



## ALLESKÖNNER FÜR DEN STADTVERKEHR

DAS URBAN MODULAR VEHICLE

Weitere Themen:

- ▶ AUF ARKTISCHER DRIFT
- ▶ NACHTFLUG ÜBER FEUERLAND





NACHTFLUG ÜBER FEUERLAND

28



JÄHNS GROSSE REISE

50



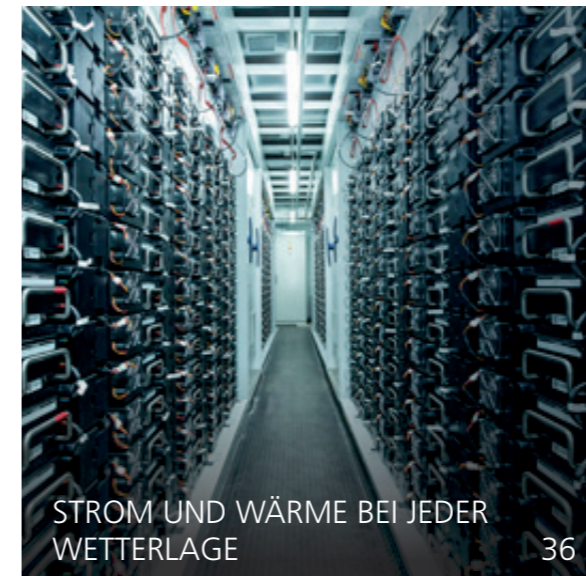
AUF ARKTISCHER DRIFT

38



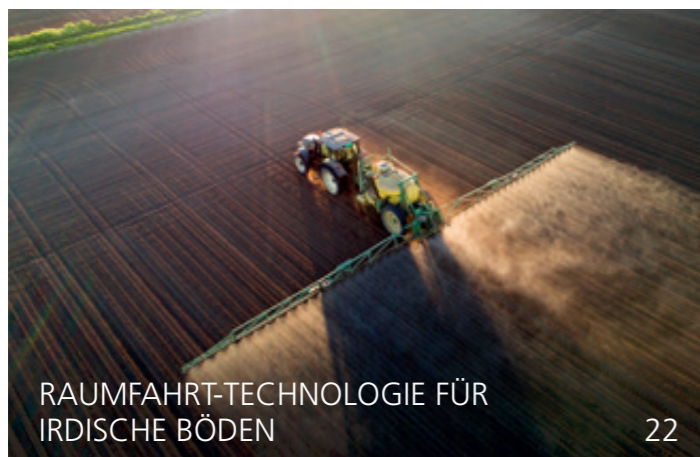
ALLESKÖNNER FÜR DEN STADTVERKEHR

46



STROM UND WÄRME BEI JEDER WETTERLAGE

36



RAUMFAHRT-TECHNOLOGIE FÜR IRDISCHE BÖDEN

22



IMMER DEM WIND NACH

16



ZERREISSPROBE AM COMPUTER

26

<b>KOMMENTAR ZUM THEMA NACHHALTIGKEIT</b>	6
<b>MELDUNGEN</b>	7
<b>DIE JÄGER DER PREISWERTEN SPEICHER</b> Das DLR-Querschnittsprojekt GigaStore	10
<b>RAUMFAHRTSHOW BEGEISTERTE TAUSENDE KIDS</b>	14
<b>IMMER DEM WIND NACH</b> Island: Messflüge für die Aeolus-Satellitenmission	16
<b>RAUMFAHRT-TECHNOLOGIE FÜR IRDISCHE BÖDEN</b> Biofilter kann Ackerböden entlasten	22
<b>MEILENSTEIN FÜR MARS EXPRESS</b> 20.000 Runden um den Roten Planeten	24
<b>ZERREISSPROBE AM COMPUTER</b> Künstliche Intelligenz detektiert Risse im Flugzeugrumpf	26
▶ <b>NACHTFLUG ÜBER FEUERLAND</b> HALO erforschte Schwerewellen in der Atmosphäre	28
<b>STROM UND WÄRME BEI JEDER WETTERLAGE</b> Digitale Nachbildung eines Hybridkraftwerks	36
▶ <b>AUF ARKTISCHER DRIFT</b> DLR-Antenne reist auf der Polarstern durchs Eis	38
<b>DIE ZUKUNFT DES GESUNDHEITSWESENS</b> Nachhaltigkeit im DLR Projektträger	44
▶ <b>ALLESKÖNNER FÜR DEN STADTVERKEHR</b> Das Urban Modular Vehicle	46
<b>SIGMUND JÄHNS GROSSE REISE</b> Erinnerung an den ersten Deutschen im All	50
<b>FEUILLETON</b>	
In Humboldts Kosmos	52
Rezensionen	54

# JEDEN SCHRITT NEU AUSBALANCIEREN

© DLR



Jutta Graf, Leiterin Wissenschaftliche Information, und Philipp Bergeron, Nachhaltigkeitsmanager des DLR

Ein Kommentar zum Thema Nachhaltigkeit von Jutta Graf und Philipp Bergeron

„Nachhaltigkeit“, als Forderung allgegenwärtig, als Begriff nahezu inflationär benutzt. Wir sollen nachhaltig leben, in den Urlaub fahren, uns nachhaltig fortbewegen und sogar nachhaltig einkaufen. Wir sollen nachhaltig bauen und wohl auch noch nachhaltig schlafen. Oft reduziert sich der Begriff auf einige wenige Punkte in unserem Luxus-Erste-Welt-Leben: Flugscham, Fleischkonsum, Waldsterben, Kreuzfahrthysterie, Energiewende, „Dieselgate“. Müssen wir also für Nachhaltigkeit auf vieles verzichten?

Nachhaltigkeit scheint in vielen Fällen nur im ökologischen Sinn verstanden zu werden: Reduktion des Kohlendioxid-Ausstoßes oder Erhalt der Biodiversität. Nachhaltigkeit ist allerdings viel mehr als nur das: Sie ist im Idealfall eine Balance von Ökologie, Ökonomie und Sozialem. Diese Balance herzustellen, ist eine Herausforderung für jeden Einzelnen von uns – im politischen Umfeld, im privaten Leben ebenso wie im Beruf. Womit wir im DLR sind. Wenn wir es ernst meinen mit der Nachhaltigkeit, dann müssen wir unsere Arbeit selbstverständlich nachhaltig gestalten. Darauf können wir unser Tun aber nicht beschränken. Wir machen Ursachenforschung, beobachten die Erde und arbeiten an nachhaltigen Technologien in einem vielfältigen Portfolio. Dies ist der gesellschaftliche Auftrag des DLR. Es ist unser Anspruch, Hintergründe, Erklärungen und Lösungen zu erarbeiten, welche die Fundamente einer nachhaltigen Entwicklung bilden.

Was heißt das? Das Zusammenspiel all dieser Faktoren ist komplex. Um uns auf das Wesentliche konzentrieren zu können, verfolgen wir bei vielem, was wir tun, zwei Strategien: „Forschen für die Nachhaltigkeit“ und „Nachhaltiges Forschen und Arbeiten“. Zum Beispiel arbeiten wir im DLR in dem Bereich emissionsreduzierter Flugverkehr. Zudem sollen durch stärkeren Einsatz von Videokonferenzen Dienstreisen reduziert werden. Damit wird eine Verminderung des Kohlendioxid-Ausstoßes im Sinne der beiden oben genannten Strategien vorangetrieben. Gleiches gilt für unser Projekt H<sub>2</sub>ORIZON. Mit Windenergie produzierter Wasserstoff wird benutzt und genutzt: Der „grüne“ Wasserstoff dient einerseits als alternativer Brennstoff für Raketentriebwerke und kann gleichzeitig mittels Kraft-Wärme-Kopplung zur Strom- und Wärmeerzeugung für den Standort Lampoldshausen genutzt werden. Insgesamt kann das Projekt also aus jedem Blickwinkel der Nachhaltigkeit betrachtet werden. Noch mehr Handlungsfelder und Forschungsaufgaben nicht ökologischer Natur sind in unserem Bericht „DLRnachhaltigkeit“ nachzulesen.

Doch machen wir uns nichts vor: Hundertprozentige Nachhaltigkeit gibt es nicht. Denn Nachhaltigkeit ist kein Zustand, sondern ein komplexer Prozess, bei dem es nicht unbedingt um Verzicht geht. Jede einzelne Maßnahme kann Veränderungen bewirken. Diesen Prozess immer wieder neu auszubalancieren, ist eine echte Herausforderung für die Zukunft. Deshalb muss es unser Credo sein, allen Seiten immer wieder die nötige Aufmerksamkeit zu widmen, damit keine schnellen, vordergründigen Aktionen zu blindem Aktionismus werden.

Ist das im DLR möglich? Wir glauben schon!

## ENERGIEFORSCHUNG TRIFFT SUPERCOMPUTING

Im Kontext der Energiewende – also der nachhaltigen Umgestaltung unserer Energieversorgung – liefern Energieszenarien den Entscheidern in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft wertvolle Informationen: Sie zeigen mögliche Entwicklungspfade, Handlungsalternativen und die jeweiligen Konsequenzen. Beispielsweise beantworten sie die Frage, wie einzelne Städte, Regionen oder Länder die Energienachfrage günstig, sicher und nachhaltig decken können. In dem Projekt BEAM-ME entwickelten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem DLR-Institut für Technische Thermodynamik in Stuttgart gemeinsam mit Partnern spezielle Algorithmen dafür. Mit deren Hilfe können sie nun auch die Möglichkeiten von Hochleistungsrechnern nutzen, um zeitlich wie räumlich hochaufgelöste Energieszenarien zu erstellen, denn herkömmliche Computer geraten aufgrund der großen Datenmengen schnell an ihre Grenzen.

Die neuen Algorithmen lassen die Fachleute in ihren Szenarien längere Zeiträume betrachten, die wiederum in kleine Intervalle unterteilt sind. So sind sie in der Lage, sowohl generelle wie sehr präzise Aussagen zu treffen. Bei dem Projekt waren neben dem DLR auch das Jülich Supercomputing Centre am Forschungszentrum Jülich, das Höchstleistungsrechenzentrum der Universität Stuttgart, das Zuse-Institut Berlin, das Institut für Mathematik der Technischen Universität Berlin und die Firma GAMS Software beteiligt.



Die Energiewende ist auch eine Herausforderung für die Informationstechnik. Mit Hilfe von Supercomputern lassen sich aus riesigen Datenmengen detaillierte und aussagekräftige Analysen des Energiesystems erstellen.

## WIE SIND WIR 2030 UNTERWEGS?

Wie sich automatisierte und vernetzte Fahrzeuge sinnvoll in ein nutzerfreundliches, effizientes und nachhaltiges Mobilitätssystem der Zukunft einbinden lassen, zeigt die Studie „Neue autoMobilität“: Mobility Hubs (Mobilitätsstationen), Carsharing oder selbst parkende Fahrzeuge sparen Raum, der wieder für Wohnen und Leben frei wird. Flexible Preise für die Nutzung von Straßen und öffentlichen Verkehrsmitteln (Mobility Pricing) sorgen für eine gleichmäßigere Auslastung, verhindern Verkehrsinfarkte und machen Fahrverbote unnötig. Automatisierte Züge fahren auf Strecken, die heute noch stillgelegt sind. Fahrzeuge warnen sich gegenseitig in gefährlichen Situationen. Dank klarer wechselseitiger Signalgebung wird aus dem täglichen Verkehrschaos ein kooperativer Mischverkehr, in dem die Verkehrsteilnehmer besser miteinander agieren und Rücksicht aufeinander nehmen können.

In der Studie beschreiben insgesamt zwölf „Zukunftsbilder“, wie ein automatisierter und vernetzter Verkehr natürliche Ressourcen, Raum, Fahrzeuge und Infrastrukturen besser nutzen und auf diese Weise Städte und Kommunen entlasten kann. Sie wurde von der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) vorgestellt und geleitet von Prof. Karsten Lemmer, acatech-Mitglied und DLR-Vorstand für die Forschungsbereiche Energie und Verkehr. Wissenschaft, öffentliche Verkehrsunternehmen, Kommunen, Automobilbranche und Mobilitätsdienstleister haben an diesem Konzept für den Verkehr der Zukunft mitgewirkt.



Die Kommunen spielen eine Schlüsselrolle bei der Gestaltung besserer Mobilitätssysteme. Ein intelligenter, vernetzter Verkehr schützt Umwelt und Klima, nimmt weniger Raum ein und verbessert die Lebensqualität.

## UND ER FLIEGT

Otto Lilienthal gilt als erster Flieger der Menschheit – ein letzter Beweis für die Flugfähigkeit seiner Konstruktionen stand bislang jedoch aus. Nachdem DLR-Wissenschaftler Prof. Markus Raffel im Juli in Kalifornien die Flugfähigkeit eines authentischen Nachbaus des Lilienthal-Gleiters demonstriert hatte, konnten die Testergebnisse im November 2019 auch auf dem Messwagen des Deutschen Hänggleiterverbands bestätigt werden. Prof. Raffel baute auf den wissenschaftlichen Untersuchungen auf, die das DLR 2016 anlässlich des 125-jährigen Jubiläums des ersten Menschenfluges mit einem Nachbau von Lilienthals Eindecker unter anderem im Windkanal gemacht hatte. Der vom Otto-Lilienthal-Museum Anklam gebaute Doppeldecker wurde dem Museum als Dauerleihgabe übergeben und ist ab Mitte Mai 2020 in der Taufkirche Lilienthals in Anklam zu besichtigen.



DLR-Forscher Prof. Markus Raffel beim filmisch dokumentierten Flug mit dem Lilienthal-Doppeldecker an der Pazifikküste Kaliforniens nahe Monterey



An der Spitze des DLR-Forschungsflugzeugs Dornier DO228 D-CODE sind ein Radarsensor sowie ein elektrooptischer Sensor befestigt. Die Kombination beider Technologien ermöglicht es der Sensorik, andere Flugzeuge frühzeitig zu erkennen.

## SENSOREN WARNEN VOR ZUSAMMENSTÖSSEN IN DER LUFT

Moderne Sensoren können Umgebungsinformationen wie Piloten- augen verarbeiten. Das belegten die Firmen Diehl und HENSOLDT zusammen mit dem DLR in einer dreiwöchigen Kampagne am Forschungsflughafen Braunschweig. Dazu stattete das Team das DLR-Forschungsflugzeug Dornier DO228 mit einem System aus Radarsensor und elektrooptischen Sensoren aus. Beim Test flog ein weiteres Forschungsflugzeug umfangreiche Manöver aus verschiedenen Richtungen und Höhen. Die Sensorik der DO228 detektierte das andere Flugzeug bereits aus großer Entfernung, verfolgte seinen Kurs und warnte den Piloten rechtzeitig vor einem Kollisionskurs. Diese sogenannte Sense & Avoid-Sensorik soll Zusammenstöße verhindern und die Sicherheit im Luftverkehr gewährleisten. Dies ist besonders wichtig für die Zulassung und den Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen.



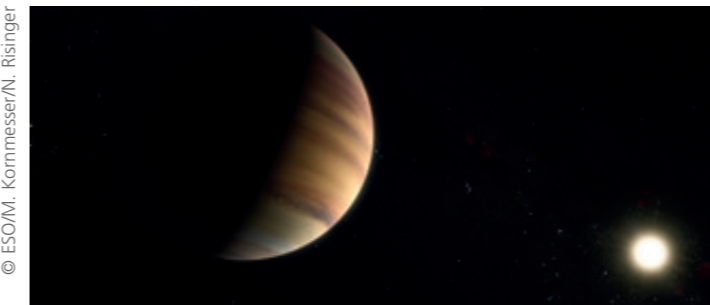
„Fahrerloses“ Zugcockpit bei der Testfahrt im sächsischen Erzgebirge

## FAHRERLOS AUF DER SCHIENE

Vollautomatisches Fahren ist eines der wichtigsten Themen der Bahn für die nächsten Jahrzehnte. Doch auch dann wird es noch Störungen geben, bei denen der Mensch eingreifen muss. Das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik untersucht, welche Auswirkung die Automatisierung auf die Leistungsfähigkeit des Zugführers hat. Hierfür entwickeln die Wissenschaftler Prototypen der zukünftigen Arbeitsplätze von Triebfahrzeugführern. Dieser befindet sich nicht länger im Zug, sondern in einer Steuerungszentrale. Von dort aus können die Triebfahrzeugführer den Zug jederzeit fernsteuern, aber auch andere Arbeiten ausführen. Im September 2019 baten zukünftige Operateure, simulierte Züge mit diesen Prototypen fernzusteuern. Dabei fuhr auf dem Smart Rail Connectivity Campus, einem Forschungscampus für nachhaltige Mobilität im sächsischen Schlettau, zum ersten Mal ein Zug wie von Geisterhand geführt über die Gleise: fahrerlos, aber vernetzt mit der neuen Mobilfunktechnologie 5G. Gesteuert wurde der Zug von dem Mobilfunkanbieter Vodafone.

Die DLR-Wissenschaftler arbeiten mit Standardansätzen der Human-Factors-Forschung und messen die Reaktionen, insbesondere Beanspruchung, Situationsbewusstsein und Leistung. Daraus leiten sie Verbesserungspotenzial für die Systeme ab. Diese Ansätze können Fragebögen sein, aber auch die Nutzung von Eyetracking-Systemen, die die Blickbewegungen der Triebfahrzeugführer erfassen.

## PHYSIK-NOBELPREIS WÜRDIGT EXOPLANETEN



Diese künstlerische Darstellung zeigt den extrasolaren Planeten 51 Pegasi b, der 1995 von den Schweizer Astronomen Prof. Didier Queloz und Prof. Michel Mayor in etwa 50 Lichtjahren Entfernung vom Sonnensystem entdeckt wurde.

Der wissenschaftliche Nachweis des ersten extrasolaren Planeten vor fast 25 Jahren veränderte die Sicht auf die Entstehung und Entwicklung des Weltalls und stellte die Einzigartigkeit unseres Sonnensystems infrage. Der diesjährige Physik-Nobelpreis geht zur Hälfte an die beiden Genfer Astronomen Prof. Michel Mayor und Prof. Didier Queloz für die Entdeckung des ersten Exoplaneten um einen sonnenähnlichen Stern. Mit dem Weltraumteleskop CoRoT wurde beispielsweise 2009 der Exoplanet CoRoT-7b entdeckt, der erste wirkliche Gesteinsplanet außerhalb unseres Sonnensystems. Neben Mayor und Queloz waren dabei auch Wissenschaftler des DLR vertreten. Mit neuen Methoden und Instrumenten von ESA-Missionen wie CHEOPS und PLATO begeben sich heute Wissenschaftler, auch vom DLR, noch weiter hinaus – auf der Suche nach einer zweiten Erde.

## LUFTAUFKLÄRUNG UNTERSTÜTZT DIE RETTER IM KATASTROPHENFALL



Bei einer Katastrophenschutzübung des EU-Projekts DRIVER+ in Österreich bemühen sich die Teilnehmer um die „Verletzten“. Das DLR stellte Echtzeitaufnahmen aus der Luft zur Verfügung und unterstützte die Lageerfassung und Rettungslogistik. Die Flug- und Missionsplanung des Flugzeugs erfolgte dabei durch die am DLR-Institut für Flugführung in Braunschweig entwickelten Bodenkontrollstation Ufly für unbemannte Luftfahrzeuge.

Bei Erdbeben oder anderen Krisenfällen helfen Echtzeitaufnahmen aus der Luft, die Situation vor Ort schnell und präzise zu erfassen. So lassen sich Hilfeinsätze zielgerichtet planen. Besonders bewährt hat sich der Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge (UAS). Diese können auch schwer zugängliche Gebiete überfliegen. Das EU-Projekt DRIVER+ (Driving Innovation in Crisis Management for European Resilience) unterstützt Akteure des Krisenmanagements dabei, die bestmöglichen Wege zur Bewältigung von Katastrophen zu finden. Das DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung unterstützt das Projekt beispielsweise mit einem speziellen 3K-Kamerasystem. Damit konnte das DLR-Forschungsflugzeug D-CODE ein 80 Quadratkilometer großes Gebiet in etwa zehn Minuten erfassen, georeferenzierte Luftbilder erstellen und die Ergebnisse in kurzer Zeit über eine Datenlinkverbindung zur Bodenkontrollstation übertragen.

## REGIONALMELDUNGEN

STUTTGART: Am 20. und 21. Februar 2020 veranstalten das DLR und die Universität Stuttgart zum fünften Mal die Fachkonferenz E2Flight für emissionsfreies und elektrisches Fliegen. Sie richtet sich an Ingenieure, Forscher in Universitäten und Forschungszentren, Forschungsgruppen oder Ministerien mit Interesse an elektrisch angetriebenen Flugzeugen. Zu den aktuellen Schwerpunkten zählen Konzepte für elektrisches Fliegen, hybride Antriebssysteme und Energiespeicherung. Die Anmeldung ist noch bis zum 16. Februar unter [e2flight.com](http://e2flight.com) möglich.

OLDENBURG: Am DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme wurde am 26. November 2019 ein neues Labor in Betrieb genommen. Dort können komplexe vernetzte Energiesysteme und neuartige Verteilnetzstrukturen abgebildet werden. Das NESTEC (Networked Energy Systems Emulation Centre) bietet die ideale Umgebung, um Sektoren koppelnde Energieversorgungslösungen und robuste Strategien für die Netzbetriebsführung zur Stromversorgung von morgen zu erproben.

BRAUNSCHWEIG: Bei Notfällen müssen Einsatzkräfte schnell und sicher an ihr Ziel kommen. Verkehrsforscherinnen und -forscher des DLR arbeiten im Projekt SIRENE an der grünen Welle für Rettungswagen und an einem digitalen Blaulicht. Die Software informiert Autofahrer direkt im Display hinter dem Lenkrad über ein sich näherndes Rettungsfahrzeug.

BREMERHAVEN: Die Seute Deern, das größte Schiff der Museumsflotte des Schifffahrtsmuseums der Stadt, sieht ihrem baldigen Rückbau entgegen. Das DLR trägt dazu bei, dass das historische Denkmal nach aktuellen Sicherheitsanforderungen abgebaut werden kann. Dazu erstellte das Institut für den Schutz maritimer Infrastrukturen im Auftrag von Bremenports mit einem U-Boot und einer Drohne ein sonar-basiertes Tiefenprofil des Hafenbeckens.

HAMBURG: Im SESAR-Projekt Integrated Airport Operations (IAO) erarbeiteten Partner aus Wissenschaft und Industrie mehrerer Länder neuartige Unterstützungsfunktionen für Tower- und Vorfeldlotsen. In Hamburg, Budapest und Nizza wurden verschiedene Technologien für effizientere Abläufe an Flughäfen erprobt wie beispielsweise ein „Rollverkehrsmanager“, der für jedes Flugzeug optimierte Rollrouten berechnet. Das Projekt wird Ende 2019 abgeschlossen.

### DLR.DE: MELDUNGEN AUF DER DLR-WEBSITE UND IM DLR-NEWSLETTER

Alle Meldungen können in voller Länge und mit Bildern oder auch Videos online im News-Archiv eingesehen werden. Möchten Sie die Meldungen per E-Mail zugeschickt bekommen, abonnieren Sie einfach den Newsletter.

[DLR.de/meldungen](http://DLR.de/meldungen) [DLR.de/newsletter](http://DLR.de/newsletter)

# DIE JÄGER DER PREISWERTEN SPEICHER

Im Querschnittsprojekt GigaStore arbeiten elf DLR-Institute an Speichern für den Energie- und Mobilitätssektor

Von Denise Nüssle

**S**trom und Wärme auf Knopfdruck, sauber, zuverlässig und bezahlbar – im Energie- und Verkehrssystem von morgen, das vorwiegend auf Strom aus erneuerbaren, aber schwankenden Ressourcen basiert, sollen Energiespeicher genau dafür sorgen. Sie machen regelbaren erneuerbaren Strom und regelbare erneuerbare Wärme erst möglich und gelten deshalb als Schlüsseltechnologie für die erfolgreiche Energie- und Verkehrswende. Gleichzeitig gehört die Entwicklung der benötigten Speicherkonzepte zu den zentralen technologischen Herausforderungen für Forschung und Industrie. Das DLR hat deshalb das Querschnittsprojekt GigaStore ins Leben gerufen: Wissenschaftler aus elf DLR-Instituten entwickeln und erproben darin interdisziplinär leistungsstarke und zugleich preiswerte Energiespeicher.

Das DLR verfolgt dabei unterschiedliche Ansätze: „Es gibt nicht den einen Energiespeicher, nicht die eine Technologie. Stattdessen benötigen wir spezifisch auf die jeweilige Anwendung angepasste Lösungen“, beschreibt Prof. André Thess, Direktor des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik und Projektkoordinator für GigaStore, die Herausforderung und den Reiz des Projekts. Allein was die Speichergröße betrifft, kann gut und gerne der Faktor 1.000 zwischen einem System für mobile Anwendungen mit einer Megawattstunde und einem stationären Speicher mit einer Gigawattstunde, der eine Großstadt über Nacht oder während einer kurzen Dunkelflaute versorgt, liegen. „Unser Ziel im Projekt GigaStore ist es, Energiespeicher ganzheitlich zu erforschen sowie technologisch und wirtschaftlich zu bewerten – angefangen bei Prozessen auf molekularer Ebene im Inneren einer Batteriezelle bis hin zum Betrieb von Demonstrationsanlagen und volkswirtschaftlichen Betrachtungen durch unsere Systemanalytiker. Ob Luftfahrt, Raumfahrt, Energie oder Verkehr – alle vier Programmbereiche des DLR bringen ihr Know-how in das Projekt ein. Diese thematische Breite und Tiefe kann so nur das DLR abbilden“, hebt Koordinator André Thess hervor.

Gegliedert ist das GigaStore-Projekt in drei Schwerpunkte: Die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler untersuchen neuartige Konzepte für Batterien mit besonders hoher Speicherdichte, erforschen Strom-Wärme-Strom-Speicher und arbeiten an Methoden für Computersimulationen, mit denen sich neue Speichertechnologien schneller entwickeln und erproben lassen.

## Batterien mit hoher Speicherdichte – für Einsätze auf der Erde und im All

Ob für die Elektromobilität auf Straße und Schiene, als Komponente in elektrisch angetriebenen Flugzeugen und für die Bordstromversorgung oder als Energielieferant für Satelliten im Weltraum – Batteriesysteme sollen möglichst leistungsfähig, langlebig und zugleich preiswert sein. Im Projekt GigaStore bündelt das DLR bereits vorhandene Kompetenzen in diesem Bereich, um neue Batteriekonzepte mit hoher Speicherdichte bis zur Anwendungsreife zu bringen und auf anspruchsvollen Einsatzfeldern zu testen. Die Forscher interessieren sich dabei vor allem für Batterien auf Metall-Schwefel-Basis. Der Hauptvorteil dieses Batterietyps: Ihm wird eine wesentlich höhere Energiedichte zugeschrieben – potenziell das Doppelte bis Dreifache der aktuell weitverbreiteten Lithium-Ionen-Technologie. Gleichzeitig ist Schwefel relativ einfach und kostengünstig verfügbar. Für die Praxis lässt das erwarten, dass sich Batterien bei gleichem Energieinhalt wesentlich leichter, kompakter und günstiger realisieren lassen. Zuerst gilt es allerdings, noch genauer zu verstehen, welche elektrochemischen Prozesse im Innern dieser neuartigen Batterien auf Schwefelbasis ablaufen. Nur mit diesem Wissen lassen sich zyklensichere – sprich langlebige – und sichere Batterien dieses Typs für Anwendungen im bodengebundenen Verkehr sowie in der Luft- und Raumfahrt entwickeln.

