur und Fantasie; im KHB reisen Sie entlang des Längengrads 8°34'30". Kurz: 8° Ost. Beide, Roman und „Wissens-/Erlebniswelt“, so die vom Zeitgeist umwehte Selbstbezeichnung, (ver)einigen die Wissbegier des Menschen, seine Neugier, die Freude am Rätsel und seine Fähigkeit, es besser zu machen. In „Raumlicht“ sind es zwei Menschen, ein älterer Mann und eine deutlich jüngere Frau, von denen er sich rettet, indem er sie auf den Weg bringt, sich retten zu können. Die Reise der Jungen ist unsicher. Sie muss durch Räume gehen, die ein Psychiater ihretwegen verrückt und außerordentlich gestaltet hat, ohne dass sie davon ahnt. Ihr Weg führt sie durch Zimmer in einem unscheinbaren, sehr schmalen, aber langen Haus und verwirrt ihre Sinne.

### Fast alles im Fluss

In Bremerhaven gehen Besucher in einem außergewöhnlichen, sehr großen Haus auf Erlebnistour. Sie führt um unsere „Eine\_Welt“, nach einem Auftakt, der architektonisch noch nichtssagend und vom Schmutzgrün eines bereits nach einem Dezennium in die Jahre gekommenen Gebäudes geprägt ist. Im Inneren dürfte die Reisenden einiges, im Bild gesprochen, umwerfen. So schwitzen sie in einer trockenen, heißen Wüste, nahe dem Flecken Kanak, Niger, gehen durch eine Tür ... und finden sich 1.158 Kilometer weiter südlich in schwül-feuchtem Regenwald wieder – in Ikenge, Kamerun.

Aus dem heißem Nichts kommend, sind sie plötzlich an einem Fluss, dessen Wasser so klar ist, dass man es nur wahrnimmt, wenn es Wellen schlägt. Welse, Buntbarsche, eierlegende Zahnkarpfen und Salmir ziehen ihre Bahnen. Das Gewässer ist eingebettet in Mangroven, Stromschnellen, Fels. Eine Hängebrücke führt darüber, Tauwerk, Bohlen, die den Blick nach unten frei lassen. Über sie geht, etwas wacklig, eine Frau. Sie trägt hochhackiges Schuhwerk, das, ja, wohin eigentlich passt? Jedenfalls nicht in die feuchte Nässe der Tropen. Sie geht damit wie selbstverständlich, in empfindlichem Gleichgewicht.

### Tod in der Idylle

Und Sie? Geschieht das für Sie zu abrupt, nach der Glutwüste? Eben wurde Ihnen 35 Grad heiße Luft um die Beine geblasen. Hitze, dass Gedanken einschliefen. Sie lagen auf einer Matte in ockerfarbener Leere, blickten zu einem Himmel aus Stahl, dösten. Oben flimmerte es. Im Film erzählten Tuareg von ihrem Leben, von scheinbarer Idylle: Zicklein, Kinder mit weit geöffneten Augen ... Allerdings regnet es kaum noch. Klimawandel bringt Tod ...

Plötzlich dann: Wasser in den Tropen. Fische. Regen, der prasselt. Wasser von oben, Wasser unten. Tanzende Kinder, Trommelklänge, im Film. Dauerrauschen von Katarakten. Irgendwo lauern Stumpfkrokodile. Galago-Äffchen schreien wie Babys, es ist schwül. Die Frau auf der Hängebrücke ist stehen geblieben: nudefarbene Plateaus im Urwald. Skurriler als ein Roman.

### Minus sechs Grad: Hochsommer

Der Blick sucht Ruhepunkte. Sie lauschen Vogelstimmen. Wiederum plötzlich, multimedial: Kettensägen kreischen. Regenwald wird gerodet, Ölpalmen werden gepflanzt. In Monokulturen wird Palmöl gewonnen. Dadurch werden Kohlendioxidspeicher vernichtet, Ökosysteme zum Kollabieren gebracht. Palmöl ist in jedem zweiten Supermarktprodukt enthalten. Nirgends Idylle. Schon gar nicht auf Palmölplantagen. Irgendwann schieben Sie einen Vorhang beiseite. Dessen Hartplastik erinnert an Schlachthof, Kühlhaus. Der Weg führt wenige Holzstufen hinauf. Die Luft wird eiskalt. Es ist Hochsommer: minus sechs Grad. Sie sind im Königin-Maud-Land, Antarktis. Ganz schön divers, die Klimawelten.

Im KHB wird das erfahrbar. „Europa ist die Wiege der Kultur, aber man kann nicht sein ganzes Leben in der Wiege verbringen.“ Oskar Maria Graf wird dieses Zitat zugeschrieben. Es steht am Beginn der „Reise“. Wer sich darauf einlässt, kommt bereichert zurück und fragt: Welche Kulturen der Welt sind der Natur noch nah? Wo lebt der Mensch in der Natur? Wo ist er ihr nicht entfremdet?

Das strengt an, die Mischung aus verbrauchter Luft, Staub, Hitze, Kälte, Feuchte. Zum Glück gibt es ein Restaurant. Sie können abbiegen, kurz hinter Kamerun. Zwei Mal links, ein Mal rechts – ein Aquakulturfisch liegt auf dem Teller. Oder wollen Sie erst zu Pinguinen, an Samoas Strände, zum Clownfisch, zum Korallenwächter? Durch eine „Sternenpforte“? Gar exotisch: auf eine Lore und ab durch Wattenschlick? Am Ende der Tour, die im Hochgebirge mit Gämsen und Mankeien begonnen hatte, möchten Sie so viel wie möglich von dem retten, was auf dem Überlebensspiel steht.

### Einfach, großartig, gelungen!

Blicken wir 20 Jahre zurück. Der Planet war nicht in Ordnung, Wörter wie „Narrativ“ und „Storytelling“ schwammen im Brutkasten der Zeitgeistausdrücke. Der heutige Geschäftsführer des KHB und ein paar rührige Geister wollten eine Geschichte erzählen. Sie hatten die einfache Idee, aus einem riesigen Schotterparkplatz, einer Brache an der Weser, eine touristische Attraktion für Bremerhaven zu machen. Ahoi, hätte man rufen wollen angesichts der Strukturprobleme im Norden: Viel Glück! Das würde komplex werden. Deshalb müsste die Geschichte einfach erzählt werden. Eine schwierige Aufgabe. „Klima“ lag auf der Hand. Zielvorgabe: bei vielen Menschen einen bleibenden Eindruck erzielen, sie für ein Thema interessieren. Gleichzeitig für die Stadt, die sich in einer Randlage übersehen fühlte, ein Haus schaffen, mit dem man sich identifizieren kann.

### Wolkig vor Anker

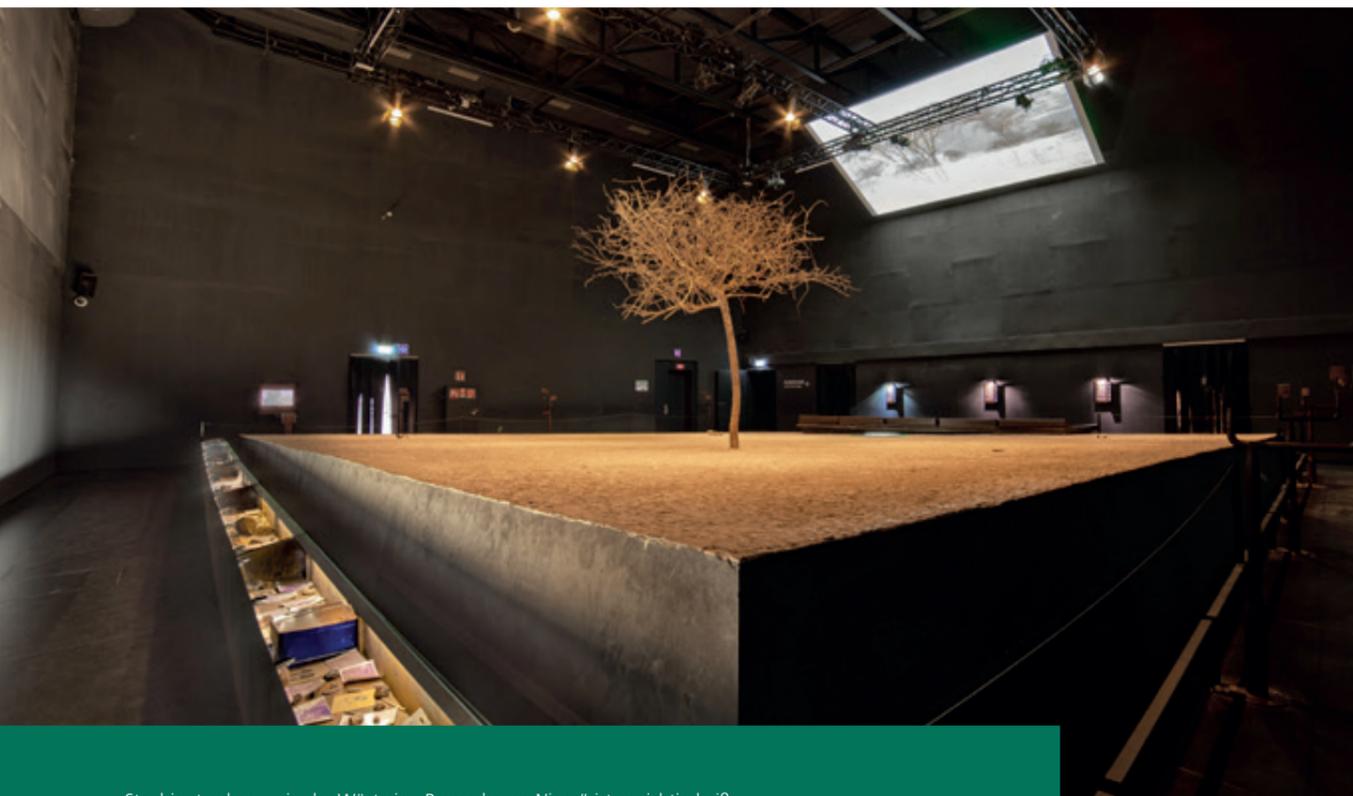
Man wollte ein städtebauliches, amorphes Wahrzeichen schaffen. Den Architekten soll es an eine Wolke erinnern, andere an ein Kissen. Nun ja. Von außen hat das KHB eine für seine Entstehungszeit typische Architektur: Wirkung durch Überhöhung. Funktion wird da schon mal Nebensache. Die Wanderdünen der Baukunst sind über dieses Diffuse hinweggegangen. Ob das kubische Raumkonzept gelungen ist, bezweifeln nicht nur der Rezensent, sondern auch viele, mit denen er gesprochen hat. Unmittelbar neben dem Klimahaus Bremerhaven steht mittlerweile sogar eine Mall, in „mediterranean Stil“: Kulisse halt. Glücklicherweise findet sich ein paar Schritte weiter mit dem Schifffahrtsmuseum ein Bau (des Bremerhavener Hans Scharoun), bei dem der Architekt das, was ausgestellt wird, in den Mittelpunkt stellt.