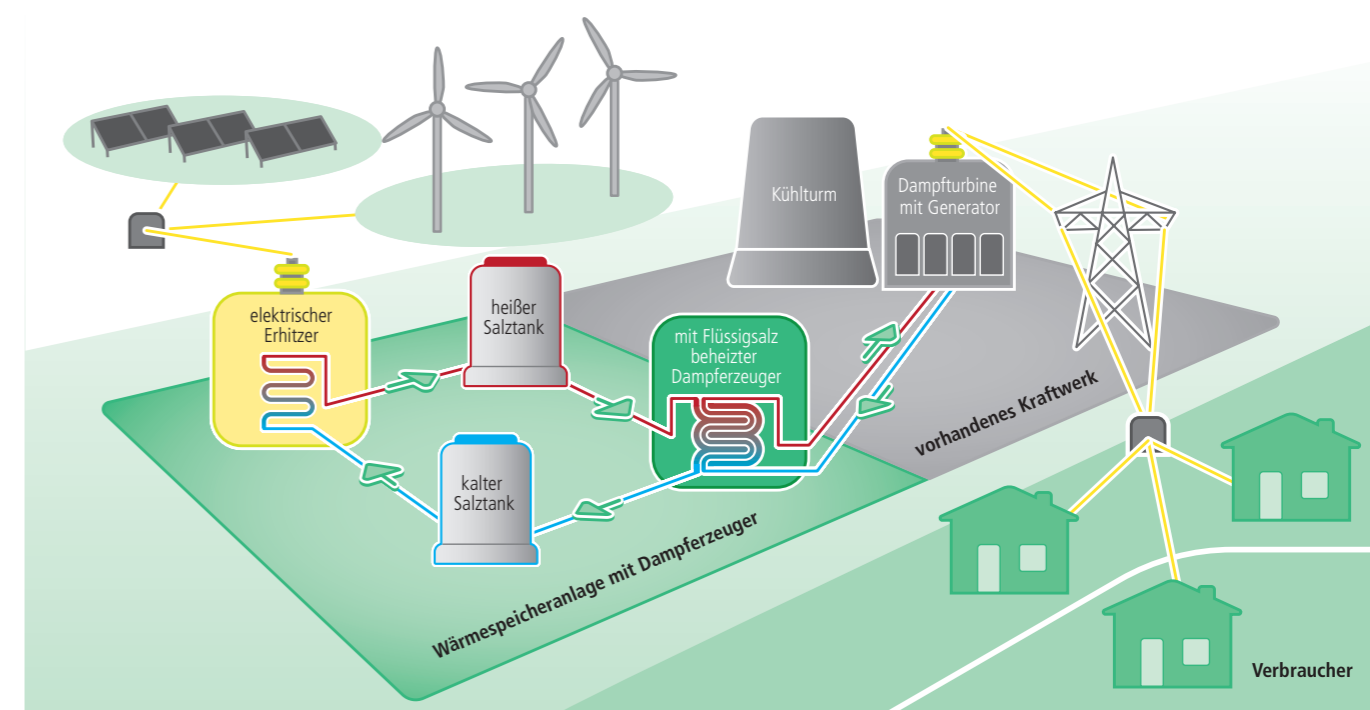
Speziell das Weltall verlangt technischen Komponenten alles ab: Eine Top-Performance ist gefragt, Fehler werden nicht verziehen. Batterien für Satellitenmissionen müssen deshalb die höchsten Anforderungen hinsichtlich Sicherheit und Zuverlässigkeit erfüllen. Beim Flug durch den Weltraum benötigen Satelliten jede Menge Energie, zum Beispiel für Bordcomputer, Steuerungssysteme, Sensoren und Kameras sowie wissenschaftliche Experimente. Die Energieversorgung eines Satelliten hat zudem großen Einfluss auf dessen Kosten, Gewicht und Design. Damit Batterien den im All herrschenden harten Bedingungen wie Vakuum und Strahlung standhalten, werden sie vor ihrem Einsatz oft über mehrere Jahre umfangreich und kostenintensiv getestet. Im Rahmen von GigaStore entwickeln DLR-Forscherinnen und -Forscher speziell auf Kleinsatelliten zugeschnittene Batteriesysteme, qualifizieren sie für den Einsatz im All und wollen einen Prototypen in einer

## DLR-QUERSCHNITTSPROJEKTE:

- ▶ **Future Fuels**  
(DLR-Magazin 158, Juli 2018)
- ▶ **Factory of the Future**  
(DLR-Magazin 159, November 2018)
- ▶ **Big-Data-Plattform**  
(DLR-Magazin 160, März 2019)
- ▶ **Simulation Based Certification**  
(DLR-Magazin 161, Juli 2019)
- ▶ **Condition Monitoring for Safety Relevant Structures**  
(DLR-Magazin 162, Oktober 2019)
- ▶ **GigaStore**  
(DLR-Magazin 163, Dezember 2019)
- ▷ Cyber-Sicherheit für autonome und vernetzte Systeme
- ▷ Global Connectivity – Globaler Breitbandzugriff
- ▷ Verkehr 5.0
- ▷ Digitaler Atlas

DLR-Satellitenmission testen. Dabei verfolgen sie das Ziel, den Aufwand für Tests und damit die Kosten zu senken und Satelliten so schneller und günstiger in den Weltraum zu bringen. In diesem Kontext untersuchen sie auch Superkondensatoren. Diese speziellen Energiespeicher können in sehr kurzer Zeit sehr viel elektrische Energie bereitstellen, um beispielsweise Leistungsspitzen bei Lageregelungssystemen zu decken.

## WÄRMESPEICHERKRAFTWERK FÜR DIE REGELBARE ERNEUERBARE STROMVERSORGUNG



### Carnot-Batterie und Wärmespeicherkraftwerk: Energie wandeln für Fortgeschrittene

Wenn es darum geht, große Energiemengen im Bereich von Gigawattstunden über mehrere Tage bis zu Wochen zu speichern – um beispielsweise eine Dunkelflaute zu überbrücken –, stoßen klassische Batteriesysteme an ihre Grenzen. Für solche Anforderungen arbeiten die Energieexperten des DLR an Carnot-Batterien – benannt nach dem französischen Physiker und Ingenieur Nicolas Carnot, der im frühen 19. Jahrhundert die Thermodynamik begründete. Diese Strom-Wärme-Strom-Speicher wandeln gerade nicht benötigten Strom aus erneuerbaren Ressourcen in Wärme um. Diese Wärme wird gespeichert und kann bei Bedarf wieder zur Stromerzeugung genutzt werden. Im Querschnittsprojekt GigaStore wollen die DLR-Forscher anhand erster Demonstrationsanlagen im Labormaßstab zeigen, dass sich mit Carnot-Batterien Energie flexibel und nahezu frei von Verlusten speichern lässt.

In Form von Wärmespeicherkraftwerken können Carnot-Batterien zu einem Schlüsselement der Energiewende werden und gleichzeitig dazu beitragen, den Ausstieg aus der Kohlenutzung und den damit verbundenen Strukturwandel zu meistern. In einem Wärmespeicherkraftwerk wird Strom mit Hochtemperaturwärmepumpen in Wärme umgewandelt und in flüssigem Salz, flüssigen Metallen, in Steinen oder in Keramik gespeichert. Wie in einem konventionellen Kraftwerk kann diese Wärme genutzt werden, um Wasserdampf zu erzeugen. Dieser treibt eine Turbine an und generiert Strom. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, die gespeicherte Hochtemperaturwärme für Industrieprozesse zu nutzen oder über einen Wärmetauscher in Kälte umzuwandeln, um damit beispielsweise Rechenzentren zu kühlen.

Das DLR forscht bereits an Konzepten, Betriebsweisen und Speicher-materialien, um den Prozess der Energiewandlung von Strom zu Wärme zu Strom möglichst effizient zu gestalten. Knackpunkt dabei



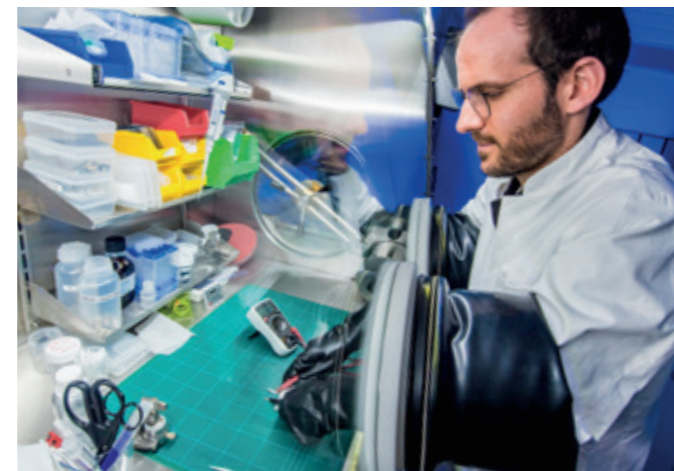
Blick in die Klimakammer des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik in Stuttgart. Hier werden Batterien unterschiedlichster Art getestet, um die Vorgänge im Innern genauer zu verstehen und die Batterien kontinuierlich zu verbessern.

ist die verlustarme Übertragung der Wärme an das jeweilige Speichermedium. Zur Entwicklung der dafür benötigten Hochtemperaturwärmepumpen leistet das neu gegründete DLR-Institut für Dekarbonisierte Industrieprozesse in Zittau und Görlitz wichtige Beiträge. Im Rahmen eines Reallabors plant das DLR, ein bestehendes Kohlekraftwerk in ein Wärmespeicherkraftwerk umzubauen. Ein Großteil der vorhandenen Infrastruktur wird weiter genutzt, beispielsweise Turbinen und Netzanschlüsse. Lediglich Kohlespeicher und Verbrennungsteile werden ersetzt. Das spart beim Umbau enorme Kosten und erhält erprobte Betriebsweisen und Arbeitsplätze.

### Energiespeichersimulation: Gut modelliert ist halb gebaut

Wie in allen Innovationsbereichen tragen Computersimulation und virtuelles Design wesentlich dazu bei, die experimentelle Arbeit gezielter auszurichten und so den Entwicklungsprozess wesentlich schneller und effizienter zu machen. Deshalb ist das Entwickeln von Methoden für die Energiespeichersimulation ein weiterer Schwerpunkt des Querschnittsprojekts GigaStore. Anleihe nehmen die Energieforscher bei ihren Kollegen aus der Luftfahrt: Dort werden Simulationen bereits erfolgreich bei der Entwicklung neuer Technologien eingesetzt. Mittels Modellierungen am Computer ergründen die DLR-Wissenschaftler beispielsweise die Vorgänge innerhalb einer Batteriezelle bis auf den Nanobereich – gehen also den elementarsten Prozessen einer Batterie auf die Spur. Auch auf dem Gebiet der Energiesystemanalyse spielen Simulationen eine wichtige Rolle: Mit ihrer Hilfe identifizieren und bewerten die DLR-Forscherinnen und -Forscher die wirtschaftlichen, ökologischen und gesellschaftlichen Auswirkungen unterschiedlicher Technologien, untersuchen die Einbindung neuer Speicherkonzepte ins gesamte Energiesystem und erschließen neue Anwendungsfelder für Energiespeicher.

Denise Nüssle ist Redakteurin im Bereich Presse des DLR und war viele Jahre für die Kommunikation am Standort Stuttgart verantwortlich.



DLR-Wissenschaftler Dennis Kopljar untersucht eine Lithium-Ionen-Batterie. Neben der Forschung an solchen klassischen Zelltypen entwickelt er zusammen mit seinen Kolleginnen und Kollegen auch zukünftige Speichertechnologien wie Lithium-Schwefel- oder Lithium-Luft-Batterien.



© DLR/Frank Eppler

### André Thess

leitet das DLR-Institut für Technische Thermodynamik und ist Professor für Energiespeicherung an der Universität Stuttgart. Seine Forschungsschwerpunkte sind thermische Energiespeicher sowie elektromagnetische Prozess- und Hochtemperaturmesstechnik.

## DREI FRAGEN AN DEN GIGASTORE-PROJEKTLEITER ANDRÉ THESS

### Welches wirtschaftliche Potenzial steckt in der Energiespeichertechnik?

Speichertechnologien haben mittelfristig das Potenzial, hochwertige Arbeitsplätze zu schaffen und den Wirtschaftsstandort Deutschland auf dem Gebiet der Energietechnik weiter zu stärken. Energieversorger, Unternehmen der Kraftwerkstechnik, Automobilhersteller und energieintensive Industriezweige der Bereiche Stahl, Chemie, Glas, Keramik oder Zement sind mögliche Nutzer. Das DLR ist mit seinen Forschungen wissenschaftlicher Wegbereiter und trägt dazu bei, den hohen Innovationsstand in Deutschland und Europa zu halten und auszubauen.

### Wird es in Zukunft einen Massenmarkt für Energiespeicher geben?

Was Batterien betrifft, passiert weltweit in Industrie und Forschung aktuell sehr viel, primär im Zusammenhang mit Elektrofahrzeugen. Wann genau stationäre Speicher den großen Durchbruch haben, lässt sich nicht seriös voraussagen. Erste Projekte auf Industrieseite gibt es bereits, zum Beispiel arbeitet der Google-Ableger MALTA derzeit an einem Projekt zu Carnot-Batterien und MAN Energy Solutions setzt auf Wärmespeicher im Zusammenhang mit CO<sub>2</sub>-Kreisprozessen. Ob und wie schnell sich eine eigene Energiespeicherindustrie entwickelt, hängt stark von den politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab, vor allem von der weiteren Preisentwicklung für Kohle, Öl und Gas sowie der Steuerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

„Speichertechnologien haben mittelfristig das Potenzial, hochwertige Arbeitsplätze zu schaffen und den Wirtschaftsstandort Deutschland auf dem Gebiet der Energietechnik weiter zu stärken.“

### Kommt nach dem Zeitalter von Öl und Gas nun das Stromzeitalter?

Lassen Sie es mich so herum sagen: Ein Stromzeitalter kann es nur mit entsprechenden Speichern geben. Neben der Option, die Sektoren Energieversorgung und Mobilität möglichst umfassend zu elektrifizieren, gibt es noch andere Wege, die wir gehen können. Synthetische Kraftstoffe, die wir aus und mit Hilfe erneuerbarer Ressourcen herstellen, sind eine weitere Möglichkeit. Auch hier verfügt das DLR über umfangreiche Kompetenzen und untersucht die Entwicklung und Anwendung regenerativer Kraftstoffe im Querschnittsprojekt Future Fuels.

Die Fragen stellte Denise Nüssle.

## FAKTEN ZUM QUERSCHNITTSPROJEKT GIGASTORE

### Beteiligte Institute:

- Institut für Antriebstechnik
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
- Institut für Flugsystemtechnik
- Institut für Optische Sensorsysteme
- Institut für Raumfahrtsysteme
- Institut für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung
- Institut für Solarforschung
- Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Vernetzte Energiesysteme
- Institut für Werkstoff-Forschung

**Laufzeit:** vier Jahre (2018–2021)

**Finanzvolumen:** 13 Millionen Euro

# 50.000 KINDER BEI DER DLR\_RAUMFAHRT\_SHOW!



Moderatorin Nadine begrüßt das Publikum

Wie lange waren die Apollo-Astronauten bis zum Mond unterwegs? Warum kann man dort höher springen als auf der Erde? Und wie ist der Mond überhaupt entstanden? Diese und viele andere Fragen beantwortete die DLR\_Raumfahrt\_Show, die das junge Publikum in diesem Jahr aus Anlass des 50. Jahrestages zu einer „Gedankenreise zum Mond“ einlud. Die Deutschland-Tour begann gleich mit einem Event der Superlative: 15.000 Schülerinnen und Schüler verfolgten die Premiere im Erfurter Steigerwaldstadion. Weitere Aufführungen folgten – unter anderem im Heinz Nixdorf MuseumsForum in Paderborn, im Carmen Würth Forum in Künzelsau und im Science Center „experimenta“ in Heilbronn. Auch an Tagen der offenen Tür im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) sowie an den DLR-Standorten Bonn und Oberpfaffenhofen, aber auch in mehreren Universitäten und Schulen war das DLR mit seinem ebenso unterhaltenden wie informativen Bühnenprogramm zu Gast. Insgesamt sahen rund 50.000 Kinder die Aufführungen, zu denen wir hier eine kleine Bildernachlese zeigen.



Mitmach-Aktionen, die alle Kinder im Saal einbeziehen, wechseln mit Erklärungen, Videos und Bühnen-Experimenten ab



Moderatorin Clara macht mit VR-Brille einen „Moonwalk“. Die Kinder verfolgen die Erkundungstour gebannt auf der Großbildleinwand.



Im Science Center der „experimenta“ (Heilbronn): Leuchtende Ballons, die die Planeten des Sonnensystems symbolisieren, werden an die Kinder im Saal verteilt



Premiere im Erfurter Steigerwaldstadion mit ESA-Astronaut Alexander Gerst. Da staunte selbst „Astro\_Alex“, als er vor 15.000 Kindern auf der Bühne stand: „Wow! Ich bin sprachlos!“



DLR\_Raumfahrt\_Show in Stuttgart: Hunderte von Papierfliegern sausen zum Finale durch den Saal



Ein Moderator erklärt als Känguru verkleidet, warum man auf dem Mond höher hüpfen kann als auf der Erde. Der andere veranschaulicht im „Erde-Kostüm“ wie sich der Mond um unseren Planeten dreht. Am Ende bleibt in Erinnerung: Naturwissenschaften machen richtig Spaß!



Eine Gedankenreise zum Mond: Im Science Dome der experimenta sorgte die 360-Grad-Projektion für einen atemberaubenden Anblick



Auch in der Aula dieser Frankfurter Schule machen die Kinder begeistert mit



# IMMER DEM WIND NACH

DLR-Wissenschaftler waren für die  
Aeolus-Mission über Island unterwegs

Von Manuela Braun

**A**ngeblich kennen die Isländer mehr Worte für Schnee als die Inuit. Und auch bei Regen und Wind dürften sie weit vorn liegen. Drei Wochen sind DLR-Atmosphärenforscher und die Mannschaft der Forschungsflieger des DLR mit der Falcon auf Island, um den Wind zu vermessen – möglichst zeitgleich und auf derselben Route wie der Satellit Aeolus der europäischen Weltraumorganisation ESA, der seit 22. August 2018 mit dem Wind-Lidar „Aladin“ (Atmospheric Laser Doppler Instrument) den Globus umkreist. Während der Kampagne lernt das Team viele Arten von Regen und Wind kennen: Regen, den der Wind waagrecht ins Gesicht drückt, fieses Nieselregen oder einfach feuchte Kälte, die im Hangar am Flughafen Keflavík vom nassen Boden aufsteigt. Meist liegt zudem eine dichte Wolkendecke wie eine Glocke über der Lava-Landschaft. Wechselnde Hoch- und Tiefdruckgebiete sorgen für variable Windgeschwindigkeiten und der Jetstream – ein sich immer wieder verlagerndes Band aus Starkwinden – ist häufig in der Nähe zu finden: ideale Bedingungen für die Kampagne AVATARI (Aeolus Validation Through Airborne Lidars in Iceland). Darin werden die Daten des ersten Wind-Lidars (light detection and ranging) auf einem Satelliten mit Messungen aus einem Flugzeug verglichen. Auf diese Weise sollen die Windprofile aus dem All validiert und Auswertungsalgorithmen verbessert werden.

Es ist kompliziert. Niemand kann derzeit genau sagen, wie schnell sich das Tiefdruckgebiet in den nächsten Tagen vorwärtsbewegen wird. Oder ob es vielleicht etwas Unvorhersehbares macht. „Wenn sich das Tief hier schneller entwickelt, verändert sich die Situation vollkommen“, sagt Andreas Schäfler vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre. Auch Oliver Reitebuch und Christian Lemmerz blicken konzentriert auf die Grafiken, die Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten und Wolkenbedeckungen der nächsten Tage zeigen. Die drei haben den Aufenthaltsraum des Hostels zum Besprechungsraum umfunktioniert und planen hier die nächsten Messflüge mit dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon 20E. Abends ist der Raum mit seinen gemütlichen und etwas abgenutzten Sesselchen, einem Couchtisch mit Stehlampe und einem kleinen Bücherregal in der Ecke der Treffpunkt für alle, um den Tag ausklingen zu lassen.

Eigentlich wird das 40 Kilometer von der Landeshauptstadt Reykjavík entfernte gelegene Hostel eher von Urlaubern genutzt, die entweder einen sehr frühen Flug vom isländischen Flughafen Keflavík nach Hause gebucht haben oder sehr spät auf Island angekommen sind. Früher lebte und arbeitete US-Militärpersonal auf der ehemaligen NATO-Basis Ásbrú. Heute ist das Gebiet offen zugänglich und in einigen der Wohngebäude haben sich einfache, praktische Hotels eingerichtet, aus deren Zimmern man bereits auf die Umzäunung des Flughafens blickt. Für das Aeolus-Team aus Wissenschaftlern, Piloten und Technikern ideal: Bis zum Hangar, in dem die Falcon 20E geparkt ist, sind es nur wenige Minuten mit dem Auto. Daher ist das Hostel für drei Wochen zum „Basislager“ für eine wissenschaftliche Messkampagne des DLR geworden.

## AEOLUS

Die Mission Aeolus verdankt ihren Namen dem griechischen Windgott. Aeolus herrschte im Auftrag von Zeus, dem mächtigsten Gott im Olymp, über die Winde Boreas, Euros, Zephyros und Notos. In Homers Odyssee ließ er für König Odysseus für dessen Schiffsfahrt günstige Winde wehen und gab ihm die Winde in einem Sack mit auf die Reise. Als die Schiffsbesatzung den Windsack kurz vor der Ankunft im Heimathafen öffnete, wurde das Schiff durch die ungünstigen Winde wieder zu seinem Abfahrtsort zurückgetrieben.

## Auf der Satellitenspur unterwegs

Die erste Woche verlief so gut, dass das Kampagnen-Team es kaum glauben konnte: Schon beim Überführungsflug am 9. September 2019 vom heimischen Oberpfaffenhofen nach Island schalteten die Wissenschaftler die Instrumente an Bord der Falcon ein und folgten der Spur des Aeolus-Satelliten nördlich von Schottland. Zum einen zeichnete mit dem Lidar A2D ein Instrument die Windgeschwindigkeit auf, das über dieselbe Systemarchitektur und Empfangsoptik wie „Aladin“ auf Aeolus verfügt, zum anderen war mit „2-µm wind lidar“ ein erprobtes und bewährtes Instrument im Einsatz, das genauere Messungen zu den Windgeschwindigkeiten liefert. Der erste AVATARI-Datensatz zum Vergleich mit den Aeolus-Daten war somit schon nach dem Transferflug gespeichert. In den folgenden Tagen ging es Schlag auf Schlag: Nahezu täglich hob die Falcon ab, um möglichst synchron mit dem Satelliten den Wind zu vermessen.



Lagebesprechung im Frühstücksraum: Christian Lemmerz, Frank Probst, Oliver Reitebuch und Andreas Schäfler (von links nach rechts) wägen gemeinsam ab, wann und auf welcher Route der nächste Messflug erfolgen soll

Windgeschwindigkeiten mit bis zu 60 Metern in der Sekunde, gemischte Bewölkung – und dann noch der Flug am 17. September durch den Jetstream mit seinen starken Winden. „Ein Traum“, sagt Oliver Reitebuch, wissenschaftlicher Leiter des Aeolus-DISC am DLR.

## Hoffen auf ideale Bedingungen

Nun, in der zweiten Woche der AVATARI-Kampagne, bröckelt der Traum ein wenig: Beim Kalibrierungsflug über dem grönländischen Eis macht eine Sicherung am Wind-Lidar Probleme, sodass nicht alle Messungen wie geplant durchgeführt werden können und nach der Rückkehr in den Hangar die Fehlerbehebung ansteht. Und dann wird das Wetter über Island unberechenbar. Zwei Mal am Tag ruft Meteorologe Andreas Schäfler die Vorhersagen des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage ab (ECMWF; European Centre for Medium-Range Weather Forecasts).

## DAS INSTRUMENT ALADIN:

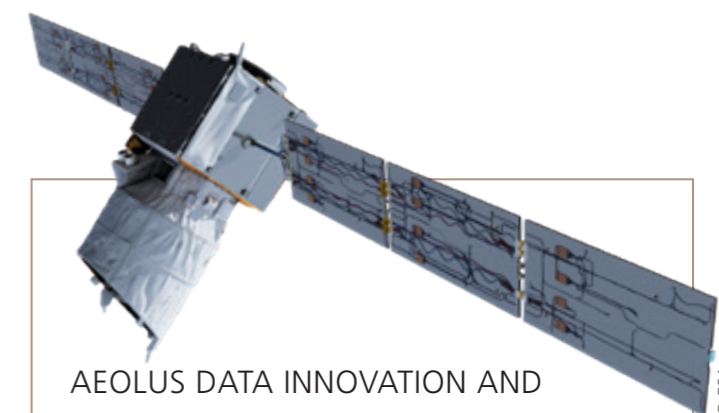
ALADIN ist das erste Lidar (light detection and ranging) auf einem Satelliten zur entfernungs aufgelösten Messung von Windgeschwindigkeiten. Kurze Laserpulse werden ausgesandt. Mit Hilfe des aus der Atmosphäre zurückgestreuten Lichts wird die Wellenlängenverschiebung mit Spektrometern bestimmt. Über den Dopplereffekt ist diese proportional zur Windgeschwindigkeit entlang des Laserstrahls.

- Laserwellenlänge: 355 Nanometer
- Laserenergie: 60 Millijoule
- Pulswiederholrate: 50 Hertz
- Teleskopdurchmesser: 1,5 Meter
- Vertikale Auflösung: 500 Meter–2 Kilometer
- Horizontale Auflösung 10–90 Kilometer
- Spezifizierte Messgenauigkeit:  
2–3 Meter/Sekunde zufälliger Fehler  
0,7 Meter/Sekunde systematischer Fehler

Ein idealer Messflug muss mehrere Bedingungen erfüllen: Die Bewölkung unterhalb der vorhergesagten Satellitenbahn sollte weder zu hoch noch zu dicht sein, da die Laserpulse aus dem All dichte Wolkendecken nicht durchdringen können. „Allerdings sind einige Wolken auf der Messstrecke wiederum ganz gut, um die Reaktion des Aeolus-Instruments auf Wolken zu beobachten“, ergänzt der Meteorologe. Da der Satellit die Erde in Nord-Süd-Bahnen umkreist und nur seitlich zur Flugrichtung misst, lassen sich Ost-West-Winde am besten erfassen. Um detaillierte Windprofile berechnen zu können, eignen sich hohe Windgeschwindigkeiten besonders, gerne auch abwechslungsreich in verschiedenen Höhen über dem Boden. Besonders interessant für die Atmosphärenforscher ist daher der Jetstream mit seinen Starkwinden. „Wir wollen anspruchsvolle Szenarien, die eine Herausforderung für den Satelliten sind“, betont Kampagnen-Koordinator Christian Lemmerz. Dabei darf die Flugroute der Falcon keinesfalls in den südlich von Island gelegenen nordatlantischen Flugkorridor reichen, in dem sich ein Großteil des Flugverkehrs von Europa nach Nordamerika abspielt. Kommt die Falcon zu dicht an diesen Bereich heran, fordert die Air Traffic Control zur Umkehr auf. Bei der Planung der Messflüge ist es außerdem wichtig, die Ruhezeiten der Besatzung sowie der Piloten Roland Welsler und Thomas van Marwick zwischen den Flügen einzuhalten.

## Lückenfüller für die Wettervorhersage

Mit Aeolus fliegt eine Mission, die Lücken in der mittelfristigen Wettervorhersage füllen soll. Sie stand lange oben auf der Wunschliste der World Meteorological Organization (WMO), einer Sonderorganisation der Vereinten Nationen, zu der auch der Deutsche Wetterdienst gehört. „Von den oberen Stockwerken der Atmosphäre liegen uns nur wenige Windmessungen vor“, sagt DLR-Atmosphärenforscher Oliver Reitebuch. Bislang werden Messungen in Bodenhöhe, punktuelle Windmessungen mit Ballonen oder Radiosonden über Land genutzt. Aber was sich in den globalen Luftschichten abspielt, ist nicht ausreichend vermessen. „Auf der Südhalbkugel, in den Tropen und über den Ozeanen fehlen uns die Daten.“ Der Wind ist aber für die Zirkulation in der Atmosphäre entscheidend. Eine dünne Datenlage macht Vorhersagen beispielsweise von tropischen Zyklonen ungenau, aber auch die Vorhersage von Windgeschwindigkeiten im Jetstream für den Flugverkehr.



## AEOLUS DATA INNOVATION AND SCIENCE CLUSTER

Das DLR koordiniert das Aeolus DISC, das von der ESA gefördert wird. Zusammen mit zehn internationalen Partnern hat es die Aufgabe, das Aladin-Instrument an Bord des Satelliten Aeolus und die Qualität der Datenprodukte zu überwachen und verbessern. Zudem entwickelt es Algorithmen und Prozessoren weiter, um die Detektorsignale des Wind-Lidars zu Wind- und Aerosolprodukten zu verarbeiten. Außerdem führt das Cluster Experimente mit numerischen Modellen zu Wettervorhersagen durch, um den Einfluss der Aeolus-Daten auf die mittelfristige Vorhersage zu untersuchen.

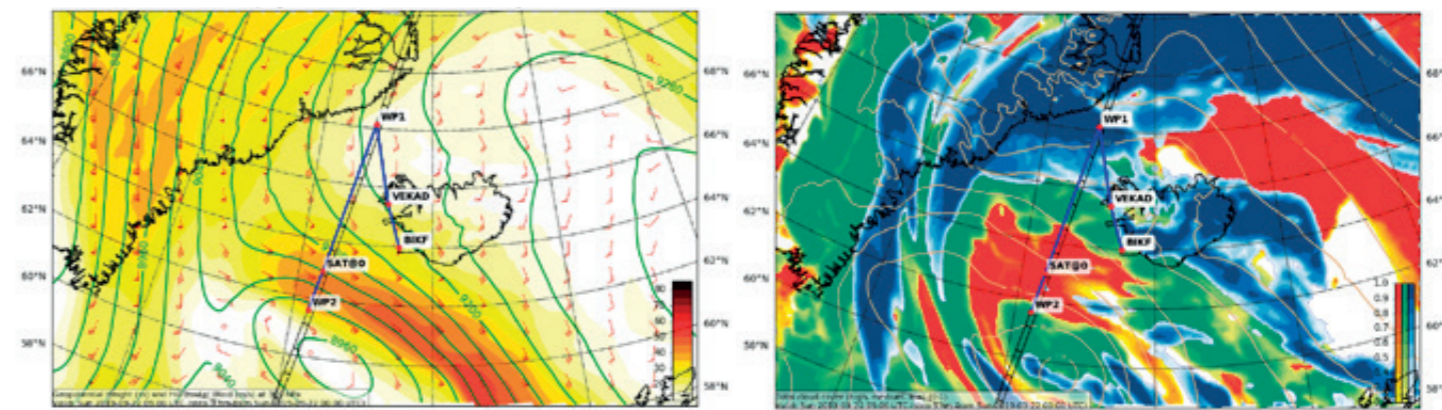
Ende der Achtzigerjahre fand der erste Workshop zur Mission bei der ESA statt, um die Rahmenbedingungen festzulegen. Mit der Entwicklung des Doppler-Lidars „Aladin“ wurde Neuland betreten – schließlich wurde beschlossen, einen Prototypen des Instruments auf Flugzeugen zu testen. 2009 startete die erste Mission mit einem Demonstrator an Bord der DLR-Falcon. Heute, nachdem der Satellit seinen Betrieb im All aufgenommen hat, erfasst dieser Vergleichswerte, um die Daten aus 320 Kilometer Höhe zu validieren. Reitebuch begleitet die Aeolus-Mission seit zwei Jahrzehnten, „eigentlich den Großteil meines Berufslebens“. Das DLR hat dabei vor allem eine Aufgabe: die Algorithmen und Prozessoren zu entwickeln, die die Detektorsignale, die vom Satelliten zur Erde gefunkt werden, in Endprodukte umwandeln.

## LASER-INSTRUMENT MIT KNOW-HOW AUS DEUTSCHER INDUSTRIE UND WISSENSCHAFT

Der Erdbeobachtungssatellit Aeolus ist am 22. August 2018 vom ESA-Raumflughafen in Kourou (Französisch-Guyana) gestartet und umkreist die Erde in einer Höhe von 320 Kilometern. Die Mission ist Bestandteil des „Living Planet“-Programms der ESA, bei dem Deutschland starker Partner und Beitragszahler ist. Das DLR Raumfahrtmanagement in Bonn steuert im Auftrag der Bundesregierung die deutschen ESA-Beiträge. Mit Aeolus und insbesondere dem Laser-System Aladin kann die mittelfristige Wettervorhersage verbessert werden. An der Entwicklung des Laser-Instruments sind die deutsche Industrie und die Forschung beteiligt. Die OHB System AG in München hat die Sende- und Empfangsoptik für den UV-Laserstrahl entwickelt. Die Tesat-Spacecom GmbH in Backnang hat neben dem Kommunikationssystem auch den Referenzlaser für das Aladin-Instrument der Mission gebaut. Airbus in

Friedrichshafen war für das elektrische System auf der Satellitenplattform zuständig. Einen technischen Durchbruch erzielten eine Reihe von kleinen und mittelständischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen bei der Qualifizierung der Laseroptiken für den Betrieb im Vakuum. Die Firmen Layertec (Mellingen) und Laseroptik (Garbsen) lieferten Optiken und Beschichtungen, das Laser-Laboratorium Göttingen, das Laser Zentrum Hannover sowie das Institut für Technische Physik des DLR in Stuttgart führten die Testmessungen durch. Diese Einrichtungen trugen wesentlich dazu bei, dass eine Optik in das Instrument eingebaut werden konnte, die trotz der hohen Laserleistung die geplante dreijährige Lebensdauer des Satelliten zuverlässig arbeitet.

➔ Mehr Informationen unter: [t1p.de/tuey](http://t1p.de/tuey)



Die Vorhersagen des European Centres for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) für Wind (Bild 1) und Wolken (Bild 2) für den 22. September 2019 zeigen hohe Windgeschwindigkeiten und relativ geringe Bewölkung. Der Satellit Aeolus – dessen voraussichtliche Spur die DLR-Wissenschaftler als schwarze Linie in die Wetterkarten eingetragen haben – wird ein Tiefdruckgebiet südlich von Island überfliegen. Bild 1 zeigt farbig kodiert die Windgeschwindigkeiten in rund zehn Kilometer Höhe. Die blaue Linie markiert die Strecke der Falcon von Keflavik aus, ihren Flug unter dem Satelliten (WP2 bis WP1) sowie die Rückkehr nach Keflavik. Bild 2 zeigt die Wolkenbedeckung, wie man sie vom Satelliten aus sehen würde. Hohe Wolken sind blau, mittelhohe Wolken grün und tiefe Wolken rot dargestellt.

## Rendezvous mit Aeolus

Im Aufenthaltsraum des Hostels fällt die Entscheidung: Am Sonntagmorgen sehen die Bedingungen für einen Messflug am günstigsten aus: Ein Band aus südöstlichen Winden befindet sich in Reichweite und der Punkt, an dem die Falcon auf den vorhergesagten Satellitentrack einschwenken kann, scheint in einer Region mit höheren Windgeschwindigkeiten zu liegen. Auch wenn der Satellit mit einer Geschwindigkeit von 7,5 Kilometern pro Sekunde seine Bahn auf 320 Kilometer Höhe zieht und die Falcon in rund zehn Kilometer Höhe „nur“ mit 200 Metern in der Sekunde fliegt, haben die Instrumente dieselbe Blickrichtung. Daraufhin übernehmen die Mitarbeiter des DLR-Flugbetriebs: Die Piloten erhalten für ihre Flugplanung die Positionsdaten und Koordinator Frank Probst meldet Flug und Route bei der Air Traffic Control an. Gegen 7 Uhr morgens soll die Falcon abheben, das „Rendezvous“ mit dem Satelliten wird um 8.28 Uhr Ortszeit stattfinden.

Das erste Team ist bereits um 4.10 Uhr am Hangar. Die Instrumente sind empfindlich. Sie müssen vor dem Flug eingeschaltet und auf die richtige Temperatur gebracht werden. Im Hangar war es nachts kalt. Christian Lemmerz quetscht sich zwischen Instrumentenracks und die Ausrüstung zur Steuerkonsole des Laserinstruments. Noch eine Anlage mehr und in der Falcon würde kein Wissenschaftler mehr Platz finden. Jeder für die Forschung verfügbare Zentimeter wurde ausgenutzt. Mehrere Tage hatte es gedauert, bis in Oberpfaffenhofen alles für die Flugkampagne eingebaut und auf Funktion und Sicherheit geprüft worden war. Kampagnen-Koordinator Christian Lemmerz kennt die Instrumente in- und auswendig. Schalter werden umgelegt, die Laserkühlung gestartet, Programme aktiviert. Nach und nach erwachen A2D und 2- $\mu$ m zum Leben. Techniker Christoph Grad kontrolliert den Nasenmast der Falcon, in dem Sensoren während des Fluges Informationen zu Windrichtung und -geschwindigkeit sowie zu Temperaturen und Feuchtigkeit aufzeichnen. Für die Wissenschaftler sind dies zusätzliche Informationen, mit denen sie ihre Windmessungen in Richtung Boden in den Flugverlauf einordnen können.



Die Messinstrumente sind empfindlich – jeder Ausfall während des Fluges bedeutet den Verlust von Forschungsdaten. Oliver Reitebuch kontrolliert vor dem Flug, ob alle Instrumente startklar sind.

Um 5 Uhr trifft mit den Piloten und dem Wissenschaftler, der das 2- $\mu$ m-Instrument während des Flugs betreut, der Rest des heutigen Teams im Hangar ein. Vor den großen Metalltoren ist es immer noch dunkel. Der Regen fällt stetig. Pilot Thomas van Marwick legt seine Tasche im Flieger ab und das für den dreieinhalbstündigen Flug geschmierte Brot bereit. Bei dieser Kampagne sind keine anspruchsvollen Flugmanöver gefragt. Roland Welsler ist seit Jahrzehnten am Steuerknüppel der Falcon unterwegs, Thomas van Marwick ist vor sechs Jahren als Pilot ins DLR gekommen. „Für uns ist das kein aufregender Flug“, sagt er. Da bleibt auch Zeit, zwischendurch zu frühstücken. „Aber über Island und Grönland zu fliegen ist immer ein unvergleichlicher Anblick.“ Ruhig und konzentriert werden die letzten Vorbereitungen durchgeführt. Jeder kennt den Zeitplan. Verschiebungen sind nicht möglich, denn das Forschungsflugzeug muss sich in die Abflüge der großen Verkehrsflieger einreihen. Schließlich wird die Falcon aus dem Hangar geschoben. Um 6.58 Uhr hebt sie ab.

Nach der Landung um 10.30 Uhr steht fest: Die Entscheidung, den Flug durchzuführen, war die richtige. Auf der Satellitenspur gab es nur im nördlichen Teil die unerwünschten hohen Wolken, ansonsten blickten die Instrumente auf einige Wolken in den niedrigen Schichten über dem Boden. Die Windgeschwindigkeit reichte von moderaten bis hin zu höheren Geschwindigkeiten von etwa 50 Metern pro Sekunde. Eine Festplatte mit Daten wandert aus der Falcon in die Hände von Stephan Rahm. Der hat sich in seinem Hostelzimmer ein Bodensegment aufgebaut, in dem die frischen Daten für einen ersten Eindruck prozessiert und begutachtet werden können. 200 Gigabyte neue Daten für den Abgleich mit den Satellitendaten und für die Optimierung der Auswertungsalgorithmen kommen so mit jedem Flug hinzu. „Die Kollegen fliegen die Falcon ja gerne, bis sie fast hinunterfällt“, sagt Rahm scherzhaft und verschwindet mit der Daten-Ausbeute in Richtung Rechner.



Auf engstem Raum bereitet Kampagnen-Koordinator Christian Lemmerz (rechts) mit Uwe Marksteiner in der Falcon die Instrumente für den anstehenden Messflug vor



Die Piloten Roland Welsler (links) und Thomas van Marwick gehen die letzten Prozeduren durch, bevor die Falcon mit Instrumenten und Wissenschaftlern abhebt



Christoph Grad ist dafür zuständig, dass die Falcon mit ihren eigenen Messinstrumenten während des Fluges Parameter wie Temperatur, Feuchtigkeit oder auch Windrichtung erfassen kann

## Erfolgreiche Bilanz für AVATARI

„Wir benötigen solche Kampagnen des DLR aus mehreren Gründen“, erläutert Thorsten Fehr von der ESA. „Zum einen haben sie vor dem Start geholfen, die Mission vorzubereiten. Zum anderen verbessern sie jetzt die Mission durch die Kalibrierung und Validierung der Satellitendaten.“ Und auch die Definition einer möglichen Nachfolge-mission kann nur erfolgen, wenn Schwachstellen, Erfolge und Bedarfe sorgfältig analysiert wurden. Neben dem DLR hat derzeit nur ein ausgewählter Kreis von internationalen Wetterdiensten Zugriff auf die Aeolus-Daten aus dem All. Erst wenn die Qualität der Daten gewährleistet und ihre Prozessierung optimal sind, können die globalen Windprofile in die bestehenden Modelle zur Wettervorhersage einfließen. Voraussichtlich ab Anfang 2020 sollen die Daten der wissenschaftlichen Community zur Verfügung gestellt werden.

Am Ende der AVATARI-Kampagne wird die Falcon mit den Instrumenten an Bord insgesamt zehn Mal der Spur des Aeolus-Satelliten gefolgt sein. Zwei Mal konnten die Wissenschaftler ihre Instrumente bei Flügen über dem grönländischen Eis kalibrieren. Insgesamt zwölf Flüge sind das Ergebnis. „Das ist mehr als bei allen Kampagnen, die wir zuvor für die Aeolus-Mission durchgeführt haben“, zieht DLR-Atmosphärenforscher Oliver Reitebuch Bilanz. Und auch mehr, als man bei der Wetter-situation während der Kampagne erwartet hätte. Damit ist ein weiterer Schritt auf dem Weg zu einer genaueren mittelfristigen Wettervorhersage getan. Die Windprofile, die Aeolus zum Beispiel in den Tropen erfasst, werden global die Vorhersagen verbessern. „Beim Wetter ist letztendlich alles miteinander verwoben“, sagt Oliver Reitebuch.

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



Nicht immer waren Wetter und Wind günstig – letztendlich aber konnten die Wissenschaftler auf einer Rekordzahl von Messflügen umfangreiche Datensätze gewinnen: Mit diesen können sie nun Satellitendaten auf die Probe stellen und neue Auswertungsalgorithmen entwickeln.



# RAUMFAHRT-TECHNOLOGIE FÜR IRDISCHE BÖDEN

## Der Biofilter C.R.O.P. macht aus biologischen Abfällen Düngemittel

Ein Interview von Manuela Braun

**Die Mahnung kommt nicht zum ersten Mal: Am 25. Juli 2019 hat die Europäische Kommission Deutschland abermals aufgefordert, die Nitrat-Richtlinie des Gerichtshofs der Europäischen Union von 1991 zu erfüllen. Vor allem die Düngung mit Gülle und Jauche trägt dazu bei, dass im Grundwasser die gemessenen Nitratwerte zu hoch liegen. Daher sollen Maßnahmen getroffen werden, die die Verschmutzung von Gewässern durch Nitrate aus der Landwirtschaft deutlich verringern. Der Gerichtshof kritisiert, dass die deutschen Vorschriften beispielsweise zur Ausbringung von Düngemitteln nicht ausreichen – und droht mit erheblichen Geldstrafen. Nur: Die Gülle fällt durch die Viehwirtschaft nun einmal an. Sie zu lagern und zeitlich dosiert als Dünger für die Pflanzen zu verwenden, ist allerdings schwierig. Wird zu viel gedüngt, kann die Nitratmenge aber von den Pflanzen nicht vollständig aufgenommen und verwertet werden. Das überschüssige Nitrat wird dann in Grundwasser, Seen und Flüsse ausgewaschen.**

Eine Möglichkeit, aus den tierischen Abbauprodukten der Landwirtschaft eine besser dosierbare Düngemittellösung herzustellen, bietet eine Raumfahrt-Technologie: Seit 2011 entwickelt und erforscht Dr. Jens Hauslage vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin den Biofilter C.R.O.P. (Combined regenerative organic-food production). Was derzeit mit dem Satelliten Eu:CROPIS im All unterwegs ist und in Zukunft beispielsweise auf Missionen zu Mond oder Mars den Astronauten-Urin zu einer Nährstofflösung für Pflanzen recyceln könnte, hat auch irdische Einsatzmöglichkeiten. Im Interview erläutert der DLR-Wissenschaftler, wie Lavasteine und Mikroorganismen im Weltall sowie bei der Reduzierung von Nitrat in Böden und Grundwasser auf der Erde eingesetzt werden können.

### Dr. Jens Hauslage

arbeitet am DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin in der Abteilung Gravitationsbiologie und leitet die Projekte C.R.O.P. und Eu:CROPIS. Dafür simuliert und testet er zusammen mit seinem Team Gewächshäuser, die auf Mond oder Mars im Inneren eines Habitats stehen könnten. Sein Traum ist ein hybrides Lebenserhaltungssystem. Dabei werden physiko-chemische Systeme mit biologischen Lebenserhaltungssystemen verknüpft. Das physiko-chemische System sorgt für Stabilität und Sicherheit, während das biologische System einen dauerhaften Betrieb gewährleistet.



© DLR

**Der C.R.O.P.-Filter befindet sich derzeit an Bord des Satelliten Eu:CROPIS in rund 560 Kilometer Höhe über der Erde. Wie funktioniert der Filter und welche Einsatzmöglichkeiten wird es in der Raumfahrt geben?**

■ In einer Raumstation oder in einem Habitat auf einem anderen Planeten können wir keinen beliebigen Boden nutzen, um aus menschlichen Abfällen den Dünger für beispielsweise Tomaten herzustellen. Der wäre viel zu unhygienisch, um ihn in einer solchen Umgebung einzusetzen. Aber wenn wir Mikroorganismen nutzen wollen, die eigentlich die Arbeit im Boden hier auf der Erde machen, dann brauchen diese natürlich auch einen Lebensraum. Daher nehmen wir festes, jedoch poröses Lavagestein, das wir in unserem Biofilter C.R.O.P. mit Wasser und Urin „überrieseln“. In den kleinen Poren und Höhlen dieser Steine fühlen sich solche Organismen wohl, die auch bei uns in der Erde zum Beispiel Ammoniak aus Urin oder Gülle in Nitrat umwandeln. Diese Gemeinschaft im Lavagestein übernimmt also die Funktion, die auf den landwirtschaftlichen Feldern der Boden hat.

**Wie kann ein Biofilter, der vielleicht einmal in einer Raumstation die menschlichen Abfallprodukte zu einer Nährlösung umwandeln wird, dabei helfen, die hohen Nitratwerte auf der Erde zu reduzieren?**

■ Unsere Böden haben eine ganze Menge damit zu tun, die Gülle in Dünger umzuwandeln. Jetzt kommt das Problem: Es gibt viel zu viel Gülle für zu wenig Pflanzen, die den Dünger nutzen. Folglich haben wir einen immensen Überschuss. Diesen müssen wir lagern, wenn wir unser einst so gutes Trinkwasser nicht weiter belasten möchten. Nun will niemand einen „Gülle-See“ vor der Haustür haben, und die Lagerung und der Transport sind nicht wirtschaftlich. Der C.R.O.P.-Filter ist aber in der Lage, auf natürliche Weise, ohne den Einsatz von Chemikalien und ohne hohe Energie-Einträge, aus der Gülle eine nicht mehr stinkende und entgiftete Düngemittellösung zu erzeugen, die in konzentrierter Form gut lagerfähig ist. Dieser neu gewonnene Wirtschaftsdünger kann wesentlich kontrollierter wieder ausgebracht werden, ohne die Böden und das Grundwasser zu belasten. Zudem können Bakterien zum Einsatz, die zum Beispiel auch Medikamentenreste abbauen können. Diese Stoffe sind ein sehr ernstzunehmendes Problem bei der Trinkwasseraufbereitung.

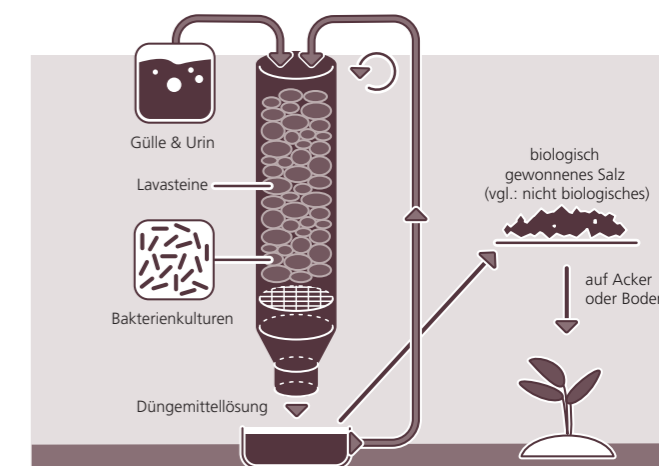
**Von welchen Mengen an Gülle sprechen wir in Deutschland?**

■ Ich gehe von etwa 250 Millionen Tonnen aus. Dazu kommen weitere 30 bis 60 Millionen Tonnen aus den Niederlanden und Dänemark, die nach Deutschland transportiert und hier ausgebracht werden.

**Warum ist es so problematisch, Gülle zu lagern und auf den Bedarf ausgerichtet auf die Felder zu bringen?**

■ Gülle ist eigentlich ein Gefahrstoff. Sie enthält hohe Konzentrationen von Ammoniak, das für den Menschen ein starkes Gift sein kann. Außerdem ist Ammoniak als Verursacher von Feinstaub identifiziert worden. Nun fallen wie gesagt jährlich Millionen Tonnen Gülle an. Diese könnte man in offenen Teichen lagern oder aber in gut verschlossenen Silos – die jedoch niemand finanzieren würde. Der C.R.O.P.-Filter erzeugt ein biologisch gewonnenes Salz, das wesentlich weniger Platz einnimmt und zudem stabiler einzulagern ist. Ein Problem in der Lagerung solcher großer Flüssigkeitsmengen ist nämlich die Sicherheit. Man stelle sich vor, dass ein Gülle-See ausläuft. Dann fließen mit einem Schlag hunderttausende Liter Gülle in den Boden. Bei einem trockenen Stoff kann das nicht passieren.

**Manuela Braun** ist verantwortlich für die strategische Kommunikation im Bereich Raumfahrt.



Der Filter besteht aus einer vertikalen Röhre, die mit Lavasteinen gefüllt ist. Darunter ist ein Wasserbecken. Wasser wird kontinuierlich aus dem Becken nach oben gepumpt und rieselt über die Lavasteine wieder hinunter. In den Steinen sitzen Bakterienkulturen wie Nitrosomonas oder Nitrobacter, die in der Lage sind, biologische Abfälle (Gülle, Urin oder Gärreste) in eine Düngemittellösung für Pflanzen umzuwandeln. Außerdem entfernen sie Giftstoffe.

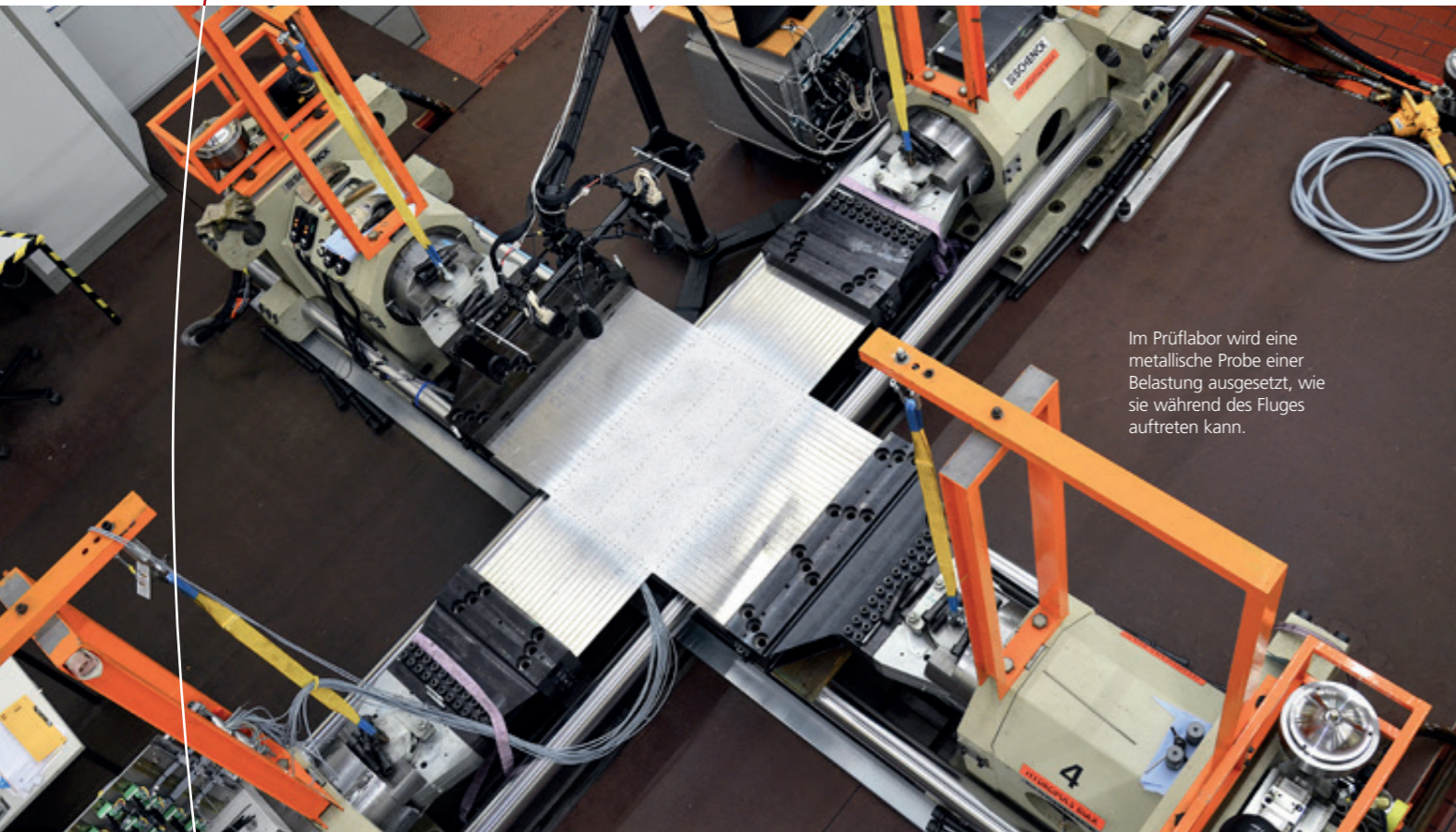
## 20.000 RUNDEN UM DEN MARS

In der Nacht vom 24. auf den 25. Dezember 2003 meldete das Kontrollzentrum der Europäischen Weltraumagentur ESA den erfolgreichen Eintritt von „Mars Express“, ihrer ersten Planetenmission, in die Marsumlaufbahn. Mit an Bord: die am DLR entwickelte High Resolution Stereo Camera (HRSC). Ursprünglich nur für zwei Erdenjahre vorgesehen, wurde die Mission von der ESA immer wieder verlängert, zuletzt bis Ende 2022. Am 26. Oktober 2019 hat der Marathonläufer unter den Raumsonden – nur die amerikanische Mission „2001 Mars Odyssey“ ist länger im Orbit – seinen zwanzigtausendsten Orbit um die Pole des Mars absolviert. Die HRSC nahm in dieser Zeit Terabytes an hochaufgelösten Stereo-Farbbilddaten auf. Neben ihrem wissenschaftlichen Nutzen bieten die Aufnahmen oftmals auch höchsten ästhetischen Genuss. Das Bild zeigt die Region Promethei Planum nahe dem Südpol. Im Mars-Frühsummer verdampft nach und nach das Kohlendioxid des Winters und die darunterliegende Landschaft kommt wieder zum Vorschein. Der Krater Liais, der rechts im Anschnitt zu sehen ist, hat einen Durchmesser von etwa 120 Kilometern.