### Lemminge auf Urlaub

Das Konzept der „Reise“ sowie dessen Umsetzung indes überzeugen. Man vergisst die Hülle aus Schein. Notausgänge sollten aber leichter zu finden sein. Mehr als eine halbe Million Besucher pro Jahr,



Im Klimahaus Bremerhaven traut man sich was: Eine Lore, mit der Personen und Material durch den Wattenschlick auf die Hallig Langeneß transportiert werden, wurde in die Schwebel gebracht



© KHB

Staubig, trocken ... in der Wüste in „Bremerhaven-Niger“ ist es richtig heiß



Außenansicht des Klimahauses Bremerhaven. Die Fassade lässt kaum erahnen, welche abenteuerliche Reise den Besuchern bevorsteht.

trotz hoher Eintrittspreise, sprechen eine klare Sprache. Vieles wirkt gelungen. Die Unesco hat das Haus mehrfach als „außerschulischen Lernort der höchsten Kategorie“ ausgezeichnet. Angebote des KHB gehen über die „Reise“ hinaus, ergänzen oder erweitern sie. „Authentizität“ ist Programm. Ein Beispiel: Ikenge. Jede Fischart in diesem Themenbereich kommt auch in Kamerun vor. Tiere sind, in Abstimmung mit den dortigen Behörden, außerhalb von Naturschutzgebieten gefangen worden. Im Klimahaus gibt es übrigens beständigen Wandel. So sind die Lemmings gerade auf Urlaub, lesen wir auf dem Weg in die arktische Tundra und gehen weiter durch die LED- „Sternenpforte“. Das Betreuungspersonal ist durchweg motiviert und erklärt fachlich versiert. Die Lemmings kommen übrigens zurück, anders als bisweilen auf ihren Wanderungen in freier Natur.

#### VerAntworten

Authentizität reicht bis zum wissenschaftlichen Ansatz des KHB, in dem unter anderem eine Geophysikerin mitwirkt, Arbeitsschwerpunkt Atmosphärenphysik, Klimamodellierung. Sie wünscht sich, dass Besucher ein Gefühl dafür bekommen, dass es sich lohnt, die Erde zu schützen. Menschen kämen nicht ohne Natur aus; dies gelte auch an Orten, die noch mehr vom Klimawandel betroffen seien. Im KHB seien alle Menschen Zielgruppe, Klimawandel sei den Mitarbeitern nicht egal. Jugend werde großgeschrieben, sie werde den Wandel am stärksten spüren. Auch für die Wissenschaft wolle man da sein. Das Alfred-Wegener-Institut, das Thünen-Institut, das Fraunhofer Institut für Windenergiesysteme, das Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie und Universitäten seien regelmäßig Gäste. Guter Gastgeber für Gastgeber zu sein, ist das Ziel. Der Clou: Touren entlang des achten Längengrads im Dunkeln.

#### Täglich Freitag: Utopien für künftige Generationen

Wie gut die Jugendarbeit ist, bekommt man mit, wer bei Schulungen zuschauen darf. Im Tagungsraum wird an „Utopien für künftige Generationen“ gearbeitet. Der Leiter hat schnell aus einer anfangs gelangweilten Schülergruppe ein Team von Interessierten geschaffen. Smartphones, Kleincomputer genannt, sind erlaubt. Nur der Lehrer merkt an: „Wenn sie denn sinnvoll sind.“ Da schlägt eine Schülerin bereits ein Projekt vor. Nebenbei referiert eine Meteorologin locker, allgemeinverständlich zum Thema „Wetter auf der Erde“. Jeder versteht, weshalb es 2018 so lange so heiß, so trocken war. Die Vorträge sollte sich jeder gönnen, der das Haus aufsucht. Nachfragen ausdrücklich gestattet. Wir erfahren viel, es ist unterhaltsam und wir hören von Orten wie Cherrapunji in den Khasi-Bergen. Dort gibt es 11.430 Liter Niederschlag pro Quadratmeter im Jahr. Zum Vergleich: 789 Liter pro Quadratmeter ist Durchschnitt in Deutschland. Dennoch hat Cherrapunji (Grund-)Wasserprobleme. Das Wasser sickert nicht in die Böden.