# ZERREISSPROBE AM COMPUTER

## Künstliche Intelligenz erkennt Risse im Flugzeugrumpf

Von Dr. Frank Seidler



Im Prüflabor wird eine metallische Probe einer Belastung ausgesetzt, wie sie während des Fluges auftreten kann.

**M**etallische Materialien sind ein wesentlicher Bestandteil der Struktur moderner Verkehrsflugzeuge. Nur wer versteht, wie sich diese Werkstoffe im täglichen Flugbetrieb verhalten, an welchen Stellen sie besonders beansprucht werden und wann sie ausgetauscht werden müssen, kann sichere und effiziente Flugzeuge konstruieren.

Materialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler des DLR führen deshalb aufwendige Werkstoffuntersuchungen und Experimente durch – von ganzen Komponenten bis hin zu Mikrostrukturen. Sie setzen Bauteile mechanischen Kräften aus, wie sie während des Fluges auftreten, beobachten ihre Reaktion und zeichnen diese mit Kameras auf. So lernen sie deren Grenzen kennen und können das Verhalten verstehen. „Wir wollen die Eigenschaften der Werkstoffe bis an ihr Limit ausnutzen. Wenn wir das kennen, wissen wir, wann das Flugzeug gewartet werden muss, und können die Zeitspanne zwischen Wartungsintervallen besser einschätzen“, sagt Eric Breitbarth und ergänzt: „Das spart Zeit und Kosten.“ Außerdem spart es natürliche Ressourcen, denn letztendlich müssen die schweren, widerstandsfähigen Metalle dann nur dort im Flugzeug verbaut werden, wo sie wirklich benötigt werden. Die Flugzeuge werden entsprechend leichter und verbrauchen weniger Treibstoff. Trotzdem sind sie sicher und können Belastungen wie Windböen oder hohem Kabinendruck standhalten.

### Algorithmen spüren Risse auf

Dabei helfen dem Team in der Abteilung Metallische Strukturen und hybride Werkstoffsysteme Methoden der künstlichen Intelligenz (KI). Damit entwickeln sie schneller präzise Werkstoff- und Vorhersagemodelle. Zwei Beispiele sind die digitale Bildkorrelation und das Deep Learning. Bei Ersterem wird über das Bauteil ein virtuelles Bild gelegt. Dieses zeigt an, wo die Belastung im Material hoch und wo sie niedrig ist. Dort, wo die Beanspruchung am stärksten ist, bilden sich über kurz oder lang feine Risse im Metall. Diese Werkstoffermüdung ist ein völlig normales Phänomen im Leben eines Luftfahrzeugs. Werden die Risse zu groß, muss das entsprechende Bauteil bei einem der regelmäßigen Wartungstermine ausgetauscht werden. Der Algorithmus der digitalen Bildkorrelation erkennt diese Risse. Von ihnen lassen sich außerdem Materialkennwerte ableiten. Sobald die Software eine entsprechende Stelle identifiziert hat, wird sie von automatisch nachgeführten Mikroskopen fotografiert. Hierfür entwickelten die Forscher einen intelligenten Auswertalgorithmus. Dieser berechnet, wie sehr die Risspitze beansprucht wird, und wertet aus, in welchem Stadium sich die Risse befinden. Auf Basis dieser neuen Technologie können die Experten neue Lebensdauermodelle für Materialien erstellen.

Neben den 2D- und 3D-Bilddaten, die durch die digitale Bildkorrelation entstehen, ist es für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unerlässlich, die Mikrostruktur des Gefüges von beanspruchten Flugzeugkomponenten zu kennen. Mit Hilfe einer 3D-Computertomografie erstellen sie dafür ein virtuelles Abbild des Werkstoffs. In dieser Aufnahme sind seine einzelnen Bestandteile gut zu sehen. Mussten die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler diese Abbilder bisher in zeitaufwendiger Arbeit manuell auswerten, so übernehmen heute erste trainierte Deep-Learning-Algorithmen diese Arbeit. Die Software ermittelt und bewertet die Zusammensetzung des Materials in einem Bruchteil der Zeit. Am DLR-Institut für Werkstoff-Forschung werden die Verfahren des maschinellen Lernens und insbesondere der Convolutional Neural Networks (CNN) mittlerweile sehr erfolgreich zur Mustererkennung und semantischen Bildsegmentierung eingesetzt. Dies trägt dazu bei, große Datenmengen der Computertomografie schnell und präzise auszuwerten und liefert somit Einblicke, die mit herkömmlichen Methoden nicht zu erfassen sind, beispielsweise in den Schädigungsprozess im Bauteilinneren.

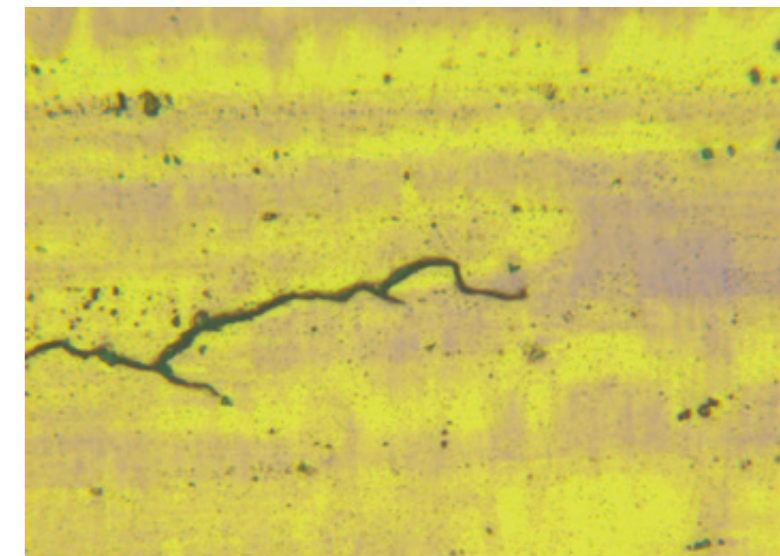
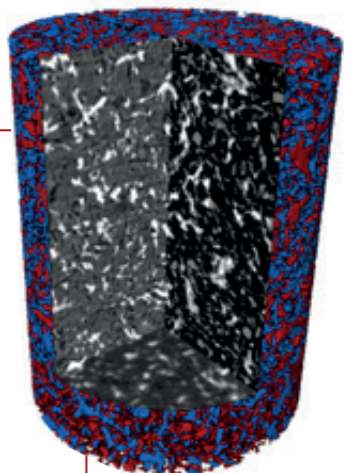
### Testen bis ans Limit

Getestet werden die Materialien an einer biaxialen Prüfeinrichtung im Institut für Werkstoff-Forschung in Köln. An dieser werden die Proben mit Hilfe von vier Hydraulikzylindern in zwei Richtungen belastet und bis zum Bersten gespannt. So kann im Experiment die Belastung auf den Flugzeugrumpf während der bis zu mehrere Jahrzehnte währenden Lebensdauer innerhalb weniger Stunden abgebildet werden. „Die Anlage ist bei uns schon länger im Betrieb, aber die KI eröffnet uns völlig neue Möglichkeiten“, freut sich Eric Breitbarth. So soll zukünftig neben KI auch Robotik eingesetzt werden, um den kompletten Versuchsablauf bis hin zur Ergebnisauswertung zu automatisieren.

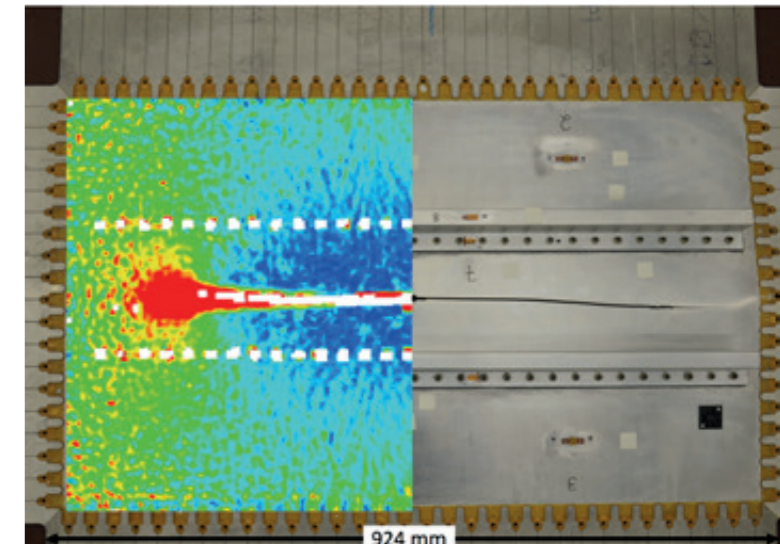
Dr. Frank Seidler ist am DLR-Institut für Werkstoff-Forschung unter anderem verantwortlich für Marketing und Kommunikation.

### UNSICHTBARES SICHTBAR MACHEN

In drei Dimensionen zeigt die computertomografische Aufnahme die innere Struktur einer gegossenen Aluminium-Silizium-Legierung (grau). Solche Werkstoffe verwendet beispielsweise die Automobilindustrie, um Kolben herzustellen. Das KI-System identifiziert die Bestandteile der Legierung und weist ihnen unterschiedliche Farben zu: Silizium ist blau und die sogenannte intermetallische Phase (Mischung von Aluminium mit anderen Metallen wie Kupfer oder Eisen) rot dargestellt. Aluminium ist in der Darstellung transparent. So wissen die Forscher, wie der Werkstoff zusammengesetzt ist und wie er sich verhalten wird: Wann bricht er? Wie fest ist er? Ein trainiertes neuronales Netz kann diese Informationen innerhalb von wenigen Minuten liefern, mit dem Training dauert es eine Woche. Ohne diese Technologie würden die Forscherinnen und Forscher sechs Monate bis zu einem Jahr benötigen, um dies so detailliert darzustellen.



Durch Materialermüdung können sich feine Risse im Flugzeugrumpf bilden. Bleiben diese für längere Zeit unentdeckt, breiten sie sich immer weiter aus und haben mitunter schwere Folgen.



Das intelligente Kamerasystem und die digitale Bildkorrelation zeigen automatisch, wo die mechanischen Lasten in der Probe am größten sind

# NACHTFLUG ÜBER FEUERLAND

## Das Forschungsflugzeug HALO erforschte Schwerewellen in der Atmosphäre

Von Falk Dambowsky

**D**ie Antarktis gehört zu den entlegensten und am wenigsten erforschten Regionen unseres Planeten. Was hier geschieht, ist auf den ersten Blick weit weg und hat doch große Auswirkungen auf das Klima der Erde und damit auf alle Menschen. Unsere Lebensweise bestimmt wiederum die Geschehnisse in der fernen Polarregion. Das Ozonloch über der Antarktis verkleinert sich mittlerweile langsam wieder. Doch es wird noch für Jahrzehnte die Atmosphärenchemie und -physik der Antarktis mitbestimmen und auch die dortigen Prozesse rund um die Erderwärmung. Nur wenige – Wissenschaftler, Ingenieure, Forschungspiloten – reisen tief hinunter in die südliche Subpolarregion, um diese Zusammenhänge und Prozesse zu messen, zu erforschen und zu verstehen. 2019 ist das ein Team aus Deutschland mit dem Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft).

HALO ist Gast in einem alten Militärhangar, der schon etwas löchrig geworden ist und seit dem lange vergangenen Falklandkrieg nur noch selten genutzt wird. Dahinter dehnt sich eine weite Landschaft aus, geprägt von endloser Steppe. Und immer wieder Schafe, die auf ausgedehnten Flächen weiden. An die andere Seite des Flugplatzes grenzt die Stadt Río Grande. Bei Nacht sind aus der Luft ringsum nur die Lichter der 66.000-Einwohner-Stadt am Atlantik zu erkennen. Zwei Linienmaschinen aus Buenos Aires landen hier täglich, nachts um 3.30 Uhr und morgens um 8 Uhr. Sonst ist es ruhig in der Luft über Feuerland am südlichsten Zipfel Argentiniens.

Das Team der Forschungskampagne SouthTRAC (Transport, Dynamics and Composition of the Southern Hemisphere) vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre, dem Karlsruher Institut für Technologie, dem Forschungszentrum Jülich, von den Universitäten Mainz, Frankfurt, Wuppertal und Heidelberg sowie vom DLR-Forschungsflugbetrieb hat sich angrenzend an den Hangar in einem rustikalen, holzvertäfelten Büroraum eingerichtet. Hier laufen die Fäden zusammen, werden Wetterprognosen analysiert und Flüge geplant, aber auch die Kontakte zur Flugsicherung gehalten. Das Team arbeitet in Schichten, denn viele HALO-Flüge finden in der Nacht statt, während am Tag Messgeräte kalibriert und gewartet werden müssen. Während der gesamten Kampagne sind immer durchschnittlich 50 Personen vor Ort in Argentinien; insgesamt sind knapp 150 Expertinnen und Experten an der Mission SouthTRAC beteiligt.

### DAS FORSCHUNGSFLUGZEUG HALO

Seit mehr als zehn Jahren ist das Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) im Einsatz. Es ist eine gemeinschaftliche Initiative deutscher Umwelt- und Klimaforschungseinrichtungen. Finanziert wird der Betrieb von HALO durch ein Konsortium bestehend aus der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), dem Forschungszentrum Jülich, dem Leibniz-Institut für Troposphärenforschung und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

### Abflug in die Wellen

Für einen Nachtflug trifft die Crew abends am Hangar ein. 20 Uhr ist der Start geplant. Über den Bergen liegt noch die letzte Dämmerung. 13 Messgeräte, fünf Wissenschaftler, zwei Piloten und ein Bordingenieur passen zusammen in Kabine und Cockpit. So betreut ein Wissenschaftler oder eine Wissenschaftlerin gleich mehrere Geräte. Zudem wird der Flug von mehreren Teams am Boden überwacht. Heute geht es nach dem Abflug zunächst über die chilenischen Anden hinweg mehr als 100 Kilometer hinaus auf den Pazifik.

Dabei kommt HALO direkt in Kontakt mit den zu erforschenden Schwerewellen. Diese bilden sich aufgrund des Auftriebs. „Wir merken an Änderungen der Fluggeschwindigkeit den Durchflug durch die Wellen“, erklärt DLR-Testpilot Marc Puskeiler. „Der Autopilot schwankt dann sanft zwischen höherem und geringerem Schub hin und her, um Höhe und Geschwindigkeit zu halten.“

Auf dem offenen Pazifik geht HALO in einer 90-Grad-Kurve auf einen Kurs parallel zu den Anden, hinauf bis gut 100 Kilometer vor Santiago de Chile. Das Forschungsflugzeug spielt dabei seine Fähigkeiten aus und steigt bis auf eine Gipfelhöhe von rund 14 Kilometern. Während des nächtlichen Fluges sind beim Blick aus dem Cockpitfenster nur der Mond, die Sterne und der Laser zu sehen, der den Himmel über HALO bis knapp unterhalb der Grenze zum Weltraum in 100 Kilometer Höhe nach Schwerewellen abtastet.

#### ALIMA durchleuchtet die Atmosphäre

„Für das neue Lidar-Experiment ALIMA (Airborne Lidar for Middle Atmosphere research) an Bord hat HALO extra ein optisches Fenster

oben im Rumpf. Durch dieses strahlt der Laser in die Höhe und fängt die zurückgestreuten Signale auf“, erklärt Bernd Kaifler vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre. „Genauer gesagt erfassen wir periodische Temperatur- und Dichteschwankungen, die sich bis hinauf auf 90 Kilometer in die mittlere Atmosphäre – die Stratosphäre und Mesosphäre umfasst – ausbreiten.“ Diese Schwankungen werden dort ausgelöst, wo starke Windsysteme vom Pazifik auf hohe Gebirge wie die Anden treffen. In der Tropopausenregion – dem Übergang von Troposphäre zur Stratosphäre – untersucht das Forscherteam an Bord die chemischen und dynamischen Prozesse, die die klimarelevanten Spurengase Ozon und Wasserdampf beeinflussen.

Nach einer weiteren 90-Grad-Kurve über dem Pazifik schlägt HALO einen Kurs ein, quer über den südamerikanischen Kontinent bis 200 Kilometer vor Buenos Aires. Hier wenden die Piloten und fliegen einen ähnlichen Kurs zurück zum Ausgangspunkt. Nach rund neun Stunden und einigen Tassen Kaffee an Bord ist die Crew wieder in der Abgeschiedenheit von Río Grande.



Die Anden sind die längste Gebirgskette der Erde und stellen die weltweit stärkste Quelle für Schwerewellen dar



Das Forschungsflugzeug HALO auf dem Vorfeld des Flughafens in Río Grande. Am oberen Rand des Rumpfes sind die Einlässe zu erkennen, mit denen die Luft ins Kabineninnere angesaugt und dort auf ihre Zusammensetzung hin analysiert wird.



Start einer Radiosonde nahe des Flughafens von El Calafate. Die Starts wurden von der LMU München durchgeführt, ebenfalls Projektpartner bei SouthTRAC. Von hier aus wurden auch Schwerewellen-Messungen mit einem Segelflugzeug des Piloten Klaus Ohlmann durchgeführt.

Die wichtigsten atmosphärischen Voraussetzungen für die Bildung des Ozonlochs über der Antarktis sind tiefe Temperaturen und ein verminderter Austausch mit Luftmassen aus mittleren Breiten. Letzterer wird durch einen stabilen Luftwirbel gewährleistet, den antarktischen polaren Vortex. Dieser kann allerdings durch starke Wellenaktivität geschwächt werden. Dieser Effekt wird von Klima- und Wettermodellen bisher nur unzureichend berücksichtigt. SouthTRAC liefert nun die Datengrundlage, um bestehende Klimamodelle um dieses entscheidende Puzzlestück zu ergänzen.

Weitere HALO-Flüge der Mission führen hinaus auf den Atlantik, über die Anden und über das Südpolarmeer bis zur antarktischen Halbinsel, die das Forschungsflugzeug im Rahmen der Mission erstmals überfliegt. Mit den Flügen im September und November sammeln die Forscher einen reichhaltigen Datenschatz zu Klima und Klimawandel in der südlichen Subpolarregion. Nachdem sie insgesamt acht Wochen am südlichsten Zipfel der Welt unterwegs waren, kehren die Wissenschaftler, Ingenieure und Piloten zufrieden und mit der Gewissheit nach Deutschland zurück, anhand der gesammelten Daten dem Verständnis der zurückliegenden und zukünftigen Klimaveränderungen einen großen Schritt nähergekommen zu sein. Zu Hause läuft die umfangreiche Auswertung der Daten an, während HALO weiteren Missionen nach Barbados, Brasilien und Island entgegenblickt.

Falk Dambowsky ist Presseredakteur im DLR.

#### WAS SIND SCHWEREWELLEN?

Schwerewellen sind Wellen in der Atmosphäre oder im Ozean, die durch die Schwerkraft in einem stabil geschichteten Medium (also durch den Auftrieb in Luft oder Wasser) entstehen – nicht zu verwechseln mit Gravitationswellen, die Wellen in der Raumzeit beschreiben. Schwerewellen entstehen beispielsweise, wenn Luftmassen auf Berge treffen, dort durch den Druck des Windes angehoben werden und auf der Bergrückseite wieder nach unten fallen. Diese vertikale Auslenkung der Luftmassen erzeugt Wellen, die sich vertikal und horizontal in der Atmosphäre ausbreiten. Die südlichen Anden sind die weltweit stärkste einzelne Quelle von atmosphärischen Schwerewellen. Ihre gewaltigen Berge stellen für den Wind, der in dieser Region meist aus Westen kommt, ein kolossales Hindernis dar und bilden einen leistungsfähigen Generator von Schwerewellen. Bei hohen Windgeschwindigkeiten am Boden sowie in der Strato- und Mesosphäre können sich diese tief in die Atmosphäre ausbreiten, bis gut 90 Kilometer Höhe. Das geschieht an der Südspitze Südamerikas, wenn Ausläufer des Polarwirbels im Winter die Anden erreichen. Hier entsteht dann ein perfekter Wellenleiter durch die Atmosphäre nach oben. Welchen Einfluss Schwerewellen auf das Klima haben, untersucht die Mission SouthTRAC.





© DLR

Dr. Bernd Kaifler (rechts) zusammen mit Thomas Gulde, KIT, im Forschungsflugzeug HALO

**Dr. Bernd Kaifler**

arbeitet am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in der Abteilung Lidar und ist für alle Projekte verantwortlich, die sich mit der Lidar-basierten Erforschung der mittleren Atmosphäre beschäftigen. In den letzten sieben Jahren entwickelte er Systeme, die weitestgehend automatisiert in den entlegensten Gegenden der Welt eingesetzt wurden: von Neuseeland bis Nordskandinavien – und seit zwei Jahren in Feuerland. Letztes Jahr ließen er und sein Team das weltweit erste Ballon-Lidar für die mittlere Atmosphäre auf einem NASA-Ballon fliegen.

## EIN WISSENSCHAFTLICHER WELLENRITT

**Viele Flugkilometer, viele Daten und vor allem viel Kaffee. DLR-Atmosphärenphysiker Dr. Bernd Kaifler erzählt im Interview über die Mission SouthTRAC, mit der ein Wissenschaftlerteam in Argentinien unterwegs war. Er untersuchte den Einfluss von Schwerewellen auf das Klima sowie den Luftmassenaustausch in der Atmosphäre.**

**Herr Kaifler, Sie haben im September 2019 mehrere Wochen an der Südspitze Südamerikas im argentinischen Rio Grande verbracht. Was hat Sie dort am meisten beeindruckt?**

■ Eindeutig das Wetter. In den vergangenen zwei Jahren war ich bereits zweimal in Rio Grande, um dort ein bodengebundenes Lidar-System zur Untersuchung von atmosphärischen Schwerewellen aufzubauen und zu warten. Um diese Jahreszeit war es immer recht stürmisch. Rio Grande liegt an der Ostküste in einer weiten Ebene Feuerlands und ist dem Wind schutzlos ausgeliefert. Kap Hoorn und die Drakestraße, beide bei Seefahrern wegen ihrer Stürme gefürchtet, sind nicht weit entfernt. Da wird der tägliche Kampf gegen den Wind auf dem Weg vom Hotel zum Flugzeughangar schnell zur Gewohnheit. Nun hatten wir zwei Tage absolute Windstille, das ist vollkommen untypisch. Aber auch die weitläufigen, aufgrund des geringen Niederschlags wüstenartigen Flächen mit den schneebedeckten Bergen im Hintergrund sind ein sehr beeindruckendes Bild.

**Der südliche Atlantik, der Pazifik, die Anden und die Antarktis – alles sehr weit weg von Europa. Warum fliegt man mit einem Forschungsflugzeug dorthin? Könnte man nicht auch aus dem Weltall mit Satelliten die nötigen Erkenntnisse gewinnen?**

■ Mit geeigneten Instrumenten an Bord von Satelliten kann man diese Schwerewellen auch nachweisen. Die Auflösung der Messungen ist aber bei Weitem nicht ausreichend, um ihr komplettes Spektrum zu

erfassen. Zudem kommen die Satelliten auf ihren Orbits nur ein- bis zweimal pro Tag vorbei. Demgegenüber bieten Messungen mit einem Flugzeug enorme Vorteile: Wir können beispielsweise den Kurs so wählen, dass wir entlang der Ausbreitungsrichtung der Wellen über die Anden fliegen und so ein genaues Wellenspektrum aufnehmen. Außerdem können wir mit dem Flugzeug an einem Tag mehrmals über dieselbe Stelle fliegen und zeitliche Veränderungen erfassen.

**Bis in 90 Kilometer Höhe Temperaturprofile zu messen, das klingt ja schon beeindruckend, wenn man bedenkt, dass HALO während der Mission „nur“ bis auf maximal 14 Kilometer Höhe geflogen ist ... Was leistet das neue laserbasierte Lidar ALIMA, was macht es besonders?**

■ ALIMA ist wirklich ein einzigartiges Instrument und wir sind bei der Entwicklung bis an die Grenze des technologisch Machbaren gegangen. Der Laser hat eine Leistung von 15 Watt, das Empfangsteleskop besitzt ein sehr kleines Sichtfeld, um optische Störquellen zu minimieren, wir haben extrem schmalbandige optische Filter im Empfänger, um das Tageslicht weitestgehend herauszufiltern und wir setzen Optiken mit sehr hoher Transmission und Detektoren mit hoher Quanteneffizienz ein. Diese Dinge werden in bodengebundenen Instrumenten schon seit Jahren verwendet. Neu bei ALIMA ist, dass wir das Lidar-Instrument so kompakt und stabil bauen konnten, dass es in ein Flugzeug passt und dort auch funktioniert. ALIMA lieferte bereits auf den ersten Mess-

flügen einzigartige und vor allem wissenschaftlich sehr interessante Daten: Wir konnten beispielsweise Temperaturmessungen in bis zu 90 Kilometer Höhe durchführen, trotz Turbulenzen und Vibrationen im

**„ALIMA lieferte bereits auf den ersten Messflügen einzigartige und vor allem wissenschaftlich sehr interessante Daten.“**

Flugzeug. Bei der nächsten Messkampagne in zwei Jahren wollen wir noch einen Schritt weitergehen und in Richtung des Laserstrahls hoch über dem Flugzeug Windprofile messen. Windmessung ist die Königsdisziplin bei Lidar-Messungen. Bei ALIMA haben wir schon alles dafür vorbereitet, wir müssen nur noch etwas an der Stabilität des Lasers arbeiten.