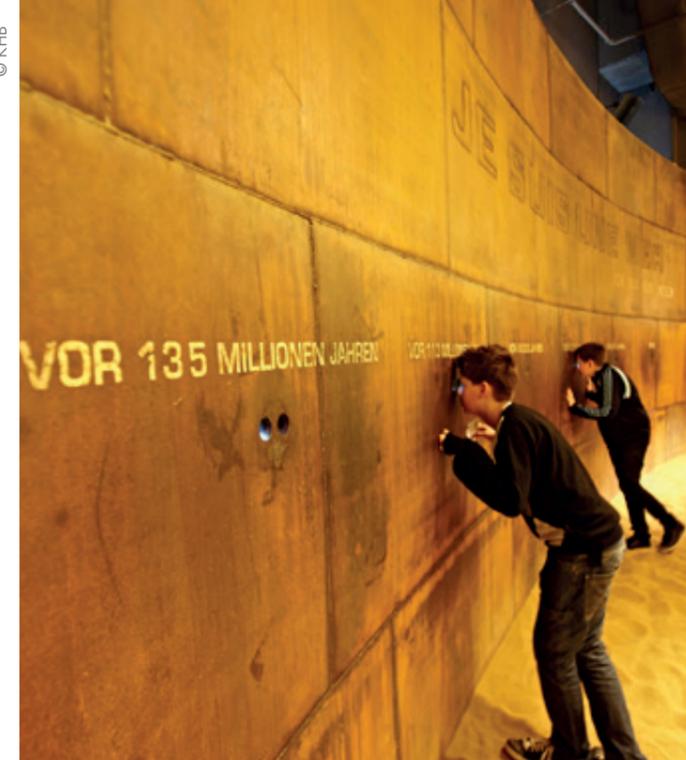
#### Ein gewisses Gespür für Veränderung

Langsam kommen wir zum Ausgangsort zurück, auch zum Beginn dieses Textes, zum Roman, der manches mit einer Reise in unbekannte Welten gemeinsam hat. Es gibt darin eine traumartige Flusslandschaft, exotische Tiere, metallisch grüne Käfer, an deren Existenz kaum zu glauben ist, es gibt die heilende Kraft der Erfahrung. Manches wirkt schizophran, wie bisweilen die politischen Diskussionen um den Klimawandel. (Sie sollten die letzte Seite von „Raumlicht: Der Fall Evelyne B.“ wirklich erst zum Schluss lesen, sofern Sie den Roman zur Hand nehmen. Es bleibt überraschend.)

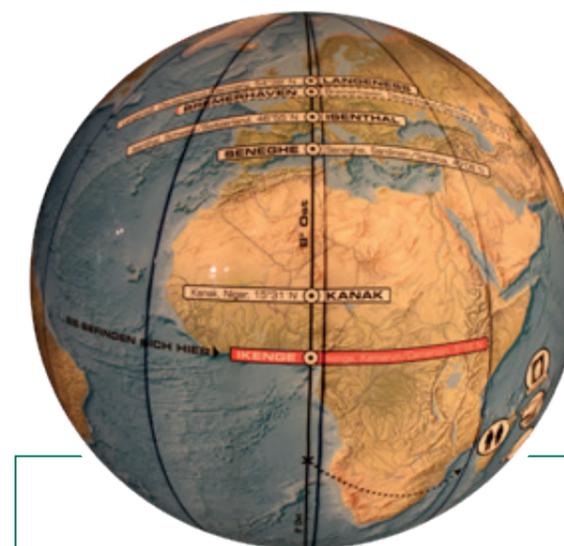
Im KHB ist die Welt auch nur scheinbar, wie sie ist: außerordentlich schön, beeindruckend, gefährdet. Wir reisen um die Erde und lernen, mit Kleinigkeiten Positives bewirken zu können. Sympathisch ist es, wenn die Verantwortlichen in den Vordergrund der Arbeit gestellt wissen wollen: Besucher seien für sie Philosophen, mehr oder weniger gleich, Menschen, die sich im anderen erkennen können. Man bekommt ein gewisses Gespür für Veränderung, wenn man von der Weser aus um den utopischen Planeten reist, entlang „8° Ost“, in rund vier Stunden.

Peter Zarth arbeitet im Bereich Politikbeziehungen und Kommunikation des DLR.

© KHB



Zu Recht wird das KHB wegen seines Bildungsangebots gelobt. Jugendliche zeigen sich an der Reise um den Planeten auf dem achten Längengrad interessiert.



Klimahaus Bremerhaven 8° Ost  
Am Längengrad 8  
27568 Bremerhaven  
Telefon 0471 902030-0

#### Öffnungszeiten

variierend, siehe [klimahaus-bremerhaven.de/oeffnungszeiten-preise.html](http://klimahaus-bremerhaven.de/oeffnungszeiten-preise.html)

#### Preise

Erwachsene: 17,50 Euro/Kinder: 13 Euro

#### Zusatzinformationen

Es gelten diverse Ermäßigungen und Sonderticketangebote, siehe: [klimahaus-bremerhaven.de](http://klimahaus-bremerhaven.de)



## NÄCHTLICHE ENTHÜLLUNGEN

Das Manko zuerst: Der Buchtitel **Die Erde bei Nacht** ist nicht der hellste Stern am Texthimmel, falsche Erwartungen liegen nahe. Denn in dem Bild-Text-Band aus dem Hause **Dumont** (Übersetzung von *The World at Night*, White Lion Publishing, London) geht es nicht um die nächtliche Erde in Bildern aus dem All, sondern um eine ganz und gar irdische nächtliche Fotoreise um die Welt. Und diese vermag nun wahrlich zu begeistern.

Dank der Streifzüge von 35 Fotografen durch 20 Länder sehen wir Facetten von Himmel und Erde, die uns meist verborgen bleiben. Mag uns an einem wolkenlosen Abend eventuell noch die eine oder andere stimmungsvolle Momentaufnahme glücken, so dürfte es doch den wenigsten von uns gelingen, Polarlichter, Meteorschauer oder unsere Milchstraße derart beeindruckend festzuhalten. Auch wenn der versierte Astrofotograf David Malin im Vorwort meint, eine handelsübliche Digitalkamera, etwas Können, Fantasie und Kenntnisse der Bildbearbeitung seien alles, was man brauche – die Bilder, die wir hier sehen, sind alles andere als alltäglich. Sie berühren durch ihre seltene Schönheit. Mal wurden sie monatelang geplant, wie die Aufnahme des untergehenden Mondes über Teneriffa. Mal harrete der Fotograf fünf Stunden im subarktischen Wald Finnlands aus, um kreisrunde Sternbahnen über dunklen Baumwipfeln auf Analogfilm zu bannen. Für eine Analemma-Abbildung der Sonne musste sich der Fotograf zweimal pro Monat exakt zur selben Tageszeit an denselben Ort begeben, die Sonne fotografieren und die Aufnahmen dann zusammenfügen. Zu sehen ist die für solche Aufnahmen charakteristische Figur in Form einer Acht. Zuweilen sind es wahre Kunstwerke, die dank großer Disziplin der Akteure entstanden. So könnte man eine Langzeitaufnahme heftig tanzender Polarlichter, die sich in einem ruhigen See spiegeln, auch für ein Werk van Goghs halten.

Für die Wirkung des Buchs setzt der Verlag auf die Kombination von Bildern und stellt maximal zehnzeilige Texte dazu, die sowohl etwas zum Ort der Aufnahme als auch zur Aufnahmetechnik sagen. Ein- bis zweiseitige Texte führen in jedes der sechs Kapitel ein. Mit leichter Hand und konzentriert auf Wesentliches beschreibt der Buchautor Babak Tafreshi, Jahrgang 1978, in den Texten die astronomischen Phänomene und Aufnahmetechniken. Er gründete und leitet die internationale Vereinigung *The World at Night* und hat den visuellen Rausch zusammengetragen. Er zeigt uns: „Die Nacht verbirgt die Erde, aber enthüllt das Universum.“ Ein Buch, das fasziniert, das uns beim Betrachten aber auch die Grenzen gedruckter Bilder spüren lässt. Es fällt zunehmend schwerer, sich mit den Fotografien zu begnügen. Der Wunsch wächst, hinauszugehen in die Nacht, auf einen Hügel, um den Zauber des Sternenhimmels selbst zu erleben, seine Weite zu erfassen, die Unendlichkeit zu ahnen. Doch der Weg in eine ausreichend dunkle Nacht ist weit ... Und so werden wir gewahrt: „Durch den Verlust des Nachthimmels büßen wir einen Teil der engen Verbindung zu unseren Ursprüngen ein.“

Cordula Tegen

## ALLGEGENWÄRTIGE KOSMOSKUNST

Raumfahrt hat sich in den Jahrzehnten zu einem wichtigen Teil der menschlichen Kultur entwickelt und diese stark beeinflusst. Im täglichen Leben wie im Denken. Dieses Denken wiederum findet seinen Ausdruck in der Literatur und anderen Formen der Kunst. Wie dies geschieht und welche historischen Zeitzeugnisse noch heute zu finden sind, beschreiben Dieter Seitz und Markus Kaiser in ihrem Bildband **Cosmic Culture – Soviet Space Aesthetics In Everyday Life** (Verlag Kettler).

Schon die ersten Seiten ziehen uns in einen seltsamen Bann. Raumfahrt als Beweis der Überlegenheit eines gesellschaftlichen Systems findet sich nicht nur in den Räumen sowjetischer Raumfahrteinrichtungen. Kinos tragen Namen wie Kosmos, Wostock oder Mir, auf Spielplätzen lassen sich Weltraumabenteuer nacherleben. Nicht alles ist Propaganda, vieles ist Stolz auf das Erreichte, beispielsweise wenn Einwohner einer kirgisischen Kleinstadt triste Mauern kunstvoll mit Weltraummosaiken verschönern.

Der Band gibt Einblick in eine vergangene Zeit. Vergangen? Nein. An Orten wie Berlin sind Zeugnisse dieser Faszination noch heute zu finden. Seien es Stromkästen, die durch Weltraummotive ihres tristen Graus beraubt worden sind, das weltweit größte, über sieben Etagen reichende Gagarin-Porträt in der Ludwigsfelder Straße in Berlin-Hellersdorf oder der Astronaut, der in Kreuzberg auf einer riesigen Brandmauer schwebt.

Andreas Schütz



## DOKU ÜBER EIN VERHINDERTES RAUMFAHRT-START-UP

Die deutsche Raumfahrt hat viele Kapitel und längst nicht alle sind bekannt. So stößt der Filmmacher Oliver Schwehm rein zufällig auf die Geschichte von Lutz Kayser, einem deutschen Ingenieur, der in den Siebzigerjahren des letzten Jahrhunderts versuchte, Geschäft, Technologie und Technik zu verbinden. Fast hätte man vom ersten Raumfahrt-Start-up sprechen können. Doch der Visionär löste mit seinen Aktivitäten in Zaire und später in Libyen politische Verwicklungen aus, die einem Erfolg im Wege standen und bis heute nachwirken.