**An Bord von HALO ist es ja recht eng bei all den Instrumenten. Mit wem arbeiten Sie bei dieser Mission an Bord zusammen? Wie fühlt es sich an, teils zehn Stunden am Stück zu fünft für deutlich mehr als fünf Messgeräte verantwortlich zu sein?**

■ An Bord von HALO befinden sich zwei Piloten, ein Flugtechniker und fünf Wissenschaftler, welche die 13 wissenschaftlichen Experimente betreuen. Einer der Forscher hat die wissenschaftliche Leitung an Bord und nimmt so eine Sonderrolle ein. Er steht in regem Austausch mit den Piloten und den anderen Wissenschaftlern, um beispielsweise

Flugrouten, Kurven und Höhenwechsel an die wissenschaftlichen Anforderungen im Flug anzupassen. Aber auch sonst ist viel Zusammenarbeit angesagt. Vorbereitung und Abwurf von Sonden sind immer eine Gemeinschaftsarbeit. Die Einlassventile der Spurengasmessgeräte zu bedienen, übernimmt in der Regel die Person, welche gerade in Reichweite ist, ganz gleich, für welches Experiment sie formal zuständig ist. Unterstützt wurden wir von Wissenschaftlern und Technikern am Boden, teils direkt in Rio Grande oder zu Hause in Deutschland. Mittels eines über eine Satellitenverbindung laufenden Chatprogramms können wir uns mit den Leuten am Boden austauschen und beraten. Das passiert, wenn ein Gerät Probleme bereitet, die Software abstürzt oder wir einfach etwas Interessantes in den Live-Anzeigen der Instrumente sehen und daraufhin eventuell Einstellungen der Messgeräte ändern müssen. Ganz wichtig sind auch die Personen, die vor jedem Flug über Stunden hinweg die Instrumente vorbereiten und kalibrieren und sie nach dem Flug wieder kontrolliert ausschalten und warten. Bei einem Flug von zehn Stunden schafft man das als Mitflieger nicht alles selbst. Nicht nur wegen der Überschreitung der Arbeitszeit, sondern auch physisch und emotional sind neun bis zehn Stunden Flugzeit sehr anstrengend. Die Instrumente erfordern permanente Aufmerksamkeit, was in den meisten Fällen die Kontrolle von schier endlosen Zahlenreihen, Kurven und Bedienelementen bedeutet. Heutzutage läuft dies überwiegend in elektronischer Form auf dem Bildschirm eines Laptops. Angesichts der ständigen Kontrollen muss man sich gut überlegen, wann man auf Toilette geht.

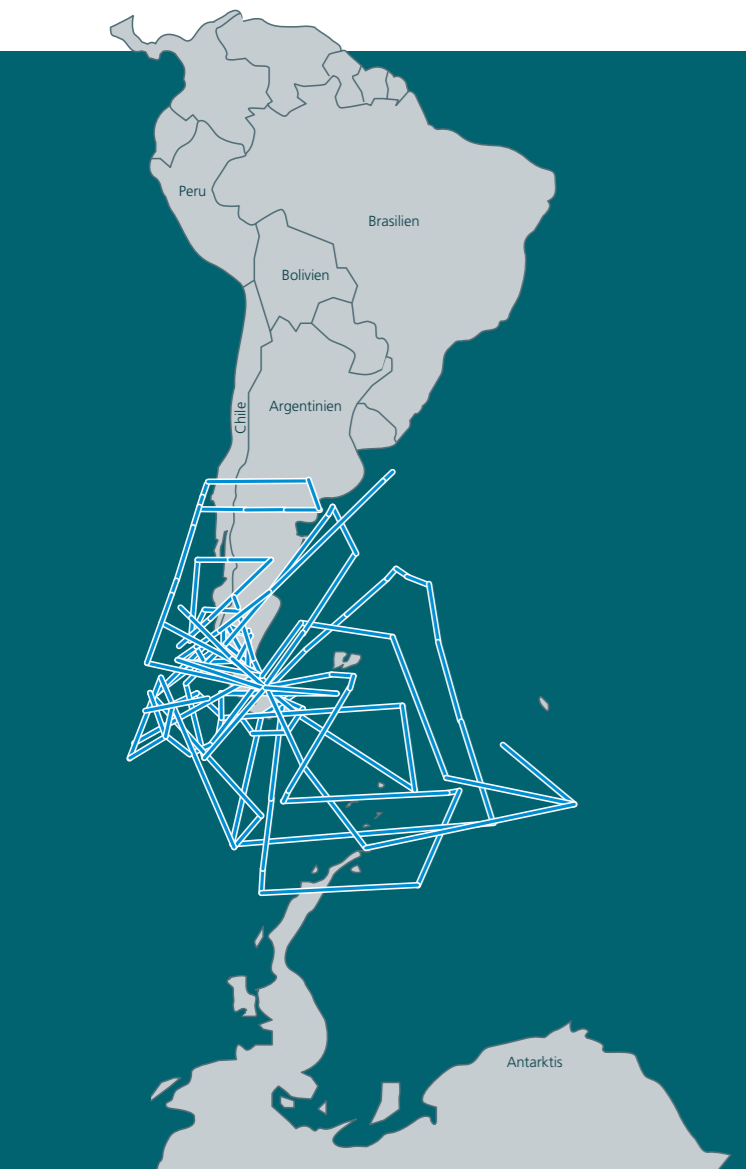


Flugzeug- und Instrumentenwartung an einem Bodentag im Flugzeughangar in Rio Grande

Meteorologische Bodenstation der LMU München in El Calafate

© DLR





Routen der Messflüge des Forschungsflugzeugs HALO während der Mission SouthTRAC im September und Oktober 2019

Mittagspause gibt es keine und gegessen wird mit Blick auf die Bildschirme. Im Austausch für gute Messdaten nimmt man aber so manche Strapaze gerne in Kauf. Besonders mit dem Wissen, wie sich die Leute am Boden für den Erfolg reinhängen. Zu den Wissenschaftlern und Technikern für die Instrumente kommen ja auch noch das Bodenpersonal für den Betrieb des Flugzeugs, das Flugplanungsteam, das Vorhersageteam, das Managementteam und viele andere hinzu. Als Teil der Crew gehört man zu der vielleicht etwas deutlicher sichtbaren Spitze einer großen Pyramide von über 100 Personen. Sie alle sind nötig, damit die Mission ein Erfolg wird.

#### Wie kann man sich so einen typischen Kampagnentag in Río Grande am Ende der Welt vorstellen? Gab es neben den Routineabläufen auch mal Freizeit?

Der Tagesablauf an einem Flugtag wird von einem Plan vorgegeben, der durch die Abflugzeit bestimmt ist. Bei unseren Nachtflügen war das 20 Uhr Ortszeit. Da bleibt kaum Platz für Freizeit. Die Arbeiten im Hangar starten in der Regel fünf bis sieben Stunden vorher mit der Experimentvorbereitung. Um 17 Uhr holt mich ein Kollege ab und bringt mich zum Hangar. Dann ist gerade die Entscheidung gefallen, ob der Flug stattfinden wird oder nicht. Im Hangar führe ich gemeinsam mit Kollegen einen Funktionstest von ALIMA durch. In der Zwischenzeit schaut Sonja vom Vorhersage- und Flugplanungsteam herein, wir gehen zusammen den Flugplan durch und schauen: Was macht das Wetter? Sind die Schwerewellen in der neuesten Vorhersage immer noch an der gleichen Stelle? Müssen wir eventuell auf einem Ausweichflughafen landen, weil die Landebahn in Río Grande vereist ist?

Zwei Stunden vor dem Start ziehen die Flugzeugtechniker HALO mit einem kleinen Traktor aus dem Hangar, in der Fachsprache nennen wir das „Aushallen“. Aus Experimentsicht ist das immer ein dramatisches Ereignis, denn Aushallen bedeutet eine Stromunterbrechung. Das ist schlecht, da geheizte Detektoren auskühlen und Vakuumpumpen stehen bleiben. Um die Unterbrechung möglichst gering zu halten, müssen in einer koordinierten Aktion alle Experimente möglichst schnell und vor allem gleichzeitig heruntergefahren werden. Nachdem HALO aus dem Hangar gebracht worden ist und die Experimente wieder eingeschaltet wurden, bleibt noch eine knappe Stunde, um sie in Flugkonfiguration zu bringen. 15 Minuten vor dem Start verlassen die letzten Nichtmitflieger das Flugzeug. Wir starten einen Bodentest des Lidars und der grüne Laserstrahl wird für zwei Minuten über dem Flugzeug sichtbar. Alle am Hangar zur Verabschiedung Versammelten zücken ihre Fotoapparate, um Bilder von HALO und dem grünen Strahl zu machen. Kaum ist der Laser aus, rollen wir auch schon los. Pünktlich um 20 Uhr hebt HALO ab, wir nehmen in der Dunkelheit Kurs auf die Anden und die Messungen beginnen.

Gut neun Stunden später, es ist nun kurz nach 5 Uhr morgens, landen wir wieder auf dem Flughafen von Río Grande. Das Bodenteam erwartet uns bereits am Hangar. Mit seiner Unterstützung werden die Experimente heruntergefahren und die Daten gesichert. Das dauert etwa 45 Minuten. Gegen 6 Uhr findet ein kurzes Debriefing statt und so kommen wir schließlich um halb sieben im Hotel an, gerade rechtzeitig zum Frühstück. Keiner trinkt Kaffee und wenig später fallen wir müde aber zufrieden ins Bett. Es liegt wieder ein erfolgreicher Messflug hinter uns und morgen ist erst einmal ein Bodentag.

#### Was werden wir aus den reichhaltigen Daten der HALO-Mission SouthTRAC über das sich wandelnde Klima der Erde lernen?

Wir wissen noch recht wenig darüber, wie sich der Klimawandel auf die mittlere Atmosphäre auswirkt. Das liegt wesentlich daran, dass Schwerewellen in den Klimamodellen nicht enthalten sind und deren Effekte nur grob berücksichtigt werden. Um die Auswirkungen von Schwerewellen besser beschreiben zu können, müssen wir erst einmal verstehen, wo Wellen entstehen und wie sie sich ausbreiten. Eine ganz konkrete Frage ist beispielsweise, ob eine starke Quelle nötig ist, damit Schwerewellen bis in 90 Kilometer Höhe vordringen können, nach dem Motto „viel hilft viel“. Oder werden diese Wellen vielleicht auf dem Weg instabil, brechen und erreichen gerade wegen ihrer anfänglich großen Amplitude eben keine großen Höhen? Dann würden eher die schwachen Wellen bei guten Ausbreitungsbedingungen große Höhen erreichen. Um diese und andere Fragen beant-

worten zu können, müssen wir zunächst Daten sammeln. Mit diesen können wir Wellenpakete in der Atmosphäre verfolgen. Das ist eines der Ziele von SouthTRAC. Es handelt sich also erst einmal um Prozessstudien. Mittelfristig hoffen wir, mit unseren Ergebnissen zu einer realistischen Modellierung von Schwerewellen in Klimamodellen beitragen zu können.

#### Wohin würden Sie für die Forschung gern als Nächstes fliegen und warum?

Ich würde gerne genau hier nach Río Grande zurückkehren und Flüge im Südwinter, sagen wir im Juli, wiederholen. Kurz vor unserer Ankunft in Río Grande passierte eine sogenannte Stratosphärenenerwärmung, die in Teilen zum Zusammenbruch des Polarwirbels führte und damit die Ausbreitungsbedingungen für Schwerewellen massiv beeinflusste. In der Südhemisphäre ist das ein extrem seltenes Ereignis, die letzte Erwärmung passierte 2002. Einerseits haben wir mit unserer Kampagne nun das Glück, die Auswirkungen einer Stratosphärenenerwärmung untersuchen zu können. Andererseits könnte man es auch Pech nennen, denn eine ungestörte Ausbreitung der Schwerewellen ist nunmehr in dieser Saison nicht mehr möglich. Darum würde ich gerne die Messungen wiederholen. Südamerika bleibt der perfekte Ort dafür.

Die Fragen stellte Falk Dambowsky.

#### DAS INSTRUMENT ALIMA

Das flugzeuggetragene Instrument zur Fernerkundung der mittleren Atmosphäre misst hochauflösende Profile von Luftdichte und Temperatur oberhalb des Flugzeugs bis in 90 Kilometer Höhe. Es liefert Daten in einem Bereich, den sonst nur Höhenforschungsraketen erreichen. ALIMA (Airborne Lidar for Middle Atmosphere research) wurde in den vergangenen sechs Jahren am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre entwickelt und gebaut und kam nun erstmals im Rahmen der SouthTRAC-Kampagne zum Einsatz. Das Messprinzip beruht auf der Lidar-Technik. Von einem leistungsstarken Laser erzeugte, fünf Nanosekunden andauernde Lichtblitze werden durch ein Fenster im Flugzeugrumpf nach oben gesendet. Auf dem Weg durch die Atmosphäre wird ein Teil des Laserlichts durch Luftmoleküle zurück zum Flugzeug gestreut, wo es mittels eines Teleskops aufgefangen und Detektoren zugeführt wird. Die Zeitspanne zwischen dem Aussenden eines Lichtblitzes und dem Nachweis des empfangenen Streulichts bestimmt die Höhe, in der die Streuung stattgefunden hat. Aus der Stärke des Empfangssignals lässt sich die Luftdichte in dieser Höhe ermitteln.



Vor dem Start wird das ALIMA-System ein letztes Mal getestet und der grüne Laserstrahl, der durch ein Fenster im Flugzeugrumpf nach oben gesendet wird, ist kurz sichtbar



Svetlana Cvetkova und Valentin Lauther von der Universität Wuppertal haben die Daten im Blick. Insgesamt betreuen fünf Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler während des Flugs alle Experimente an Bord von HALO.

Wenn der 15-Megawatt-Batteriespeicher des Kraftwerks vollständig geladen ist, wird überschüssige Energie für die Wärmeversorgung genutzt

# FLEXIBEL BEI JEDER WETTERLAGE

## Das DLR bildet ein einzigartiges Hybridkraftwerk digital nach

Von Heinke Meinen

**M**anchmal reicht schon ein Spaziergang an der ostfriesischen Küste, um zu verstehen, warum der Nordwesten Deutschlands ein Vorreiter der Energiewende ist. Wo eben noch die Sonne schien, weht nun ein frischer Wind. Unzählige Windräder an Land und weit draußen auf der Nordsee liefern jetzt Energie in der Größenordnung mehrerer Kohlekraftwerke. Übers Jahr werden hier bilanziell 70 Prozent mehr Energie aus erneuerbarer Quelle produziert, als regional an Strom verbraucht wird.

Längst ist der Einfluss des Wetters auf das Energiesystem zu einem ernstzunehmenden Wirtschaftsfaktor geworden. Er erfordert komplexe technologische Innovationen, eröffnet aber auch immense Chancen für Markt und Umwelt. So setzt die Bremer swb AG seit April 2019 beim Betrieb eines Primärregelkraftwerks auf die Kopplung der Sektoren Strom und Wärme. Dieses innovative Hybridkonzept kombiniert eine Großbatterie mit einem Elektrokessel und einem Wärmespeicher. Der Vorteil: Die Batterie kann Netzschwankungen mit extrem schneller Reaktionszeit ausgleichen, indem sie Energie aufnimmt und abgibt (positive oder negative Primärregelleistung). Ist die Batterie voll, wird überschüssige erneuerbare Energie, die etwa während des Nordseespaziergangs zu spüren ist, ins Fernwärmenetz eingespeist.

### Das Hybridsystem gleicht Schwankungen aus

Doch auch wenn das Bremer Kraftwerk bereits im realen Betrieb ist: Das Hybridkonzept bietet noch reichlich Optimierungspotenzial. Vor diesem Hintergrund kooperiert die swb AG im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsprojekt „HyReK2.0“ mit AEG Power Solutions und dem DLR. Vorrangige Forschungsziele der DLR-Wissenschaftler: optimieren, analysieren und bewerten. „Durch die zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien werden immer stärkere Schwankungen im Stromangebot verursacht“, erklärt Theys Diekmann, HyReK-Projektleiter am DLR-Institut

für Vernetzte Energiesysteme. „Bislang wurden diese vornehmlich von fossil betriebenen Regelkraftwerken ausgeglichen. Wir möchten mögliche Wege aufzeigen, wie sich diese und weitere Dienstleistungen mit einem flexiblen Hybridkraftwerk auch in einem dekarbonisierten Energiesystem erbringen lassen.“

Um das Kraftwerkskonzept für künftige Anwendungen optimieren zu können, entwickelt Diekmann mit seinem Team aktuell ein Simulationsmodell, das auf Realdaten aus der Anlage basiert. Damit soll experimentell im Hochleistungsrechner die Netzdienlichkeit analysiert werden. Zu prüfen ist, wie sich das Kraftwerk im Detail am Stromnetz verhält. Dabei bildet das Modell auch realtechnische Geräte wie den Wechselrichter ab, die Schnittstelle zwischen Batterie und Stromnetz. „Auf dieser Basis wollen wir die Technik so weiterentwickeln, dass die Aktivitäten einzelner Kraftwerkskomponenten nicht separat betrachtet, sondern auf das Gesamtsystemverhalten ausgerichtet werden“, erklärt Diekmann. „Dadurch lassen sich Effizienz und Lebensdauer des Systems und der Einzelkomponenten optimieren, woraus sich wiederum ein wirtschaftlich tragfähiges Betreiberkonzept ableiten lässt.“

### Praxistest in der Kraftwerkstechnik

Wie aussagefähig die Simulation tatsächlich ist, wird im weiteren Projektverlauf der Schritt in die modellierte Praxis zeigen: Bei Erfolg werden die Simulationsdaten gemeinsam mit dem Kraftwerksbetreiber im Reallabor in die Kraftwerkstechnik implementiert. Unabhängig davon hat die Simulation für Diekmann wissenschaftlichen Mehrwert. „Mit dem Modell lassen sich Energieszenarien simulieren, die wir für die Zukunft vermuten. Daraus können wir künftige Geschäftsfelder ableiten“, erläutert er. „Zudem ermöglicht uns das Modell, weitere Flexibilitätsoptionen rund um das Hybridkonzept zu identifizieren. So wollen wir Strategien entwickeln, mit denen sich das zukünftige Energiesystem auch ohne zusätzlichen Netzausbau gestalten lässt.“

Während sich Diekmanns Team also mit technologischen Aspekten befasst, widmet sich eine zweite HyReK-Arbeitsgruppe am Institut den Aspekten „analysieren“ und „bewerten“, also systemanalytischen Fragen: Welche Umsetzungspotenziale hat das Hybridkonzept in Deutschland? Wie sieht die Ökobilanz aus? Welche Geschäftsmodelle könnten sich ergeben? „Anhand solcher Fragestellungen analysieren wir das Hybridkonzept und nehmen eine multikriterielle Bewertung vor. An deren Ende werden konkrete Handlungsempfehlungen stehen“, sagt Dr. Henning Wigger, Leiter dieses Teilprojekts. Diese Roadmap soll Empfehlungen zu regulatorischen Anreizen geben und wichtige Leitakteure zur Umsetzung solcher Hybridkonzepte aufzeigen.

Um den Beitrag des Kraftwerks zum Klimaschutz bewerten zu können, nimmt Wigger die Anlage zudem ganzheitlich im Rahmen einer Ökobilanz unter die Lupe: „Dafür schauen wir uns alle verbauten Komponenten in ihrem gesamten Lebenszyklus ‚von der Wiege bis zur Bahre‘ an. Gegebenenfalls beginnt das bereits beim Abbau des Erzes und berücksichtigt, unter welchen Bedingungen ein Bauteil hergestellt wurde und welche Emissionen dadurch entstehen.“

### Zukünftige Entwicklungen immer im Blick

Neben zahllosen weiteren Parametern wie Amortisationszeiten oder Recyclingkonzepten berücksichtigen die Wissenschaftler bei ihren Bewertungen unterschiedliche Szenarien. Dafür werden zum Beispiel mögliche künftige Entwicklungen bei der CO<sub>2</sub>-Bepreisung zugrunde gelegt. Noch wisse er nicht, erzählt Wigger, ob das Computerprogramm, das die Daten verarbeiten soll, diesen komplexen Anforderungen gewachsen ist: „Wir überlegen, ob es einfacher ist, ein eigenes zu erstellen.“ Egal wie die Programmwahl ausfällt: Das Bremer Hybridkonzept wird sich darin auch im direkten Vergleich mit anderen Technologien von der Wasserstoffproduktion bis zur Energieüberschuss-Abgabe an Kühlhäuser behaupten müssen.

Fundierte Erkenntnisse darüber, wie nahe das Bremer Hybridregelkraftwerk mit seiner heutigen technologischen Ausstattung dem errechneten künftigen Idealzustand kommt, werden voraussichtlich zum Projektabschluss im Herbst 2021 vorliegen. Bis dahin wird noch so mancher Spaziergänger an der stürmischen Nordseeküste spüren, warum ein flexibleres Energiesystem der Energiewende den entscheidenden Rückenwind verleihen kann.

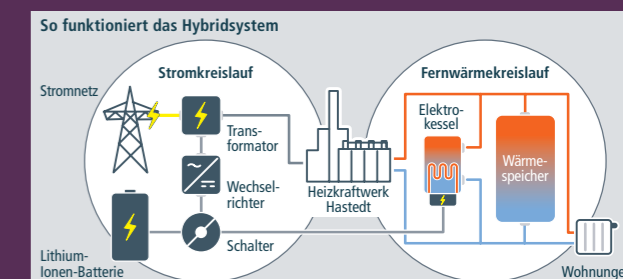
Heinke Meinen ist im DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme in Oldenburg für die Kommunikation verantwortlich.



Am Institut für Vernetzte Energiesysteme erstellt das Team um HyReK-Projektleiter Theys Diekmann (hinten) ein Modell, das den Betrieb des Hybridregelkraftwerks der Bremer swb AG am Hochleistungsrechner simuliert. So lässt sich im Detail prüfen, wie sich das Kraftwerk am Stromnetz verhält. Schon jetzt lassen sich mit dem Modell künftige Energieszenarien simulieren, zum Beispiel solche mit deutlich höheren Anteilen an erneuerbaren Energien.



Der Elektrokessel des Hastedter Hybridregelkraftwerks funktioniert wie ein überdimensionaler Tauchsieder und wandelt überschüssigen Strom in Wärme um. Bei Bedarf wird diese für das Bremer Fernwärmenetz bereitgestellt.



Das Hybrid-Konzept koppelt die Sektoren Strom und Wärme. Dank der Kombination aus Batteriespeicher und Power-to-Heat-Anlage in einem Regelleistungskraftwerk können fluktuierende erneuerbare Energien effizienter genutzt werden.

# AUF ARKTISCHER DRIFT

Ein internationales Forschungsteam treibt eingefroren im Meereis durch das Nordpolarmeer, um Arktis und Klimawandel besser zu verstehen

Von Philipp Burtscheidt

**W**eiße Weite, im arktischen Winter eine schier endlose Nacht, ein Außenposten der Menschheit, abgeschnitten von der Zivilisation – fast wie in einer Raumstation. Am 20. September 2019 hieß es im Hafen von Tromsø in Nordnorwegen „Farewell, Polarstern!“ Der deutsche Forschungseisbrecher des Alfred-Wegener-Instituts (AWI) begab sich auf seine Reise Richtung Arktischer Ozean, um sich dort im Meereis für ein Jahr einfrieren zu lassen. Der Name der größten Expedition in der Geschichte der Arktisforschung ist MOSAiC und steht für „Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate“.

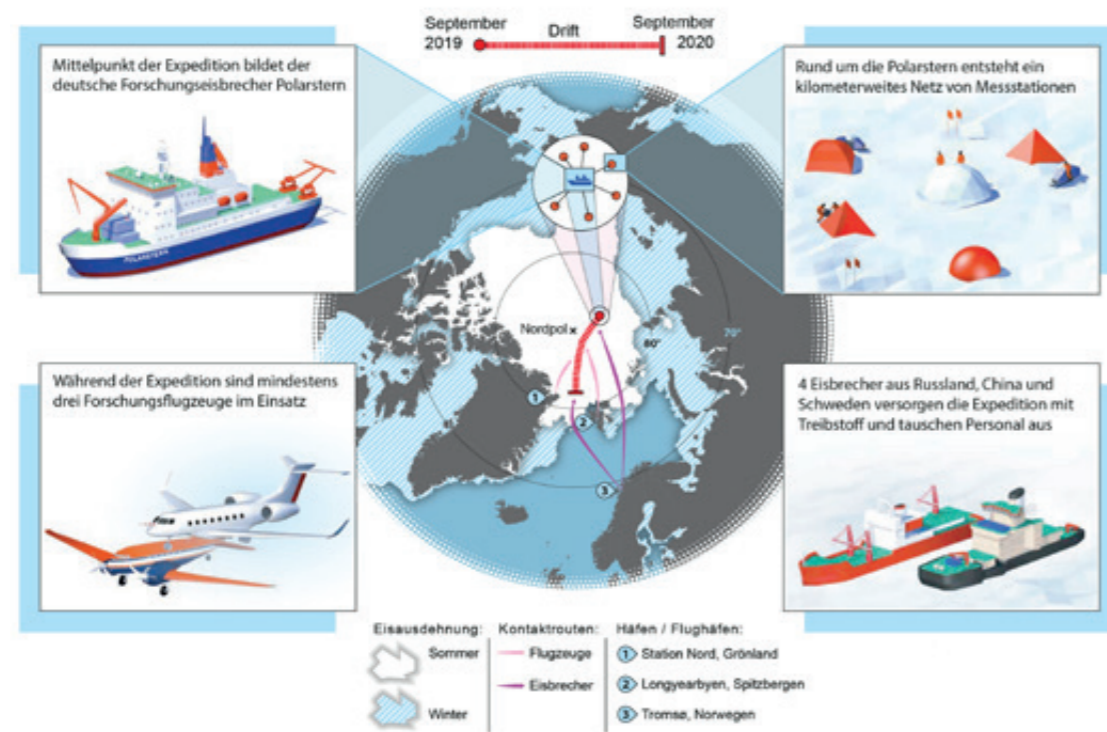
Im Oktober 2019 erreichte die Besatzung ihr Zielgebiet. Als bald war eine für die Drift geeignete Eisscholle gefunden. Der arktische Winter brach herein, die Temperaturen sanken, das Meereis verdichtete sich und die Polarstern froh fest. Seitdem treibt sie ohne eigenen Antrieb, allein durch die Kräfte der Natur, mit der polaren Drift durch das Nordpolarmeer. Die Mission erlaubt erstmals umfangreiche, hochgenaue Messungen und Experimente über vier Jahreszeiten. Für mehr als zwei Monate wird die Polarstern sogar näher als 200 Kilometer an den geografischen Nordpol herankommen. Den Schwerpunkt der Mission bilden Klima- und Umweltforschung. Die Wissenschaftler wollen fundamental neue Daten und Erkenntnisse für das Verständnis des Klimawandels gewinnen. Ziel ist es, die physikalischen und chemischen Wechselwirkungen von Eis, Schnee, Atmosphäre und Ozean in der Arktis besser zu verstehen, um genauere Klimamodelle zu entwickeln. Insgesamt wird das Forschungsschiff etwa 2.500 Kilometer zurücklegen.