Lutz Kayser, Raumfahrtstudent in Stuttgart, hatte viele Ideen. In Deutschland fielen diese nicht auf fruchtbaren Boden. Doch der Geschäftsmann Kayser fand den notwendigen Geldgeber im Diktator von Zaire (heute Demokratische Republik Kongo), Mobutu. Dieser verpachtete der Orbital Transport und Raketen AG (OTRAG) 100.000 Quadratkilometer (!) Land als Testgelände, nicht ohne Hintergedanken. In dem Film **Fly Rocket Fly – mit Macheten zu den Sternen** (EuroVideo Medien) erwacht Geschichte zum Leben. Anhand teils unbekannter Archivmaterials erzählt Schwehm eine unglaubliche Story, ein Abenteuer, das im Kalten Krieg politische Wellen schlug. Drei Jahre lang folgte er dafür den Spuren der OTRAG, machte sogar frühere Mitarbeiter ausfindig. Sein größter Coup jedoch: Am Ende der Welt, auf den Marshall-Inseln, fand er Lutz Kayser selbst, den immer noch charismatischen Wissenschaftler, Forscher und Geschäftsmann.

An so mancher Stelle der Dokumentation wäre ein Off-Kommentar zur historischen und politischen Einordnung angebracht gewesen. Doch die Protagonisten geben sich alle Mühe, die Umstände zu erläutern. Auch bleibt die Frage unbeantwortet, ob sich Kayser damals nicht doch der Konsequenzen seines Handelns bewusst gewesen ist ...

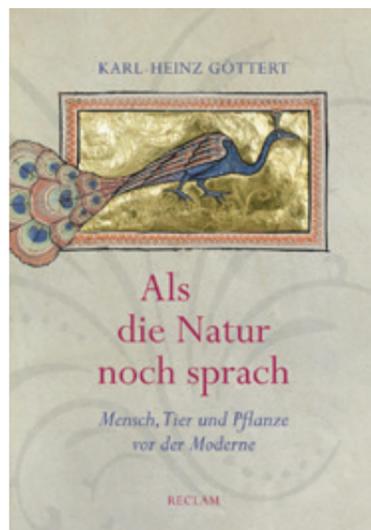
Andreas Schütz

## BERUHIGUNG FÜR FLUGÄNGSTLICHE

Die Maschine nimmt Fahrt auf, ihre Nase reckt sich nach oben, das Flugzeug hebt ab. Alles normal. Und doch ist es manchem Passagier nicht ganz geheuer. Wie können sich hunderte Tonnen Metall und Plastik in die Luft erheben? Was war denn das jetzt wieder für ein Geräusch? Warum haben Flugzeugfenster kleine Löcher? – Solche Fragen beantwortet Mathias Gnida in seinem Buch **Was passiert beim Fliegen?** (Motorbuch Verlag). Gerade für Menschen, für die der Flugzeugrumpf eher einer Angströhre gleicht – aber nicht nur für sie –, liefert der Autor verständliche und nachvollziehbare Antworten, die über das eine oder andere „Luftloch“ hinweghelfen. Auf rund 100 häufig gestellte Fragen rund um das Fliegen antwortet der ehemalige Pilot und heutige Flugangst-Coach kurzweilig und kompetent. Informationen für ein entspanntes Fliegen ohne Angst. Das Buch ist in jedem Fall besser für das Lesen über den Wolken geeignet als Andreas Spaeth's „Crashtest – die verborgenen Risiken der Fliegens“.

Andreas Schütz





## IN DER WUNDERBAR

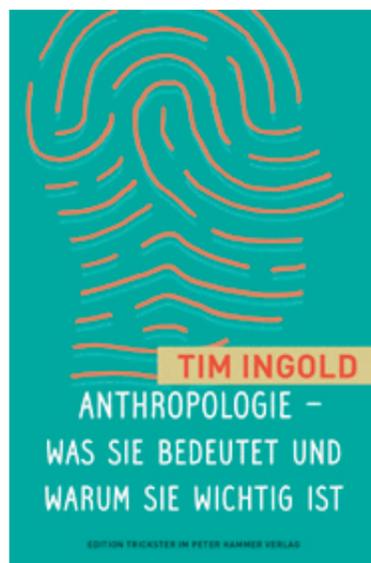
Das Wunderbare an einem Hype? Er ruft flugs Widersacher auf den Plan. Wenn sie klug und humorvoll sind, wie Literaturwissenschaftler Karl-Heinz Göttert, kommt ein 390 Seiten starkes **Reclam**-Bändchen heraus. **Als die Natur noch sprach – Mensch, Tier und Pflanze vor der Moderne**, antwortet auf den Hype um das Thema Natur. Dieser sei, so Göttert, mit der Sehnsucht verbunden, problematische Seiten der Moderne zu vergessen.

Um welchen Naturbegriff geht es? Göttert liefert Geschichte(n) der Begriffe von Natur vor der Moderne: von Aristoteles, Platon und Plinius zu Naturbeobachtern bis in die Renaissance – anekdotisch, faktenreich. Natur-Auffassungsgeschichten. Höchst amüsant! Wir würden sie auch gerne glauben. Was wurde nicht alles „erkannt“. Wunderbar.

Harter Schnitt in die Moderne: Ihr Beginn liegt laut Göttert bei Bacon und Galilei. Die treiben uns aus dem Paradies von Göttern und Dämonen, weg von einem „Sinn“ der Natur. Sie lehnen es ab, Sinn zu unterstellen, mit dieser Unterstellung auf Erkenntnis aus zu sein.

Dies führte laut Göttert zu perfekter Wissenschaft mit ihren Erfolgen. Nicht alles Wissen der Vormoderne sei falsch gewesen. Irrtum gehöre dazu. Vor Illusionen sei zu warnen. Götterts Buch – eine Schule in Demut. Der Hype um das Thema Natur, so der Autor, sei übrigens wunderbar.

Peter Zarth



## DER WELT UNTER DIE HAUT

Ein vergötterter Begriff: Anthropozän. Wissenschaft allerdings ist vorsichtig. Sie denkt nicht in Halbwertszeiten des Tages. Wegen der etymologischen Nähe der Begriffe ist der Blick auf die Anthropologie gestellt. Sie stellt einfache Fragen: „Wie sollen wir leben?“, fragt der Anthropologe Tim Ingold in **Anthropologie – Was sie bedeutet und warum sie wichtig ist (Peter Hammer Verlag)**. Das könnte auf wirkmächtige Wissenschaft hinauslaufen. Problem: Die Frage gibt das Feld der Antwortmöglichkeiten vor.

Ingold schafft: Abgrenzung/Kritik von Anthropologie, Philosophie, Naturwissenschaft; Überblick auf die Geschichte der Anthropologie; Annäherung an eine Antwort. Die Anthropologie sagt nicht, was man wissen möchte, sie erschüttert den Grundgedanken dessen, was man zu wissen glaubt. Eine „Disziplin im Entstehen“, „Philosophie, an der die Menschen beteiligt sind“. Natur- und Humanwissenschaften hätten das Gefühl gemeinsam, die Welt von einem Ort aus zu vermessen, der außerhalb von ihr liege, von wo aus sie blicken und sich über ihr Funktionieren auslassen könnten. Heisenberg, Gödel? Schmunzeln.

Es sei Ziel, „das menschliche Leben zu einem Gespräch zu machen“, zu beobachten, „indem wir anderen Aufmerksamkeit schenken“. Teilnehmende Beobachtung: Methode der Forschung mit den Menschen. Da die Welt in Struktur und Zusammensetzung nicht festgelegt sei, öffne man Sachverhalte für Vorstellungswelten, die durch die Erfahrungen von Menschen bereichert wurden. Ingold begreift Natur, Kultur als Fragen. Er kritisiert die Natur- und Humanwissenschaften in einem weiteren Punkt: Die Kluft zwischen ihnen führe zur Entfernung des Menschen aus der Natur. Anthropologen seien Jäger. Jagd erfordere es, vom Tier zu träumen, ihm unter die Haut zu gehen, um zu empfinden, wie es empfindet, es von innen heraus zu kennen.

In der Näherung der Naturwissenschaft an die Kunst werde sich die Anthropologie finden, auf eine andere naturwissenschaftliche Praxis weisen, auf einen Weg, mit der Welt in Verbindung zu treten statt sich Befugnisse zu ihrer Erklärung anzumaßen. Anthropologen treibe nicht Verlangen nach Erkenntnis, sondern eine „Ethik der Sorge“. Überaus lesenswert.

Peter Zarth

## TIPPS FÜR JUNGE LESER

### VIELFALT TECHNIK



Farbenfroh und reich an Schaubildern sowie Grafiken: So präsentiert das Buch **Technik einfach verstehen – praktisches Wissen grafisch erklärt (DK Verlag)** auch fachfremden oder weniger technikaffinen Lesern verschiedene Bereiche von Technik. Schon das Cover lädt ein, das Buch aufzuschlagen. Anwendungsfelder wie Energie- und Verkehrstechnik, aber auch Technik im Haushalt oder in der Landwirtschaft werden anhand unterschiedlich komplexer Beispiele vorgestellt. An der vielseitigen Darstellung kann sich eine breite Leserschaft erfreuen: Funktionsweisen diverser Alltagsgegenstände wie Computer, Digitalkameras, Smartphones, Wasserkocher oder Toaster werden erläutert. Aber auch komplexere Sachverhalte wie künstliche Intelligenz, Kernenergie, Brennstoffzellen und Telekommunikationsnetze werden aufgegriffen. Kurze, farblich unterlegte Textabschnitte, beschriftete Skizzen, Schaubilder und Grafiken geben einen guten Überblick. Ob hier weniger mehr gewesen wäre, das können die Leserinnen und Leser entscheiden, von denen das interessante Buch viele finden sollte.

Lina Pohl

### ADA UND DIE KARTE MIT LOCH



Der Verlag **NordSüd** steht für tolle Kinderbücher. Und der Titel lockt: **Ada und die Zahlen-Knack-Maschine**. Was für ein Wort. Auch die fröhlich-hintergründige Titelbildillustration verheißt Freude bei der Lektüre. Die in warmen Beige-, Grau- und Rosétönen gehaltenen, zuweilen an Buntstiftzeichnungen erinnernden Illustrationen wärmen das Herz. Gern folgt man der von Grund auf neugierigen Ada, lernt Mutter, Vater und das Milieu im London des 19. Jahrhunderts kennen. Doch wann kommt dieses Zahlenknackdings? Auf Doppelseite acht von neun landen wir endlich bei der „Analytischen Maschine“, die mit Lochkarten gefüttert wird. Aber wie geht das? Hm – hier verlieren wir Ada, erfahren zwar, dass sie eine Pionierin auf dem Weg zum Computer war, bleiben jedoch mit fragendem Blick zurück. Nur die Großen können am Ende des Buchs noch lesen, wer Ada Lovelace war und dass die Association for Women Computing einen Preis nach ihr benannte. Aber da toben die Kinder schon andernorts ...