## Im Epizentrum des Klimawandels

Unter der Leitung des AWI, dem Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, arbeiten in MOSAiC Wissenschaftlerteams aus 19 Ländern und von über 70 Institutionen. Über, auf, in und unter dem Polareis führen die Forscher zahlreiche Experimente durch, um das „Arktis-Puzzle“ zu entschlüsseln. Sie wollen herausfinden, wie Atmosphäre, Meereis, Ozean, Ökosystem und biogeochemische Prozesse interagieren. Wie Puzzleteile sollen alle MOSAiC-Projekte zusammen ein genaueres Bild des Gesamtsystems Arktis ergeben.

Die Arktis reagiert um ein Vielfaches stärker auf Klimaveränderungen als Regionen in tieferen Breitengraden. Und sie hat enormen Einfluss auf das gesamte Weltklima. Nirgendwo sonst erwärmt sich die Atmosphäre so rasant. Das „ewige Eis“ wird von Jahr zu Jahr dünner. Der zunehmende Rückgang der Eisfläche verändert stetig das Gesicht der Arktis und den Lebensraum ihrer Bewohner. Im August 2008 waren die arktische Nordost- und die Nordwestpassage zum ersten Mal gleichzeitig eisfrei. „Ewig“ droht auf Dauer zu „zeitweilig“ zu werden.

## MOSAIKTEILE DER ARKTISEXPEDITION



© AWI Graphic/Martin Kürsting



© Alfred-Wegener-Institut/Stefan Hendricks

AWI-Meereisphysiker arbeiten auch bei auffrischem Wind und zunehmender Schneedrift

### Eine Expedition der Superlative

MOSAIC ist wissenschaftlich und logistisch eine Mammut-Mission. Vier Eisbrecher aus China, Russland und Schweden werden die Polarstern im Laufe ihrer Expedition mit Kraftstoff und Vorräten versorgen. Das Personal wechselt regelmäßig, sodass – von den Forscherinnen und Forschern über die Schiffscrew bis zur Eisbärenwache – insgesamt 600 internationale Experten vor Ort sind. Drei Forschungsflugzeuge benötigen auf dem Eis eine eigene Landebahn. Rund um die Polarnoten errich-

ten die Fachleute ein Netzwerk aus Forschungsstationen, die sich um das Schiff als Basisstation gruppieren. Sie bauen diverse Messstationen auf, um das Ökosystem Arktis möglichst umfassend zu untersuchen.

Ein einziger Expeditionstag kostet 200.000 Euro. Das Budget der gesamten Expedition beläuft sich auf 140 Millionen Euro. Gut 50 Prozent der Summe stammen aus Deutschland, überwiegend finanziert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Rest tragen die internationalen Partner.

## DIE SCHWERPUNKTE DER MOSAIC-FORSCHUNGSTEAMS IM ÜBERBLICK

### ATMOSPHÄRE

Nur eine dünne Eisschicht trennt die Atmosphäre vom arktischen Ozean. Bei einer Außentemperatur von bis zu minus 45 Grad Celsius wirkt die Wassertemperatur mit 1,5 Grad wie eine Heizung. Immer häufiger bilden sich Risse im Eis, durch die Wärme in die Atmosphäre entweicht und Wolken entstehen. Deren Eigenschaften und die Auswirkungen auf die globale Temperaturentwicklung untersuchen Atmosphärenforscher bei MOSAIC.

trieren sich auf die Zirkulation in den oberen Schichten der gigantischen Meeresströmungen. Diese transportieren Unmengen an Wasser in die Arktis hinein und aus ihr heraus. Die Temperatur dort beeinflusst die Eisdecke und damit auch die Atmosphäre.

### BIOGEOCHEMIE

In der Arktis findet zwischen Atmosphäre, Eis und Meerwasser ein ständiger Gasaustausch statt. Darunter sind Kohlenstoffdioxid, Stickoxide, Spurengase und Methan – Gase, die klimarelevant sind. Sowohl das Gefrieren und Schmelzen von Eis als auch Mikroorganismen und Algen beeinflussen ihre Wechselwirkungen. Diese kann man bislang noch nicht ausreichend erklären. Bei MOSAIC untersuchen Forscher die Dynamik von Gasen und anderen chemischen Verbindungen.

### MEEREIS

Der Klimawandel hat den Arktischen Ozean deutlich verändert: Das Meereis ist dünner und mobiler. Mit MOSAIC haben die Wissenschaftler die Möglichkeit zu beobachten und zu vermessen, wie sich Meereis und Schneedecke in den Jahreszeiten verändern. So untersucht ein Team die Dicke des Eises, seine Beschaffenheit, die Schneeeauflage und wie viel Licht bei unterschiedlichen Verhältnissen in den Ozean dringt.

### ÖKOLOGIE

Trotz harscher Umgebungsbedingungen lebt eine Vielzahl von Tieren und Pflanzen auf und im Meereis, im Arktischen Ozean und an dessen Grund. Biologen entnehmen während der MOSAIC-Mission Proben und führen umfangreiche Experimente durch. Sie wollen die Arten, ihre Lebensräume, Wechselwirkungen sowie Reaktionen auf sich verändernde Jahreszeiten und Umwelteinflüsse besser verstehen.

### OZEAN

Während der MOSAIC-Mission haben Ozeanforscher erstmals die Gelegenheit, Temperaturen und Strömungen in unterschiedlichen Tiefen des Nordpolarmeers über einen ganzen Jahreszyklus zu untersuchen. Die Wissenschaftler konzen-

Aktuelle Nachrichten direkt aus der Arktis werden auf den MOSAIC-Kanälen auf Twitter und Instagram unter den Hashtags #MOSAICexpedition, #Arctic und #icedrift veröffentlicht. Weitere Informationen zur Expedition unter:

- 🌐 [www.mosaic-expedition.org](http://www.mosaic-expedition.org)
- 🐦 [follow.mosaic-expedition.org](https://twitter.com/mosaic-expedition)

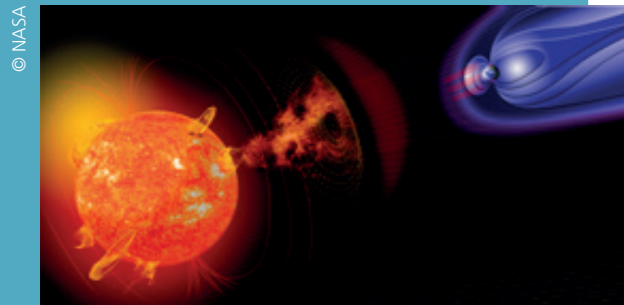


© Alfred-Wegener-Institut/Stefan Hendricks

Der Forschungseisbrecher Polarstern des Alfred-Wegener-Instituts ist seit 1982 in Betrieb, hat bislang über 1,7 Millionen Seemeilen zurückgelegt und ist auch heute noch das modernste und flexibelste Polarforschungsschiff der Welt



Polarlichter machen den Effekt von Sonnenwinden sichtbar. Unter anderem stören sie die Satellitennavigation.



Sonnenaktivitäten beeinflussen die gesamte Erdatmosphäre. In den Polgebieten ist ihre Wirkung besonders ausgeprägt.



Montage der Empfangsantenne auf dem Peildeck. Für die see- und kältefeste Installation sorgen Dr. Simon Plass und die Expertin für Satellitennavigation im DLR-MOSaIC-Team, Friederike Fohlmeister.



DLR-Projektleiter Dr. Simon Plass nutzt eine freie Stunde und sammelt auf der Bergstation Fjellheisen Schiffssignale aus den Gewässern vor Tromsø, sogenannte AIS-Signale (Automatic Identification System).



Der Szintillationsrekorder des DLR-Teams, das Herzstück der Messanlage an Bord der Polarstern

## E-MAIL AUS DEM EIS

**Satellitensignale sind an den Polen besonders störanfällig. Das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation forscht an einer widerstandsfähigen Positionsbestimmung.**

Aus dem DLR unterstützen mehrere Expertenteams die Mission MOSaIC. Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum versorgt die Polarstern mit Meereiskarten. Die Forschungsstelle für Maritime Sicherheit des DLR Bremen entwickelt neue Methoden zur Unterscheidung von Eisstypen. Dafür erhält sie im Missionsverlauf Eisproben von der Polarstern. Das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation forscht an einer besseren Positionsbestimmung und Navigation in polnahen Gebieten. Dazu installierte ein Forscherteam auf dem Eisbrecher eine Empfangsstation für Satellitennavigationsignale. Diese sammelt auf der Mission erstmals in Polnähe Signale und schafft damit eine wertvolle Datenbasis. Die Anlage arbeitet autark, vom Team des DLR ist niemand an Bord.

Über das DLR-Projekt auf der Polarstern sprach Philipp Burtscheidt mit dem DLR-Projektleiter für MOSaIC, Dr. Simon Plass, im norwegischen Tromsø. Mit seinem Team installierte Plass die Anlage in den Tagen vor dem Start des Eisbrechers am 20. September 2019.

**Warum ist das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt an der Mission MOSaIC, einer Expedition mit Schwerpunkt auf polarer Klimaforschung, beteiligt?**

Bei der MOSaIC-Expedition geht es ganz allgemein um ein besseres Verständnis des Gesamtsystems Arktis. Genauso wie Messungen und Experimente zum arktischen Meer, zum Eis und zu den unteren Atmosphärenschichten gehören auch Forschungsfragen zu Phänomenen in höheren Atmosphärenschichten. In der Ionosphäre treten durch Sonnenwinde in den Regionen um Nord- und Südpol besonders starke Effekte auf. Bekanntestes Beispiel sind die Polarlichter. Sie machen die Wechselwirkung zwischen Sonne und Erde fürs Auge sichtbar, stören aber auch Satellitensignale. Im Fall von Navigationssignalen führt das zu falschen Positionsdaten an den Empfängern. Die Sicherheit in polnahen Regionen zu verbessern, ist ebenso ein Teil des ganzheitlichen Ansatzes von MOSaIC.

**Sie messen die atmosphärischen Störungen?**

Zunächst: Diese Störung ist ein natürliches Phänomen und nennt sich Szintillation. Sie findet in der Ionosphäre statt. In den Polarregionen ist sie stärker, weil hier das Erdmagnetfeld schwächer ist, als in den mittleren Breitengraden. Deshalb können hier die Energiepartikel der Sonnenwinde leichter in die Atmosphäre eindringen. Unsere Geräte messen nicht die Störung in der Ionosphäre selbst, sondern die Satellitensignale. Wir können mit unserer Messanlage Veränderungen der Signale durch Szintillationen detektieren. Findet gerade eine Störung in der Atmosphäre statt, zeichnet die Anlage die Rohsignale der Systeme Galileo, GPS und GLONASS so lange auf, bis die Szintillation vorbei ist. Die Rohdaten der Satelliten werden benötigt, um Muster zu erkennen und robustere Navigationsempfänger zu entwickeln. Vor MOSaIC gab es die dazu nötigen Rohdaten aus polnahen Regionen noch nicht in ausreichender Menge. Wir hoffen, dass in dem Jahr in der Arktis genügend Szintillationen auftreten und uns nach der Rückkehr der Polarstern ein großer Datenschatz für die Analyse vorliegt.

**Wie geht es weiter, wenn Sie die typischen Muster in den gestörten Satellitensignalen erkannt haben?**

Zusammen mit dem DLR-Institut für Solar-Terrestrische Physik werten wir die gesammelten Daten aus und entwickeln Algorithmen für Gegenmaßnahmen, um mit den atmosphärischen Störungen auf Empfängerseite umgehen zu können. Ein heutiger Standardnavigationsempfänger „merkt“ nicht, ob er ein gestörtes oder ungestörtes Signal empfängt. Er wertet jedes Signal aus und berechnet eine Position. Ist das Signal gestört, gibt der Empfänger falsche Positionsinformationen aus oder gar keine. Dieser Fehler kann während einer Szintillation erheblich sein. Besonders bei den widrigen Bedingungen an den Polen ist es wichtig, genau zu wissen,

**Dr. Simon Plass**

Der studierte Elektrotechniker arbeitet am DLR-Institut für Kommunikation und Navigation in Oberpfaffenhofen. Neben der Leitung der Abteilung Institutprojektmanagement und -administration koordiniert er maritime Aktivitäten des Instituts vom bayerischen Standort aus. 2015 wurde er erstmals als Experte in eine Task Force des Arktischen Rats eingeladen. Ein Jahr zuvor war Plass in den Wissenschaftlich-Technischen Rat des DLR berufen worden, einem Beratungsorgan gegenüber dem DLR-Vorstand, dem er seit 2019 vorsitzt. Dies ist für ihn ein faszinierendes Arbeitsspektrum aus Forschungsarbeit, Projektleitung, Abteilungsleitung, der Durchführung von Messkampagnen sowie Technologietransfer der Ergebnisse in die Wirtschaft – das alles im Spannungsfeld von Forschung, Industrie, Politik und internationaler Diplomatie. Simon Plass ist 42 Jahre alt und Vater von zwei Kindern.



wo man sich befindet. Das ist vor allem relevant für Rettungsaktionen. Die Sicherheit, gerade im maritimen Bereich, muss gewährleistet sein. Navigationsempfänger der Zukunft werden dahingehend „intelligenter“ sein; wir sagen resilienter. Sie können Signalstörungen kompensieren und so auch in den Polregionen zuverlässige und präzise Positionen anzeigen. Von heute aus gesehen werden wir in zwei bis drei Jahren handfeste Ergebnisse und passende Algorithmen entwickelt haben, die mit Szintillationen umgehen können. Bis zum fertigen Produkt ist es dann natürlich noch ein weiter Weg.

**Was kann während der langen Reise schiefgehen?**

Unsere Technik an Bord besteht aus einer Außeneinheit, der Antenne auf dem Peildeck und dem Herzstück der Anlage im Innern der Polarstern. Die Recheneinheit empfängt, verarbeitet und speichert die eingehenden Rohsignale. Die Geräte müssen das Jahr über vollkommen autark arbeiten. Aus unserem Team ist niemand an Bord. Anfällig ist die Hardware, besonders die Antenne und das Antennenkabel außen. Sie sind der Kälte von bis zu minus 45 Grad, dem Eis, Salzwasser oder Stürmen mit hohen Wellen direkt ausgesetzt. Das Kabel, mit dem die Antenne verbunden ist, kann brechen oder sich bei einem Sturm aufschauern. Die Hardware im Innenraum ist fest verzurrt und die Temperatur konstant. Dennoch: Die Vibrationen des Schiffs könnten Steckverbindungen oder Lötstellen lösen. Oberflächen oxidieren. Bei hohem Seegang könnte es passieren, dass sich ein Crewmitglied festhalten muss und die Vertauung reißt. Das sind natürlich Worst-Case-Szenarien, aber sowas kann passieren. Außerdem haben wir eine eigene Software programmiert und da könnten Fehler zutage treten. Wir haben die Software zwar vorab drei Monate im Dauerbetrieb fehlerfrei getestet – aber man weiß ja nie.

**Wie merken Sie, ob es ein Problem gibt, wenn Sie nicht an Bord sind?**

Wir haben eine Routine geschrieben, die regelmäßig alle Komponenten überprüft. Alle Daten werden lokal auf unseren Festplatten und zusätzlich auf dem Bordserver der Polarstern gespeichert. Wöchentlich schickt unser System uns automatisch eine E-Mail mit dem Status des Geräts. Werden Daten empfangen? Läuft die Stromversorgung? Bei Problemen können wir die Polarstern anschreiben. Das Datenvolumen ist allerdings sehr gering: Wir dürfen einmal pro Woche 50 Kilobyte von der Polarstern aus verschicken, mehr nicht. Eine rudimentäre Kommunikation ist möglich, aber natürlich kein Livestream oder eine längere telefonische Anleitung zur Behebung von Fehlern. Die Kommunikationsabdeckung ist im Polarkreis einfach sehr schlecht.

**Wie können Sie bei Problemen reagieren?**

Wir haben uns viele Gedanken darüber gemacht, wie wir aus der Ferne überhaupt reagieren können. Dies ist sehr schwierig. Daher muss das System von jeder Person an Bord gewartet und möglicherweise repariert werden können. Wir haben ein detailliertes Handbuch geschrieben, um bei Fehlern in der Soft- oder Hardware agieren zu können. Und wir haben Reservekabel für alle verbauten Kabel neben dem Aufbau befestigt.

**Wie kam das DLR eigentlich auf die Polarstern?**

Wie es im Leben so ist: durch ein paar Zufälle und weil wir zur richtigen Zeit am richtigen Ort waren. Bei meiner Arbeit im Arktischen Rat war ich ab 2015 als Experte für Nachrichtentechnik Teil der deutschen Delegation des Auswärtigen Amts. Hierbei stellten wir 2016 die deutschen Arktis-Forschungsarbeiten auf einer Konferenz, dem Arctic Circle Assembly, in Reykjavik vor. Dort waren auch Vertreter des AWI, unter anderem Markus Rex. Er ist der Expeditionsleiter der MOSaIC-Mission. Wir haben uns gleich gut verstanden. Ein Jahr später trafen wir uns erneut bei einer Netzwerkveranstaltung der Helmholtz-Gemeinschaft. Daraufhin habe ich ihn direkt gefragt: „Wie ist das, ihr habt dieses tolle Projekt MOSaIC, gibt es da die Möglichkeit mitzumachen?“ Da wir kein Personal mitschicken wollten, unsere Anlage klein ist, autark läuft und bei 230 Volt Bordspannung betrieben werden kann, sah er keine Schwierigkeiten und antwortete: „Das ist kein Problem, ihr könnt dabei sein!“

**MOSaIC ist für das DLR ja mehr als reine Forschung. Was hat Sie darüber hinaus angetrieben?**

MOSaIC ist ein großartiges Beispiel für die Schnittstellen zwischen Forschung, Politik, Industrie und Diplomatie. Zum Beispiel muss die Politik nachvollziehen können, was wir machen und dass dies notwendig ist. Das DLR leistet hier einen bedeutenden Beitrag für Klimaforschung und Umweltmonitoring. Es liefert die Expertise, Werkzeuge und auch die Daten – und das nicht nur für Deutschland, sondern weltweit. Beim Arktischen Rat geht es um Diplomatie auf der internationalen politischen Bühne. Es geht um Fragestellungen, wie man über Ländergrenzen hinaus arbeitet. Besonders in der Arktis ist es wichtig, „pan-arktisch“ zu denken, also über die nationalen Hoheitsgebiete der Anrainerstaaten hinweg Gesamtlösungen zu erarbeiten. Dies ist jedoch oftmals nicht ganz einfach. Gerade das Bedienen all dieser Schnittstellen ist auch eine meiner Aufgaben innerhalb des DLR. Ich unterstütze sie und pflege zugleich die Kontakte zu allen Seiten. So wird ein direkter und intensiver Austausch möglich. Das ist ein wunderschöner Gesichtspunkt meiner Arbeit. Jede Schnittstelle hat einen eigenen Aspekt, eigene Anforderungen. Und das ist natürlich sehr vielfältig und macht viel Spaß.

**Wie haben Sie sich gefühlt, in Tromsø die Technik zu installieren und danach von Bord zu gehen?**

Ich habe die Polarstern glücklich und ein wenig müde verlassen. Wir hatten intensive Arbeitstage. Mit der Abreise aus Tromsø habe ich eine tolle Erfahrung und viele besondere Eindrücke nach Hause mitgenommen. Ich beneide die Mitfahrenden etwas für die einmalige Chance, bei solch einer Expedition dabei zu sein. Gerade, wenn für die Forschung Messungen und Proben vor Ort benötigt werden. Jedoch ist man währenddessen total isoliert, fast wie auf einer Raumstation, und in einer unwirtlichen Umgebung. Nur dass die Gefahr, in der Arktis auf Eisbären zu treffen, deutlich größer ist, als bei einem Außeneinsatz im All auf Aliens (lacht).



# DIE ZUKUNFT DES GESUNDHEITSWESENS

## Nachhaltigkeit beim DLR Projektträger

Von Stefanie Hulan, Unternehmenskommunikation DLR Projektträger

**S**pätestens seit der „Fridays for Future“-Bewegung ist ein Wort in aller Munde: Nachhaltigkeit. Das Ziel von nachhaltigem Verhalten begegnet uns inzwischen in allen Lebensbereichen. Wie vielfältig das Thema ist, zeigt eine Serie, in der der DLR Projektträger beispielhaft seine Arbeit rund um das Thema Nachhaltigkeit vorstellt. In Folge eins geht es um die Digitalisierung des Gesundheitswesens.

### Rainer Girgenrath

Dr. Rainer Girgenrath ist Leiter der Abteilung „Klinische Forschung, Universitätsmedizin und Digitale Gesundheit“ im DLR Projektträger. Zuvor war er als Hirnforscher und Hochschullehrer für Psychologie beschäftigt in Düsseldorf, Regensburg und Leicester, UK.



Künstliche Intelligenz, Big Data, Telemedizin – die Digitalisierung ist längst im Gesundheitswesen angekommen. Die Grundlagen für eine vernetzte Medizinwelt von morgen, in der Ärztinnen und Ärzte, aber auch Forschende auf anonymisierte Daten von Patienten zugreifen können, werden heute gelegt. Das Ziel: eine bessere und schnellere Versorgung, die im Zweifel Leben retten kann. Momentan gleicht die digitale Datenflut noch einem Internet ohne Suchmaschine. Wie sich das ändern kann, erklärt Dr. Rainer Girgenrath, Leiter der Abteilung Klinische Forschung, Universitätsmedizin und Digitale Gesundheit beim DLR Projektträger.

### Die Medizin steht vor großen Herausforderungen. Nicht nur die medizinische Forschung, auch die Behandlung wird durch die Digitalisierung verändert. Was erwarten Sie in den kommenden Jahren?

Wir werden in naher Zukunft sehen, wie sich die Akteure im Gesundheitswesen, also niedergelassene Ärztinnen und Ärzte, Universitätskliniken, Pharmakonzerne, aber auch Forscherinnen und Forscher zunehmend miteinander vernetzen – sogar über Ländergrenzen hinweg. Das Ziel ist die Integration von Daten und Wissen. Stellen Sie sich einen Patienten in München vor, der mit einem speziellen Tumor zu seinem niedergelassenen Arzt kommt. Dieser kann dann in einer Datenbank quasi auf Knopfdruck sehen, dass es ähnliche Fälle auch in anderen Städten gibt. Gleichzeitig sieht er auch die Medikamente, mit denen diese Fälle gerade erfolgreich behandelt werden. Zusätzlich kann der Arzt auf die aktuellen Forschungsergebnisse aus ganz Deutschland zugreifen. So entsteht ein direkter Nutzen für seinen Patienten. Genau da wollen wir hin.

### Und wie schaffen wir das?

Zurzeit sind alle Universitätskliniken Deutschlands damit beschäftigt, Zentren für die Datenintegration aufzubauen. Sie schaffen damit erst einmal die Grundlage für den Austausch von Daten. Realisiert wird ein solches Großprojekt über eine Förderinitiative, in der mittel- und langfristig gesteuert werden kann, wie wir als Gesellschaft ein bestimmtes Forschungsziel erreichen. Genau dort beginnt unsere Arbeit als DLR Projektträger. Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) haben wir beispielsweise die Medizininformatik-Initiative mitentwickelt, die zurzeit unter anderem den Auf- und Ausbau übergreifender Datenzentren regelt. Bis der Datenaustausch bei allen Universitätskliniken funktioniert und genutzt werden kann, werden aber noch weitere zwei Jahre vergehen. Und bis wir auch von einem flächendeckenden Einsatz für niedergelassene Ärztinnen und Ärzte reden können, wird es wahrscheinlich noch einmal einige Jahre dauern.

### DIE MEDIZININFORMATIK-INITIATIVE

Die Medizininformatik-Initiative wird vom DLR Projektträger im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) betreut. Sie soll die medizinische Forschung stärken und die Patientenversorgung verbessern. In einem ersten Schritt werden an Universitätskliniken und Partnereinrichtungen Datenintegrationszentren aufgebaut und vernetzt. Das ist die Voraussetzung, um Forschungs- und Versorgungsdaten standortübergreifend verknüpfen zu können. Die Maßnahme hat eine Laufzeit von vier Jahren und wird mit 160 Millionen Euro vom BMBF gefördert.

### DLR PROJEKTRÄGER

Seit mehr als vier Jahrzehnten engagiert sich der DLR Projektträger (PT) als Dienstleister für einen starken Forschungs-, Bildungs- und Innovationsstandort Deutschland. Als einer der größten Projektträger Deutschlands betreuen die über 1.000 hoch qualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter derzeit rund 10.000 Vorhaben und mehr als eine Milliarde Euro Forschungsgelder. Der PT arbeitet im Auftrag von Bundesministerien, Europäischer Kommission, Bundesländern sowie Wissenschaftsorganisationen, Stiftungen und Verbänden. Er berät zu Strategien und Programmen, begleitet Forschungsfördervorhaben fachlich sowie administrativ und unterstützt den Wissenstransfer sowie die Verwertung von Forschungsergebnissen. Sein Themenspektrum reicht von Bildung, Gesundheit, Gesellschaft, Innovation, Technologie, Umwelt und Nachhaltigkeit bis hin zu europäischer und internationaler Zusammenarbeit.

### Wieso ist es so schwer, die Digitalisierung schneller voranzutreiben?

Zuerst einmal mussten sich alle Beteiligten auf ein einheitliches Vorgehen verständigen. So etwas passiert in der Konzeptphase eines Projekts. Im Falle der Medizininformatik-Initiative waren die Universitätskliniken dazu aufgerufen, eigene Ideen dazu einzureichen, wie der Aufbau eines zentralen Datencenters aussehen könnte. Finanziert wurden schlussendlich nur die besten Konzepte. Es gab aber für die Universitätskliniken, die den Zuschlag nicht bekommen haben, die Möglichkeit, sich den Konzepten der anderen anzuschließen. Trotz dieser Konkurrenzsituation ist es uns gelungen, alle mit ins Boot zu holen. Das zeigt meiner Meinung nach, wie wichtig das Thema für das Gesundheitswesen allgemein ist.

### Immer wieder liest man von Lecks bei den Patientendaten, zuletzt war das im September der Fall, als unter anderem MRT-Bilder von Millionen Patienten weltweit frei im Internet zu sehen waren. Wie sorgen Sie dafür, dass die Daten in den Zentren sicher sind?

Datenschutz und Datensicherheit sind wichtig. Darum müssen wir und die Bundesregierung sich kümmern, das darf man nicht allein den Firmen überlassen, bei denen wirtschaftliche Interessen im Vordergrund stehen. Es ist unsere Verantwortung, den Menschen zu schützen. Ich meine, dass es kein Land mit höheren Standards in Sachen Datenschutz gibt als Deutschland. Das zeigt auch der Prozess, den wir in unserer Initiative durchlaufen. Datenschützer, Forschende und Kliniken sitzen bei uns an einem Tisch und einigen sich gemeinsam auf einen einheitlichen Datenstandard. Das nimmt Zeit in Anspruch, aber im Endeffekt bin ich mir sicher: Wenn der Prozess einmal läuft, werden alle Daten sicher gespeichert. Es gibt ohnehin keine Alternative. Man kann ja nicht sagen: Ich verweigere mich der Digitalisierung, weil ich Angst vor Datenlecks habe. Wenn wir das machen, werden zukünftig Menschen an Krankheiten sterben, denen wir sonst hätten helfen können.

*Nachhaltigkeit beginnt schon bei der Geschäftsidee. In der kommenden Ausgabe zeigt der DLR Projektträger, wie so etwas aussehen kann.*

# ALLESKÖNNER FÜR DEN STADTVERKEHR

Die Forschungsplattform Urban Modular Vehicle des DLR vereint unterschiedliche Anwendungen in einem Fahrzeug

Von Julia Heil

**L**angsam biegt es um die Ecke und gleitet nahezu geräuschlos heran. Dieses Auto hat zwar vier Plätze, aber es besitzt weder ein Gaspedal noch ein Lenkrad. Es wurde von Forscherinnen und Forschern des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart entworfen und ist ein Konzept für das Stadtauto von morgen.

In der Stadt werden sowohl Personen als auch Güter transportiert – und das jeweils in unterschiedlicher Anzahl. Das DLR-Team untersuchte gemeinsam mit Verkehrsforschern in Berlin unter anderem, wie viele Personen aus Nutzersicht in einem Fahrzeug Platz haben sollten, welche Reichweite elektrisch angetriebene Fahrzeuge haben müssen, um attraktiv zu werden, und unter welchen Bedingungen Personen eine Shuttle-Lösung gegenüber einem eigenen Pkw bevorzugen.

Ihre Ergebnisse zeigten die vielfältigen Ansprüche an das Fahrzeug. „Für den Gütertransport benötigen wir eine andere Lösung als für Personen, die sicher, schnell und komfortabel von A nach B gelangen wollen. Dementsprechend mussten wir modular denken“, sagt DLR-Projektleiter Marco Münster. Die Lösung ist das Urban Modular Vehicle, kurz UMV, ein vielseitig einsetzbares Stadtmobil. Es ist ein Konzept für ein elektrisch angetriebenes, weitgehend automatisiertes Straßenfahrzeug und ein wahrer Tausendsassa: Eine modulare Karosseriebauweise vereint unterschiedliche Fahrzeugtypen auf einer Plattform.

Die Basisversion des UMV ist ein Viersitzer mit einer Rahmenstruktur aus Leichtmetall. Karosserie, Antrieb und die Stufe der Automatisierung können an die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden. Insgesamt konzipierten die DLR-Forscher neun unterschiedliche Variationen vom Stadtfliitzer bis zum Kleintransporter. Das Bodenmodul lässt sich in Länge (3,70 bis 4,10 Meter) und Höhe (1,60 bis 2,30 Meter) anpassen. Front- und Heckmodule bleiben einheitlich, können bei Bedarf aber auch variiert werden. Der Fahrzeugaufbau ist variabel und kann je nach Einsatzzweck angepasst werden. Dank Leichtbauweise mit Aluminium und Magnesium wiegt die Karosseriebasis nur 182 Kilogramm. „Der Grundgedanke des Fahrzeugs ist der eines Baukastens, mit dem eine große Zahl von Variationen bei möglichst vielen gleich bleibenden Teilen kostengünstig produziert werden können“, ergänzt der DLR-Wissenschaftler.

## Vom Paketauto bis zum Skateboard

Mit dem variablen UMV können die Wissenschaftler nun an einem Konzept für die Entwicklung vom konventionellen Auto mit Fahrer bis hin zu vollständig autonomen Fahrzeugen forschen. In der Cargo-Variante fährt der Nutzer beispielsweise noch selbst. Aber die Wissenschaftler simulieren auch autonome Varianten. In einem Szenario fährt eine mobile Paketstation selbstständig abends zwischen 21 und 23 Uhr durch das Wohngebiet, sodass Pakete dann abgegeben oder geholt werden können, wenn die Empfänger zu Hause sind.

Darüber hinaus arbeiten die Stuttgarter an einer sogenannten Skateboard-Variante des UMVs. Dabei wird ein Unterbau konzipiert, auf den unterschiedliche Wechselcontainer aufgesetzt werden können. „Das kennt man schon bei Lkw, die verschiedene Aufbauten aufnehmen können. Wir möchten so etwas für die Beförderung von Personen entwickeln“, erklärt Münster. Das Skateboard-UMV existiert bislang allerdings nur virtuell.

## Der Peplemover als Prototyp

Als ersten Prototypen realisierten Marco Münster und sein Projektteam den UMV-Peplemover-2 + 2. Im Gegensatz zur Cargo-Variante ist dieses Konzept nur auf die Beförderung von Personen ausgelegt. Es soll den öffentlichen Personennahverkehr als Shuttle ergänzen. Dementsprechend ist das Innere des Fahrzeugs einfach gestaltet und die großen Oberflächen sind leicht zu säubern. An USB-Schnittstellen können die Fahrgäste ihre elektronischen Geräte aufladen. Momentan

besitzt der Prototyp noch einen modellhaften Antrieb. Perspektivisch soll er bei einer Spannung von 400 Volt eine Reichweite von etwa 400 Kilometern erreichen können. Die Batterie soll später im doppelten Boden des Fahrzeugs versteckt sein.

## Das Fahrzeug kommt per App

Anders als herkömmliche Autos parkt der Peplemover nicht vor der Haustür der Nutzer, sondern wird bei Bedarf per App bestellt. „Die meisten Autos stehen 90 Prozent des Tages herum und blockieren knappe Flächen in der Stadt. Unser UMV würde auch die lästige Parkplatzsuche ersparen“, ergänzt Marco Münster. Das Ziel der Forscher ist es, dass das Konzept dort unterstützen kann, wo beispielsweise wenige oder schlechte Verkehrsverbindungen existieren oder wo Fahrgäste ein Ziel ansonsten nur über Umwege erreichen könnten. Darüber hinaus könnte der Peplemover auch Lastspitzen wie den Berufsverkehr abfangen. Dazu soll das Fahrzeug in den öffentlichen Personennahverkehr eingebettet sein und Optionen für die Route in Kombination mit U-Bahn, S-Bahn, Bus, Rad- oder Fußwegen anzeigen können. Ein Display an der Fahrzeugdecke erfasst unterschiedliche Fahrtinformationen wie Route, Ankunftszeit oder Wetterdaten. Außerdem zeigt es auch mögliche Zwischenhalte an, an denen weitere Personen ein- oder aussteigen. Durch diese Verknüpfung erhoffen sich die Wissenschaftler, den Individualverkehr in den Städten zu reduzieren und den Fahrgästen die optimale Route zu ihrem Ziel anbieten zu können.

Das Urban Modular Vehicle ist Teil des DLR-Projekts Next Generation Car (NGC). Darin entwickeln Verkehrsforscherinnen und -forscher aus 22 DLR-Instituten gemeinsam Technologien und Konzepte für zukünftige Straßenfahrzeuge. Darüber hinaus arbeiten sie im NGC-Gesamtprojekt auch in den Bereichen Antriebsstrang, Energiemanagement, Fahrzeugstruktur, Fahrwerk und Fahrzeugintelligenz. Darüber hinaus kooperieren sie mit Kolleginnen und Kollegen aus den Forschungsschwerpunkten Verkehrssystem und Schienenverkehr. Die Fahrzeuge der nächsten Generation bewegen sich mit alternativen Antrieben fort, stellen optimierte Sicherheitskomponenten für Insassen und Verkehrsteilnehmer zur Verfügung und sind in der Lage, autonom zu fahren. Ihre Karosserien sind alle in Leichtbauweise entworfen und die Fahrzeuge sind vollständig in das Verkehrsgeschehen integriert.

Neben dem UMV entwarf das Team aus Stuttgart auch ein Fahrzeugkonzept für den Pendlerverkehr und die Langstrecke. Mit dem Peplemover haben Marco Münster und sein Projektteam noch Pläne: „Der Peplemover bietet für die nächsten Jahre eine solide Entwicklungsplattform für viele DLR-Forscher. Er kann in instituts- und themenübergreifenden Projekten eingesetzt werden. Beispiele sind die Ausgestaltung des Interieurs, die Entwicklung von Klimakonzepten, das Aufrüsten des Fahrzeug mit Sensoren und Rechnern und vieles mehr.“

Julia Heil ist Redakteurin im Bereich Kommunikation des DLR.



Noch steuert DLR-Wissenschaftler Marco Münster, der hier mit seiner Kollegin Kristiane Schuster unterwegs ist, den Peplemover mit einem Joystick. In Zukunft soll das Fahrzeug automatisiert fahren können.





An der Außenseite des Fahrzeugs sind Sensoren für die autonomen Fahrfunktionen und die Umfelderkennung angedacht. Die Geräte für die Kommunikation mit anderen Fahrzeugen und mit der Infrastruktur sowie Antennen zum Empfang von Satellitensignalen sind ins Dach integriert. In der Stoßstange befinden sich Radarsysteme und in der Front- und Heckscheibe sind optische Sensoren verbaut. 18 Ultraschallsensoren rund ums Fahrzeug sollen zukünftig die Nahfeldererkennung unterstützen.



Bestellt wird das Fahrzeug per App. Mit dieser autorisiert sich der Fahrgast anhand eines Displays in der Seitenscheibe des Peoplemovers.



Nach erfolgreicher Identifikation entriegeln sich die Schiebetüren und nach Anlegen des Sicherheitsgurts kann die Fahrt losgehen

## DAS URBAN MODULAR VEHICLE

Mit dem modularen Stadtfahrzeug, dem Urban Modular Vehicle, haben die DLR-Verkehrsforscher das Stadtauto von morgen von Grund auf neu gedacht. Es ist ein intelligentes und sicheres Elektrofahrzeug mit der Besonderheit, dass alle Fahrzeugtypen auf demselben Basismodul aufbauen und das UMV so extrem variabel machen. Die modulare Bauweise ermöglicht es den Wissenschaftlern außerdem, an einer Plattform unterschiedliche Technologien und Konzepte zu erforschen.

Das **UMV Basic** ist die Standardvariante des Urban Modular Vehicles mit 2 + 2 Sitzplätzen und einer Länge von 3,70 Metern. Es ist ausgelegt von Automatisierungsstufe 3 – assistiertes Fahren – bis Stufe 5 – vollautomatisiert. Die Struktur dieses Fahrzeugs bildet die Grundlage für alle UMV-Derivate.



Das zweisitzige **UMV Cargo** ist ein kleiner Lieferwagen, ideal für kleinere Betriebe wie Handwerksfirmen, die mit ihrem Material flexibel in der Stadt unterwegs sein müssen. Es ist in der Standardversion 3,70 Meter lang und misst in der Langversion 4,10 Meter.



Im Gegensatz zu den Autos mit Fahrersitz ist der **UMV Cargo-Mover** völlig autonom unterwegs. Er kann beispielsweise selbstständig Pakete liefern und hat ein Volumen von 3.800 Litern.



Eine Besonderheit ist die sogenannte **Skateboard-Version**, bei der beliebige Aufsätze auf einen Unterbau aufgebracht werden können. Das hat den Vorteil, dass dieses Fahrzeug variabel für den Personen- oder Gütertransport eingesetzt werden kann.

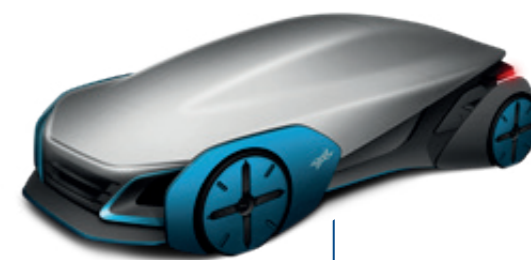


## NEXT-GENERATION-CARS:

Innerhalb des Projekts Next-Generation-Car arbeitet das DLR an diversen Konzepten für das Auto der Zukunft. Die Fahrzeuge sollen energieeffizient, emissionsfrei, sicher und kostengünstig sein.

### Perfekt für Pendler:

Das Safe Light Regional Vehicle (SLRV) ist das leichteste Mitglied der NGC-Familie. Mit nur 400 Kilogramm Gesamtgewicht wiegt es so viel wie ein Golfcart. Seine Karosserie besteht aus einem leichten Aluminium-Schaum-Sandwich mit einer inneren Ringstruktur. Der kostengünstige Zweisitzer ist ideal für Pendler und kann dort eingesetzt werden, wo nicht ausreichend Bus- und Bahnverbindungen vorhanden sind. Mit diesem Konzept wendeten die DLR-Wissenschaftler erstmals ausgewählte Sicherheitsstandards für reguläre Pkw auf ein Fahrzeug dieser Größenklasse (L7E) an. Das Team aus Stuttgart möchte Leichtfahrzeuge attraktiver machen. Aktuell integrieren die DLR-Fachleute den Antriebsstrang – eine Brennstoffzelle – in das Testfahrzeug. Mit einer Tankladung Wasserstoff soll der SLRV für den Versuchsbetrieb mehr als 100 Kilometer weit fahren können. Mit dem fertigen Versuchsfahrzeug möchten die Wissenschaftler die Fahrzeugkomponenten im Zusammenspiel in realen Situationen erproben.



### Für die Langstrecke:

Das sogenannte Interurban Vehicle besitzt einen Brennstoffzellenantrieb und soll eine Reichweite von bis zu 1.000 Kilometern erreichen – perfekt für Reisen von Stadt zu Stadt. Dank des alternativen Antriebs ist es dabei völlig emissionsfrei unterwegs. Die Reiselimousine soll bis zu fünf Personen Platz bieten, inklusive Gepäck. Sie ist ausgelegt bis zu einem Automationslevel SAE 4. Das bedeutet, dass das Auto in bestimmten Szenarien die Fahraufgabe selbstständig übernehmen kann. Als jüngste Entwicklung existiert es bislang als Karosseriedemonstrator ohne Antrieb. Anhand des Demonstrators möchten die Wissenschaftler im DLR Stuttgart untersuchen, wie unterschiedliche elektrische Funktionen in die Struktur integriert werden können.



# SIGMUND JÄHNS GROSSE REISE

Ein Zeitgenosse des ersten Deutschen im All erinnert sich an den am 21. September 2019 verstorbenen Fliegerkosmonauten

Von Gerhard Kowalski



**G**anz sicher war es dem 1937 geborenen Sigmund nicht in die Wiege gelegt worden, einmal ins Weltall zu reisen. Der Vater, ein Sägewerksarbeiter, die Mutter Hausfrau, der Geburtsort das nur wenige 100 Seelen zählende Morgenröthe-Rautenkranz – das wies nicht auf die Geburt eines Weltenbumblers hin. Und dass Sigmund Jähns Reise dereinst Ost- und Westdeutschland ein Stück näher zueinanderbringen würde, war schon gar nicht zu ahnen. – Der Raumfahrtjournalist Gerhard Kowalski erinnert sich.

Mein journalistisches „Abenteuer Jähn“ begann Ende Mai 1978, also ein Vierteljahr vor dem ersten Weltraumflug eines Deutschen. Als einziger schreibender Journalist war ich vom DDR-Verteidigungsministerium beauftragt worden, unter strengster Geheimhaltung Material über Sigmund Jähn und sein „Double“ Eberhard Köllner zusammenzutragen. Zwei Presseoffiziere brachten mich zu den Dienststellen der beiden Kandidaten, zu ihren ehemaligen Lehrern, Ausbildern und Familien. So bereitete ich über jeden der beiden 20 Schreibmaschinenseiten Material vor. Zudem hatte ich sechs Wochen vor dem Ereignis eine Startreportage zu liefern. Dabei kamen mir glücklicherweise meine Erfahrungen bei den Starts des sowjetisch-amerikanischen Sojus-Apollo-Testprojekts von 1975 und beim Erstflug der DDR-Multispektralkamera MKF 6 im Jahr 1976 zugute.

Dann hatte ich das Reporter Glück, Jähns Start vom Kosmodrom Baikonur in der kasachischen Steppe zu begleiten. Bevor ich ihm erstmals persönlich begegnete, befürchtete ich, dass sich die DDR-Führung als ihren künftigen Nationalhelden einen zackigen „Roten Preußen“ auserkoren hatte, dem die Parteitagssparolen nur so aus dem Munde sprudeln würden. Doch dann stand ich einem freundlichen, höchst bescheidenen und eher bedächtigen Sachsen gegenüber, der sich jeden Satz quasi abringen musste. Gerade für diese ruhige und bedachte Art wurde er nach seinem Flug in der DDR wie ein Popstar verehrt. Und die Partei- und Staatsführung sonnte sich in diesem Glanz. Wie eine Monstranz trug sie den Kosmos-Helden durchs ganze Land.

Jähn selbst hat aus seinem Bekenntnis zur DDR nie einen Hehl gemacht. Doch große Worte waren seine Sache nicht. Deshalb legte er, wo immer er konnte, die für ihn vorgefertigten Reden beiseite und sprach auf seine Weise mit und zu den Menschen. Westlichen Journalisten gegenüber, die ihn zu einer DDR-kritischen Aussage provozieren wollten, flüchtete er sich in die Formulierung, er habe sich „freiwillig vereinnahmen“ lassen. Und sein Bekenntnis zur deutschen Einheit lag in der salomonischen Aussage: „Es hätte gerade noch gefehlt, dass es zu einem Bruderkrieg gekommen wäre.“ Das reichte zwar vielen Journalisten und Politikern nicht, allerdings hielt sich das Bemühen auch in Grenzen, den Mann näher kennen oder gar verstehen zu lernen, der als erster Deutscher und 90. Erdenbürger im All in die Menschheitsgeschichte eingegangen ist. Diese Pionierleistung hat Sigmund Jähn in das geeinte Deutschland eingebracht.

Der Zufall wollte es, dass der zweite Deutsche im All, Ulf Merbold, wie Jähn auch aus dem Vogtland stammt. Und ein Treppenwitz deutsch-deutscher Geschichte ist, dass Merbold die DDR vor dem Mauerbau verlassen hatte und auf Privatinitiative in den Weltraum flog. Man kann es nur als nobel werten, dass er dem aus der Nationalen Volksarmee (NVA) der DDR entlassenen General Jähn beim Neustart im Westen half und ihn dem DLR und der ESA als Berater empfahl. So führte Jähns Lebensweg nach Köln. Und immer wieder nach Baikonur und ins Sternenstädtchen bei Moskau. Fünf deutsche Astronauten aus den alten Bundesländern, darunter auch Merbold, unterstützte er dabei, sich auf ihre Raumflüge mit den Russen – zuerst zur Raumstation Mir und dann zur ISS – vorzubereiten. Den jüngsten, Alexander Gerst, noch nach seiner eigenen Pensionierung.

Zum 40. Jahrestag des Jähn-Fluges am 26. August 2018 feierte das deutsche Astronautenkorps seinen Doyen und Freund in Morgenröthe-Rautenkranz. Alexander Gerst war aus der ISS zugeschaltet. Gerhard Thiele sprach den Satz des Tages: „Ich freue mich, dass du der Erste warst.“ Die beiden Kosmonauten Alexander Iwantschenkow und Pawel Winogradow vertraten Jähns einstigen Raumschiffkommandanten Waleri Bykowski, der im März 2018 verstorben war, und überbrachten die besten Grüße vom Chef des Sternenstädtchens, Pawel Wlassow. Diese Ehrungen rührten den Mann, der auf seinen Reisen vielerlei Grenzen überwunden hatte, dann doch zu Tränen.

**Gerhard Kowalski**, Jahrgang 1942, Raumfahrtjournalist, Buchautor und Fachübersetzer. Zu DDR-Zeiten Korrespondent der staatlichen DDR-Nachrichtenagentur ADN, später freiberuflich tätig und über vier Jahrzehnte Wegbegleiter von Sigmund Jähn.



Sigmund Jähn mit dem Kosmonauten Pawel Winogradow im Juni 2018 in Baikonur bei seinem letzten Besuch der Startrampe ins All

„Sigmunds Leben waren die Raumfahrt, seine Familie und die Freundschaft über Ländergrenzen hinweg. Grenzen, die man vom Weltall aus ohnehin nicht sehen kann. Wir deutschen Astronauten sind auf seinen Schultern ins All geflogen. Sigmund ließ es sich nicht nehmen, selbst mit über 80 Jahren immer noch zu meinen beiden Starts in die Wüste nach Baikonur zu reisen, um – zu meinem Verdutzen – am Tag vor meinem ersten Start in den Weltraum mit verschmitztem Grinsen vor meinem Zimmerfenster in dem eigentlich komplett abgeschirmten Quarantänebereich zu stehen und zu fragen, ob ich spazieren gehen wolle.“

**Alexander Gerst**, Astronaut

„Mit Sigmund Jähn verliert die deutsche Raumfahrt einen weltweit anerkannten Kosmonauten, Wissenschaftler und Ingenieur. Der erste Deutsche im All hat sich auch immer als Brückenbauer zwischen Ost und West im Sinne der friedlichen Nutzung des Weltraums verstanden. Seine Botschaft, für die Erde ins All, werden wir in ehrendem Gedenken bewahren und fortführen.“

**Pascale Ehrenfreund**,  
Vorstandsvorsitzende des DLR

„Am 9. November 1989 in Riad, am Vorabend der Konferenz der internationalen Astronautenvereinigung ASE, umringten wir europäischen Astronauten Sigmund Jähn in dem Moment, als wir in Echtzeit im Fernsehen den Fall der Mauer erlebten – den wohl schwierigsten Tag im Leben Sigmunds. Viele Jahre später, als Direktor des Europäischen Astronautenzentrums ab 2000, profitierte ich sehr von der frühen, von Ulf Merbold initiierten Einbindung von Sigmund in das Astronautentraining. Sein selbstloser Rat half uns bei vielen Gelegenheiten, von den russischen Erfahrungen zu profitieren.“

**Ernst Messerschmidt**, Astronaut

„Meine herausragende Erinnerung an Sigmund Jähn ist die Überführung von zwei Autos ins Sternenstädtchen im Dezember 1990. Dieses Abenteuer sollte unsere beiden deutschen Kosmonauten-Kandidaten Klaus-Dietrich Flade und Reinhold Ewald in Moskau auch auf der Erde mobil halten. Sigmund lotste uns durch Polen und die damals noch existierende Sowjetunion. Er zeigte den verblüfften Grenzbeamten an der sowjetischen Grenze seinen „Propusk“, der ihn als Helden der Sowjetunion auswies. Für ihn war es selbstverständlich, uns sicher ins Sternenstädtchen zu führen.“

**Rolf-Dieter Fischer**, ehemaliger Astronautentrainer

„Meine lebendigsten Erinnerungen an Sigmund Jähn stammen aus der ersten Zeit seiner Beratertätigkeit für das DLR. Er war bei den Verhandlungen mit der russischen Seite in Vorbereitung für den ersten Flug eines deutschen Astronauten auf die russische Raumstation MIR unersetzlich: Sigmund Jähn half uns allen in seiner ruhigen, freundlichen und zurückhaltenden Art, die damaligen Gegebenheiten in Moskau zu verstehen: das ungute Gefühl bei der Passabgabe, die Aufpasser im Hotel, die Speisekarte ... Er hat mir auch Tipps gegeben, wie man die üblichen Wodka-Toasts überstehen konnte. Ich weiß allerdings nicht, ob die Pflanzen hinter meinem Stuhl das auch taten.“

**Beate Fischer**, Abteilungsleiterin Astronautentraining  
im DLR-Raumflugbetrieb



## IN HUMBOLDTS KOSMOS

Recherchieren, Augen schließen, Welten verbinden

Für das DLR-Magazin sprach Peter Zarth mit der Autorin Andrea Wulf

**D**er 250. Geburtstag Alexander von Humboldts veranlasste Verlage, Medien und Organisationen zu Würdigungen. Er wird als unermüdlicher Forschungsreisender gepriesen, als Umweltschützer, Kommunikator und Verfechter der Gleichheit aller Menschen. Das DLR-Magazin nähert sich dem universellen Naturforscher auf verschiedenen Wegen: Wir sprachen mit der bekannten Humboldt-Biografin Andrea Wulf, betrachteten seine Abenteuer als Graphic Novel und schauten in jenes Buch, das vielfach ausgezeichnet wurde und ausgezeichnet ist: „Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur“.

Sie ist eine Erzählerin. Sie schreibt. Sie liebt das Denken, und sie liebt – den Gedankenstrich. Sie verbindet Welten: die von Wissenschaft und von Schönheit. Von Jung und von Alt. Von Poesie, Erkenntnis und Kunst. Sie verbindet „trockene Zahlen“ mit dem „Zauber der Natur“. Andrea Wulf schätzt Begriffe wie „rein“ oder „klar“. In Indien geboren, in Deutschland aufgewachsen, sitzt sie bei unserem Gespräch in London, blickt aus dem Fenster und trinkt einen Kaffee. Uns verbindet eine Erfindung des 19. Jahrhunderts, das Telefon. Die ersten Sätze, die 1861 damit übertragen wurden, sind überliefert: „Das Pferd frisst keinen Gurkensalat; die Sonne ist aus Kupfer.“ Humor war Wissenschaftlern und Technikern beileibe nicht abhandengekommen, damals.

### Humboldt und der Klimawandel

Andrea Wulf hat einen Weltbestseller geschrieben: „Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur“. Diesen Erfolg kann sie „noch immer nicht glauben“. Die Wirkung ihres Buchs, besonders auf junge Menschen, beglückt sie. Andrea Wulf liebt das Gespräch. „Im Gespräch kommen die verschiedensten Wissenschaften zusammen.“ Sie liebt den Dialog mit allen. Sie wird eingeladen und reist dafür über Kontinente hinweg. Hält Vorträge. Hört zu. Fragen des Klimawandels bilden für sie „die wichtigsten Themen“. Auch deswegen sei sie auf Humboldt gekommen: „Meine Zuhörer sind oft am Klimawandel interessiert. Junge Leute sind mit Recht sehr besorgt.“ Die Umwelt könne „Helden und Vorbilder wie Humboldt“ gebrauchen. Sie, die Historikerin, sagt tatsächlich „Helden“. Dieser Held warnte früh vor der Umweltzerstörung. Humboldt habe 1832 vorausgesehen, dass der Mensch das Klima auf drei Arten verändern würde: „durch Zerstörung des Waldes, durch künstliche Bewässerung und durch die Entwicklung großer Dampf- und Gasmaschinen an den Mittelpunkten der Industrie.“

### Zauber der Natur

Andrea Wulf, die brillant recherchiert hat und Humboldt an dessen Aufenthaltsorte nachgereist ist, weiß genau, wovon sie spricht, und sie, Historikerin im 21. Jahrhundert, hat einen wunderbar leisen Humor. „Manchmal ist es, als ob ich die Humboldt-Pressedame bin“, sagt sie. Man meint, ein Lächeln und ein Augenzwinkern durchs Telefon wahrzunehmen. Wir merken bald: Es ist viel, viel mehr als „Pressearbeit“... Andrea Wulf hat Alexander von Humboldt und dessen Wirken erforscht und denkt ihn in die Jetztzeit fort. „Geschichte hilft uns zu verstehen, zu denken – und wie wir denken.“ Humboldt habe Kunst und Wissenschaft zusammengebracht. Dazu zähle der Zauber der Natur. „Im Grunde sind Wissenschaft und Kunst das Gleiche, ihr Ziel ist die Neugierde. Die Vorstellungskraft des Menschen – für beides, Wissenschaft wie Kunst, essenziell – hat sich in der Natur gebildet.“ Dies dürfe man nicht vergessen. Es folgt einer der schönsten Sätze dieses ruhigen Gesprächs: „Wir werden nur das beschützen, was wir lieben.“

### „Die Natur muss gefühlt werden“

Wohl auch deshalb ist „Schönheit“ ein Begriff, der bei ihr oft und an überraschenden Stellen auftaucht. Wir vermuten, Humboldt und Andrea Wulf sehen Schönheit als eine Seite der Natur, als Facette des Menschen, der Kunst und der Wissenschaft. „Humboldt konnte über die Schönheit der Natur sprechen, über die tropischen Pflanzen oder über tiefe Bergschluchten. Er ist an die (Wissenschafts-)Sprache poetisch herangegangen“, sagt sie. „Humboldt wollte Leser in die Natur hereinziehen, er wollte Verständlichkeit.“ Gerade Emotionalität spreche (aber nicht nur) Kinder wie die von „Fridays for Future“ an. „Die Natur muss gefühlt werden“, sagt Humboldt.