Cordula Tegen

### KREATIVE STILLE



Ein **Ausflug zum Mond**, was für eine fantastische Vorstellung. In dem Bilderbuch des Grafikers John Hare (**Moritz Verlag**) darf eine Schulklasse dieses außergewöhnliche Ziel erkunden. Während die anderen Kinder die Geologie des Monds bewundern, zeichnet eins verträumt die in der Ferne leuchtende Erde, verliert die anderen aus den Augen ... und wird schließlich gänzlich vergessen und zurückgelassen. Es bleibt allerdings mit seinen Mal-Utensilien nicht lang allein – so viel sei verraten. Es fällt leicht, sich in den liebevoll gezeichneten Bildern zu verlieren. Zusammen mit dem zurückgelassenen Zögling erkundet man die außergewöhnliche Fauna unseres Erdtrabanten. Fast noch schöner ist, dass ganz auf Text verzichtet wurde. Unwillkürlich möchte man die Bilder gemeinsam mit den Kleinsten mit eigenen Geschichten füllen. Absolut bezaubernd.

Julia Heil

### LINKTIPPS

LUFTFAHRT VON A BIS Z

**skybrary.aero**

Die Luftfahrt spricht ihre eigene Sprache und mit den unzähligen Fachtermini könnte man eine Buchreihe publizieren, die mehr Platz im Bücherregal einnimmt als der Brockhaus. In der SKYbrary ist diese komplexe Welt zu einem aufschlussreichen Wiki zusammengefasst, das sowohl Interessierte wie auch Fachkräfte zu schätzen wissen dürften. (Englisch)

ZEIGT HER EURE ERDE

**wissenschaftsjahr.de/2020/expedition-erdreich**

Expedition Erdreich ist eine Citizen-Science-Aktion, bei der jede und jeder in Aktion treten kann, um der Wissenschaft zu helfen, heimische Böden besser kennenzulernen. Denn der Zustand der Böden ist essenziell für eine biobasierte Wirtschaft, die auf nachwachsende Rohstoffe setzt. Ziel ist es, möglichst viele Daten mit Hilfe des sogenannten „teabag“-Index zu sammeln. Wie der Name schon sagt, braucht es dazu nur einfache Teebeutel.

LANDEÄSTHETIK

**mahobeachcam.com**

Sonne, Meer, Strand und Flugzeuge knapp darüber: Viele haben schon einmal Bilder oder Videos landender und startender Jumbojets gesehen, die den Badegästen zum Anfassen nahekommen. Über eine Webcam kann man dem Treiben auf dem berühmten Princess Juliana Airport der Karibikinsel St. Maarten gespannt zusehen.

BESUCH BEIM FLUGLEHRER

**pyrochta.ch**

Ob als Vorbereitung für die Privatpilotenlizenz oder den heimischen Simulator – Fluglehrer Helmut Pyrochta bietet auf seiner Seite Lernmittel und Simulatoren, die einem grundlegende Systeme und Verfahren im Cockpit näherbringen. Ohne großen technischen Aufwand lernt man hier beispielsweise, wie im Flugzeug navigiert oder der Preflight-Check einer Cessna durchgeführt wird.

ALLES SINGT

**faz.net/natursymphonie**

In der sogenannten Klangökologie sammeln Naturforscher Töne rund um den Erdball. Einige dieser Symphonien hat der FAZ-Redakteur Andreas von Bubnoff in dieser Multimedia-Reportage gesammelt. Er geht auf eine akustische Reise zu Pistolenkrebsen in Neuseeland, zu Zikaden in Mexiko, aber auch zu Kröten in der Nähe eines Flughafens. Nebenbei macht er auf den Klangverlust aufmerksam, den das Ökosystem erleidet, seit der Mensch eingreift. Passend dazu zitiert von Bubnoff zu Beginn den Oscarpreisträger und Dokumentarfilmer Louie Psihoyos: „Die ganze Welt singt, aber wir hören nicht mehr zu.“

WO SIND WACKELKANDIDATEN

**bodenbewegungsdienst.bgr.de**

Die Webanwendung des Bodenbewegungsdienstes Deutschland zeigt, wo sich in der Bundesrepublik die Erde hebt oder senkt. Die Anwendung basiert auf Satellitendaten der europäischen Copernicus-Mission und erfasst Bodenbewegungen millimetergenau. Werden diese nicht rechtzeitig erkannt, bergen sie Risiken für Menschen und Infrastrukturen. Senkungen sind in Rot dargestellt und Hebungen in Blau. Grüne Flächen zeigt keine signifikante Bewegung – glücklicherweise der größte Flächenanteil.

## **Titelbild**

Wenn sich für ein Flugzeug der Vorhang öffnet, muss es ein besonderes sein. Hier hat ISTAR seinen Auftritt. Bei dem nunmehr im DLR Braunschweig stationierten Neuzugang für die DLR-Flotte handelt es sich um ein fliegendes Labor. Sein Name steht für In-flight Systems & Technology Airborne Research. Schrittweise mit hochspezieller Messtechnik ausgebaut, wird er die Flugeigenschaften jedes beliebigen Flugzeugs in der Luft simulieren können. So werden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beispielsweise neue Technologien für leisere Antriebe oder neue Assistenzsysteme untersuchen.



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