Die Autorin Andrea Wulf liebt den Dialog und schätzt die Stille

„Ich sehe ‚meinen‘ Humboldt mit dem Blick der Historikerin“, sagt Andrea Wulf, „dazu zählt auch das Zwiespältige seiner Person. Mein neues, illustriertes Buch ist fast wie eine Hommage, ich sehe Alexander von Humboldt (auch) als Künstler“.

### Mach die Augen zu. Was du dann siehst, gehört dir

Am 26. Juli 2013 besteigen Andrea Wulf und ihre beste Freundin Julia-Niharika Sen den Chimborasso. „In der Höhe riecht es nach gar nichts“, erzählt sie. „Über den Wolken, in mehr als 5.000 Meter Höhe, ist die Luft rein.“ Dieser 26. Juli 2013 ist ein klarer Tag.

211 Jahre zuvor, am 23. Juni 1802, kurz vor Erreichen des Gipfels dieses Bergs, der damals als der höchste der Erde galt, scheint Alexander von Humboldt dort in einem Nebelland verloren und in einem leeren, fast unheimlichen Raum der Welt entrückt gewesen zu sein. Plötzlich reißt der Nebel auf, er sieht das Schneeweiß des Chimborasso vor dem Blau des Himmels aufragen ...

Die Freundinnen nehmen Abschriften des Tagebuchs von Alexander von Humboldt zur Hand und lesen:

„... Am 23. Juni (...) erstiegen wir den Chimborasso. (...) Da der Tag sehr dunkel und neblig war, war der Gipfel nur von Zeit zu Zeit zu sehen. In der vorausgegangenen Nacht war viel Schnee gefallen ...“

Irgendwann umfängt Andrea Wulf und Julia-Niharika Sen das Schweigen des Raums. Sie sehen die Welt von oben. Stille.

„Manchmal, wenn ich schreibe, mache ich die Augen zu“, sagt Andrea Wulf, als wir unser Gespräch beenden. „Ich habe eine blühende Fantasie.“ Fantasie ist die Schwester von Kunst, von Schönheit, von Wissenschaft. Wir würden dieser Weltenverbinderin gerne immerwährend zuhören. Von ihr kann man lernen, inneren Überblick zu gewinnen.

Peter Zarth, DLR-Politikbeziehungen und Kommunikation

## DIE ERFINDUNG DES AUGEN-BLICKS

Dieses Buch ist ein Wagnis. Ein 272-Seiten-Abenteuer. Mit sehr feinem Strich gezeichnet. Viel Text – für eine Graphic Novel. Wohl-gemerkt: Novel. Abenteuer eines Forschungsreisenden aus dem 19. Jahrhundert, auf mehr Seiten, als sie heute manchem Roman eignen sind. Spröde? Lesbar? In Zeiten des Wischens und Daddelns?

Abenteuer benötigen Zeit. Abenteuer wohnt, schon begrifflich, Chaotisches inne. Zwischen zwei Buchdeckeln erzählt und gezeichnet, braucht dies Struktur und Stringenz, weit mehr als nur Talent. Vor allem: Balance zwischen Text und Bild, eine gute Führung für das Auge, das gleichzeitig schauen und lesen möchte.

Lillian Melcher und Andrea Wulf ist dies überwiegend gelungen. (Das „überwiegend“ trauen wir uns kaum zu schreiben, so beeindruckend ist das Ergebnis.) Wir befürchten allein mangelnde Geduld des Lesers. Deshalb erscheint diese Rezension in der Vorweihnachtszeit: Das Buch gehört auf den Gabentisch – zwischen den Jahren sollten Sie nämlich für Vögel und Pflanzen, für die Orinoko-Seite, für Stromschnellen und Havanna, für Zitteraale und für den Chimborasso Zeit haben. Für alle anderen kleinen Wunder des Buches auch.

Nach dem Welterfolg ihrer Humboldt-Biografie inspirierten dessen Tagebücher die Autorin Andrea Wulf zu einem Buch, das die künstlerische Seite Humboldts zeigen sollte, und die, wie sie sagt, „un-

glaubliche Leichtigkeit, mit der er Wissenschaft und Kunst vereint“. **Die Abenteuer des Alexander von Humboldt (C. Bertelsmann Verlag)** zeigen Humboldts Südamerikareise.

Ergänzt wird damit in gewissem Maße Andrea Wulfs „Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur“. Diese Graphic Novel geht aber darüber hinaus. Sie ist sinnlich, voller Überraschungen – und ein junges Genie hat die „Abenteuer“ in Bilder gesetzt. Lillian Melcher, bei der Entstehung gerade mal 23 Jahre alt und frisch von der Universität, muss wirklich ein Genie sein: Sie vereint – nach Themen- und Textvorgaben von Andrea Wulf – mit ihrem Strich Sichtbares mit Unsichtbarem, sie erschafft dies mit Naivität in ursprünglichem Sinn – also mit Unvoreingenommenheit, Unverfälschtheit. (Nur eines fragen wir uns: Was hat den Verlag veranlasst, für Titel und Rücktitel eine Vorlage von Lillian Melcher farblich so zu ändern, dass diese mit dem Stil der Graphic Novel nur noch wenig gemein hat? Die Farbigkeit (sogar Golddruck) des Titels weckt vollkommen andere Erwartungen.)

Das Sichtbare ist schnell erzählt: Tauchen Sie in jede Seite ein, erleben Sie Exotik pur, selbst das Alltägliche ist eigenwillig dargestellt – mit viel Raum für die Fantasie des Lesers. Das Unsichtbare, wie wir es hier nennen wollen, bewundert Andrea Wulf an Lillian Melcher besonders: „Lillian“ habe extrem genau nachgefragt: Wie hielt Humboldt seine Messinstrumente? Wie sah die Körperbemalung der Indigenen



Mit traumwandlerischer Sicherheit zeichnet Lillian Melcher die Abenteuer Alexander von Humboldts nach. Links ihre Sicht auf die Abenteuer auf dem kolumbianischen Rio Magdalena, rechts das in den Horizont sinkende Sternbild „Kreuz des Südens“, übrigens so, wie es 1803 tatsächlich am Himmel zu sehen war.

## DEM FERNEN SO NAH

In den Siebzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts trennten sich die bis dahin diffus und mit, übrigens bis heute nicht klar definiertem Inhalt verbundenen Begriffe „Natur“ und „Umwelt“. Dies wäre nicht weiter von Belang, wäre damit nicht auch ein Perspektivenwechsel verbunden gewesen: Der Mensch *in* der Natur rückte noch mehr in den Hintergrund als bis dato ohnehin. Umwelt, und mit ihr die Natur, besonders deren Gefährdung, wurden zunehmend aus dem Blickwinkel des und für den Menschen gesehen, mit stark ökologisch betonter Komponente. So etwas führt zur Entfremdung des Menschen von der Natur. Aus Naturschutz, der den Menschen als darin enthalten dachte, wurde Umweltschutz, der die Natur aus der Perspektive des Menschen betrachtet.

Andrea Wulf rückt dies mit **Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur (C. Bertelsmann Verlag)** glücklicherweise bereits mit der Titelwahl zurecht. Für Humboldt, Superstar der Wissenschaft des beginnenden 19. Jahrhunderts, gab es weder eine Trennung von Mensch und Natur noch die von Natur, Wissenschaft, Kunst, Dichtung und Musik. Andrea Wulfs mehrfach ausgezeichnetes und preisgekröntes Werk, allein in Deutschland in der 15. Auflage erschienen, muss nicht mehr ausführlich vorgestellt, soll aber insbesondere jungen Leuten jeden Alters ans Herz gelegt werden, die mit der damaligen Zeit und der Wirkung Humboldts nicht vertraut sind oder nicht vertraut sein können. Die Autorin schreibt mit Herz, sie schreibt eine leicht verständliche Wissenschaftsprosa, der man nur ein besseres Lektorat gewünscht hätte (Beispiel: Im 19. Jahrhundert von „westlicher“ Welt zu sprechen, führt zu falschen Assoziationen), sie bezieht Stellung, ja „Partei“, und sie lässt eine Zeit, ein Denken und einen Menschen lebendig werden, die (und der) uns heute fern zu sein scheinen, aber – jedenfalls im Hinblick auf das Denken und Wirken Humboldts – erstaunlich modern sind.

am Orinoko exakt aus, wie die Hütte auf dem Antinsana? Melchers Akribie führte sie bis hin zur Archäo-Astronomie: Das „Kreuz des Südens“ taucht 1803 bei Humboldts Fahrt von Guayaquil nach Mexiko immer weiter in den Horizont ein. Wulf recherchierte bei Astronomen, wie sich dieses Sternbild damals auf der Route exakt veränderte. Melcher zeichnete nach diesen Ergebnissen. Aber sie zeichnete nicht nur: Papier für Pflanzenproben beträufelte die Illustratorin mit Milch, Orangensaft, Kaffee und Tee, legte es in ihren feuchten Schuppen, ließ Papier und Pflanzen schimmeln, damit sie sich einem Originaleindruck nähern konnte: Humboldts Mitreisender Bonpland hatte nämlich oft Mühe, Pflanzen und Notizen in der Feuchtigkeit der Tropen zu trocknen. Sie schimmelten. Wir, die Leser, können uns auf Lillian Melchers bildliche und inhaltliche Darstellung en détail verlassen.

„Ganz, ganz toll“ sagt Andrea Wulf über die Zusammenarbeit mit Lillian Melcher. Ihre Begeisterung hallt – in dem ansonsten in ruhigem Ton geführten Interview (siehe Vorseiten) – nach. Lillian Melchers ruhiges Auge ist bewundernswert. Ihre Bilder und Bildideen entfalten einen Sog. Die Wahl unerwarteter Perspektiven, manches Freche, Kecke, Fröhliche, mit dem ein überhöhter Glaube an die Autorität der Wissenschaft gebrochen wird – das alles mit Leichtigkeit, Humor, Esprit. Sie zeichnet nicht opulent, wie es oft gesagt worden ist und wie es das merkwürdige, wenn auch faszinierende Titelbild erwarten lässt: Lillian Melcher erfindet den Augen-Blick. Was für ein Abenteuer!





## EINE TÜR IN DIE WELT VON DOKUMENTARISTEN UND RUMTREIBERN

Als Isabel Greenberg sich hinsetzt, um ihre imaginäre Welt namens Frühe Erde zu erfinden, wird ihr klar, dass sie eine Karte brauchen wird. Die preisgekrönte Autorin und Illustratorin von Graphic Novels beschreibt in ihrem Essay, einem in der Sammlung von zwei Dutzend Texten unterschiedlicher Autoren, ihre Kartenliebe. Ganz gleich, ob Greenberg oder Daniel Reeve, der Kalligraph von Der Herr der Ringe, Miraphora Mina, bekannt durch Designs für die Harry-Potter-Filmreihe, oder andere Künstler: In dem Bild-Text-Band **Verrückt nach Karten (THEISS)** geht es nur um eines: Karten. Oder doch um mehr? Die Antwort gibt das Buch schon beim ersten Blättern. Es geht um den Wert fantastischer Atlanten, um die Gedanken unterstützende Wirkung rasch gezeichneter Landschaftsskizzen sowie um Wegenetze und Seekarten. Mal initialisieren sie das Entstehen eines Buchs, mal halten sie Erlebnisse wach, die später zum Film werden, mal machen sie etwas anschaulich, was Worte schwer auszudrücken vermögen.

Für den Herausgeber Huw Lewis-Jones, englischer Historiker, Autor und Naturforscher, ist Zeichnen pure Freude. Im Schreiben sieht er dagegen eine Schufferei. Seine Begeisterung für Stadtpläne, Land- und Seekarten, Klapp- und Faltextemplare trägt er in diesem wunderbaren Buch zu den Lesern. Wir sehen Karten, die aus Robbenhaut gefertigt wurden, Foto-Mosaik der Mondlandung oder gar mit Blut auf Leinen gezeichnete Ortshinweise. Schlichte, auf Butterbrotpapier skizzierte Inselwelten oder eine prächtige historische Weltkarte, die 1550 für den französischen König in Auftrag gegeben worden war.

Die Karten zeigen das Leben als Schatzsuche. Oder, um mit den Worten der im Buch zitierten amerikanischen Schriftstellerin Catherynne Valente zu sprechen: „Eine Geschichte ist eine Karte ... und jeder Mensch zeichnet eine Karte, die in ihrem Zentrum ihn selbst zeigt.“ Zu den inspirierenden Zitaten gesellen sich sehr informative Marginalien bei den diversen Karten, Skizzen und gemalten Bildern. Steckbriefe der Essay-Autoren und Literaturtipps komplettieren den Service.

Dieses üppige Informationsangebot ruft geradezu danach, das Buch öfter zur Hand zu nehmen. Man ahnt, dass es immer Neues zu entdecken gibt, in ungewöhnlichen, zuweilen sehr persönlichen Texten und fantasievollen Zeichnungen, die manchmal Wimmelbildern ähneln. In dieses Buch taucht man ein, begibt sich auf Schatzsuche und stößt wieder und wieder auf bis dahin noch nicht beachtete Details: auf einer Weltkarte aus dem Jahr 1025 etwa. Es handelt sich um die früheste Darstellung der Britischen Inseln. Darauf sind in einer Bildecke zwei winzige Strichmännchen zu sehen. Von ihnen wird angenommen, dass es sich um zwei Sachsen handelt, die nach dem Abzug der Römer die Briten vermöbeln. – Humor bietet das Buch also auch noch. Wundervoll.

Cordula Tegen



## MUT ZUR AUSWAHL AUS EINEM UNENDLICHEN KOSMOS

Fast liest es sich, als würden die Autoren von **Raumfahrt. Der Mensch im All (Fackelträger)** die Erwartung prophylaktisch bremsen wollen: „Eine Geschichte der Raumfahrt ist für einen Autor natürlich eine wunderbare Aufgabe, aber auch eine Herausforderung. Denn in einem Buch kann man ... niemals alle Fakten, alle Ereignisse und alle Namen nennen.“ Man brauche Mut zur Auswahl, schreiben Bernhard Mackowiak und Anna Schughart im Vorwort. Doch bei der Auswahl, die sie für ihr 300-seitiges, großformatiges Werk trafen, bewiesen sie ein sehr geschicktes Händchen. Von der Himmelscheibe von Nebra und Stonehenge über den Weltraumwettbewerb zwischen den USA und der Sowjetunion bis hin zu den bemannten Mondmissionen sowie von der Shuttle-Ära über Raumstationen bis zu den unbemannten Flügen zu Mars, Titan und Churyumov-Gerasimenko reichen die Inhalte. Das Buch endet mit den Plänen für das Leben auf dem Mars, dem Thema Weltraumtourismus und dem Bergbau auf Asteroiden. Dabei vermitteln die Autoren fast im Plauderton jede Menge Fakten, bereichern den Text mit Porträts von Schriftsteller Stanislaw Lem oder Elon Musk, mit Technikartikeln, kürzeren Features zu Raumzügen oder den Gesundheitsrisiken im All an. Dazu kommen beeindruckende Bilder, informative Zeichnungen und gut ausgewählte Zitate. Eine Mischung, mit der „Einsteiger“ ganz schnell „raumfahrtsüchtig“ werden und in der „Fortgeschrittene“ gerne mitschwelgen.

Manuela Braun

## HIRNGESPINSTE UND VISIONEN

Es wäre schon toll, wenn es sie geben würde – die Walking City, die der Londoner Architekt Ron Herron 1964 der Öffentlichkeit vorstellte. Mit spinnenartigen Beinen, 30 Stockwerke hoch und so beweglich, dass sie ihren Standort verlagern könnte. Leider hat Herron nie mitgeteilt, wie das funktionieren soll. Autor Philip Wilkinson versammelt in seinem **Atlas der nie gebauten Bauwerke (dtv)** 50 Projekte und Ideen: Hirngespinnste, Wolkenkuckucksheime oder durchaus realistisch anmutende Gebäude werden mit Bauskizzen, farbigen Zeichnungen in gedeckten Farben und Modellen in der Phantasie des Lesers zum Leben erweckt. Ein Gebäude in Elefantenform auf der Champs-Élysées, ein Kathedralenentwurf für Lille, der wohl deswegen nicht umgesetzt wurde, weil der Architekt die falsche Religion hatte, oder auch das von Bauhausgründer Walter Gropius und Theaterintendant Erwin Piscator geplante Totaltheater mit mehreren Bühnen dicht am Zuschauer, gehören ebenso dazu wie Öko-Gebäude für das chinesische Shenzhen mit Gemüseanbau im Inneren von gläsernen Blasen. Manches weist in die Zukunft, manches scheint losgelöst von allen Realitätsbezügen. Dabei geht es aber nicht nur um die Bauwerke – sondern vielmehr um die Gedanken, Lebenswelten und manchmal das Scheitern ihrer Architekten. Ein schönes Buch für Menschen mit Vorstellungskraft!

Manuela Braun



## VOLLGEPACKTE WUNDERTÜTE

Materialien mit Härtegrad 5 sind mit dem Messer ritzbar. In der Antarktis gibt es 70 bis 80 Forschungsstationen. Sogar Kräuter und Gewürze sind ein Thema wie auch die Schädel unserer Vorfahren und die Risiken des Klimawandels. Das Buch **Weltwissen (National Geographic)** ist eine einzigartige Wundertüte. Bunt, voll, manchmal toll und manchmal auch mit unerwartetem Inhalt. In DIN-A5-Format ist auf 288 Seiten so vieles untergebracht, dass man sich fühlt, als habe man zu viele Süßigkeiten gegessen. Optisch überfordernd wirkt das Layout in allen Farben, Formen und Schriftgrößen dieser Welt. Ein A4-Format hätte dem „Weltwissen“ und seinen Lesern sicherlich gut getan und wäre auch den vielen Fotos und Abbildungen eher gerecht geworden. Dennoch: Zum Blättern und Entdecken ist das Buch gut geeignet – wenn man angesichts der Zeitleisten, Faktenboxen, Quiz-Kästen, der schönsten Fotos von Twitter und bunter Zeichnungen immer schön die Ruhe bewahrt und sich die vielen Informationen häppchenweise einverleibt.

Manuela Braun





Die Kosmopolitin Etel Adnan bei der Aufnahme ihres Weltraum-Poems 2019 in ihrer Pariser Wohnung

**FUNERAL MARCH FOR THE FIRST COSMONAUT**  
Etel Adnan 1969 | Ulrike Haage 2019

all of you cosmonauts  
carried by our dreams  
floating above sleep  
all of you pioneers of that space  
which lies between atom and dream  
we heard the tremendous minute of silence  
you all stood when Gagarin came to you  
the great child in the great machine.

*♩=124*  
**chapter XI the great child in the great machine**

Soprano

Piano / Organ / Hammond



## „KÖRPER DES WELTRAUMS ...“

Zum Tod des ersten Menschen, der in den Kosmos aufbrach, Juri Alexejeitsch Gagarin, verfasst Etel Adnan einen Trauermarsch. **A FUNERAL MARCH FOR THE FIRST COSMONAUT** entsteht unmittelbar nach dem Absturz des Testfliegers und Kosmonauten.

Ein halbes Jahrhundert später hat der Deutschlandfunk daraus ein großartiges Hörstück produziert. Adnan ist Kosmopolitin: eine Libanesin, die an der Sorbonne zur Philosophin reift, später in den USA und in Paris lebt und wirkt, als Künstlerin im hohen Alter zur Documenta eingeladen wird.

Als ihr „Trauermarsch“ entsteht, ist sie 43, also älter als Gagarin, dessen MiG 15 unter nicht geklärten Umständen kurz nach seinem 34. Geburtstag abstürzt. 50 Jahre danach, in ihrer ehrwürdigen Wohnung im 6. Arrondissement von Paris, nahe der zweitgrößten Kathedrale der Stadt, Saint-Sulpice, nimmt ihre knarrende Stimme noch einmal die Zeit und Symbolwörter des Fortschrittsdenkens der Sechzigerjahre auf: atom, anti-matter, time-space, rocket, sound barrier ... Ihr Poem ist jedoch alles andere als fortschrittsgläubig. So, wie ihre Stimme heute brüchig ist, bricht Etel Adnan damals den Fortschrittsglauben, nimmt Bezug auf – heute historische – politische Ereignisse wie den Algerienkrieg oder auf die Gefangenen von San Quentin, die „im Dunkeln bleiben und um Freiheit kämpfen“.

Ihr Poem umfasst elf Teile. Sie werden von ihr selbst auf Englisch, von Judith Engel auf Deutsch und von Zainab Alsawah in syrischem Hocharabisch gesprochen, von Christina Andersson und von Alsawah gesungen. „Leben ist ein Gewebe“, zitiert Ulrike Haage, Komponistin dieses Klangweltraums, Etel Adnan. Ihre Komposition trifft das exakt: Mit Bassklarinette, Grand Piano, Truhenorgel, Gesang, Stimmfetzen und Celesta entsteht das Gegenteil kitschiger „Weltraum“-Musiken, die mit ihren sphärischen Klängen oft nichtssagend sind. Haages Gewebe nimmt sich zurück. Nur die 28 „spacigen“ Schlussekunden nehmen dem wunderbaren abschließenden O-Ton Etel Adnans: „You all stood when Gagarin came to you / The great Child in the great machine ...“ viel von ihrer Wirkung.

Das Gedicht spannt den Bogen von der direkten Ansprache Gagarins zu einer Reise in Kulturgeschichten der Menschheit, zu Menschheitsversagen und zu einer vorsichtigen Hoffnung. Heute nennt Adnan die Gegenwart des Menschen „préhistoire“: Gegenwart sei das Jetzt der Menschheit – die Vor-Geschichte ihrer Zeit im All. Dabei ist Etel Adnans Begriff vom All gleichzeitig realistisch und poetisch, er transportiert Wut und Wehmut. Ihre „Sonne weint“. Die 95-jährige Autorin frage sich, welche Botschaft es im 21. Jahrhundert für junge Leute gebe, sagt Haage. Deshalb habe man mit Zainab Alsawah auch eine junge Schauspielerin eingebunden. Deren Stimme ist ein Glücksfall.

Irgendwann wird eine Zeile des Trauermarschs nur noch geflüstert: „Körper des Weltraums / Weiß wie der frühe Morgen / Fürchte dich nicht.“ Gagarins Flug bedeutete nicht nur einen kleinen Schritt für einen Menschen, sondern den großen für die Menschheit. A FUNERAL MARCH FOR THE FIRST COSMONAUT zollt dem ersten Kosmonauten Tribut. Indem die Menschheit es Gagarin anvertraute, als Erster in das unwirtliche Nichts hinauszufliegen, verneigte sie sich vor ihm – erkannte sich aber auch in ihm selbst.

Auf seinen Absturz sieben Jahre später folgte weltweit eine ungeheure Minute der Stille. Bei der Aufnahme des FUNERAL MARCH FOR THE FIRST COSMONAUT in Paris läuteten die Glocken.

Zu hören ist das vom Deutschlandfunk Kultur aufgenommene Stück unter: <https://t1p.de/8nd6>

Peter Zarth

## TIPPS VON JUNGEN LESERN

### VON A WIE AUGEN BIS Z WIE ZONE OF AVOIDANCE



Was ist die Superposition? Wie funktioniert die Evolution? Oder: Wieso wachsen unsere Haare auf dem Kopf stärker als die auf dem Arm? – Das Buch **Wunder der Welt – in farbigen Grafiken (riva)** soll diese und noch mehr knifflige Fragen mit Hilfe von bunt-fröhlichen Grafiken beantworten. In den drei Kapiteln Lebenswissenschaften, Geowissenschaften und physikalische Wissenschaften findet man sich gut zurecht. Dafür sorgen ein geringer Schriftanteil und viele Skizzen. Das Buch behandelt allerlei Themen aus der Wissenschaft, lässt jedoch manch grundlegendes Wissen außen vor. Erklärungen sind knapp verfasst, aber anspruchsvoll. Die fast durchgängige Verwendung von Großbuchstaben kann das flüssige Lesen allerdings erschweren.

Angesichts der niveaureichen Erläuterungen ist das Cover eher kindgerecht gehalten: Ein Regal mit fantasievoll gestalteten Gefäßen gibt einen Vorgeschmack auf die Themen im Buch. Schriftart und Grafikstil des Covers richten sich an Kinder zwischen acht und zwölf Jahren. Die Texte im Buch allerdings dürften junge Leser überfordern. Sie setzen schon ein wenig Grundwissen voraus.

Georg Reichardt, 15 Jahre

### ERSTAUNLICH EINFACH UND SCHÖN ANZUSEHEN



Woher weiß man, dass die Erde rund ist? Was ist in einem schwarzen Loch drin? Wieso träume ich nachts? – Fragen, die in dem Sachbuch **Warum merke ich nicht, dass die Erde sich dreht? (Knesebeck)** beantwortet werden. Witzig illustriert und einleuchtend bringt das Buch Kindern von acht bis zehn Jahren naturwissenschaftliches Grundwissen näher und regt zum Nachdenken an. Am liebsten möchte man den Band gar nicht mehr aus der Hand legen, woran auch das liebevoll erstellte Design von Claire Goble nicht unschuldig ist. Die humorvolle Gestaltung kann junge Leserinnen und Leser in ihren Bann ziehen. In einer leicht verständlichen, kindgerechten Bildsprache werden Antworten auf 22 schwierige und spannende Fragen geliefert und nur wenige Fachwörter benutzt. Sollten doch etwas schwierigere Begriffe wie „Anatomie“ oder „Orbit“ auftauchen, so findet man im hinteren Teil des Buchs ein Glossar, in dem die Fachwörter erstaunlich einfach erklärt werden. Der Band hat einen Platz in jedem Kinderbuchregal verdient und ist nebenbei noch ein echter Hingucker.

Alina Biesolt, 15 Jahre

### „KEINE ZEIT MEHR ZUM QUASSELN“



In ihrem Band **Das Klimabuch – alles, was man wissen muss (oekom verlag)** dreht sich alles um den Klimawandel. In 50 aufwendig gestalteten und leicht verständlichen Grafiken weist Esther Gonstalla auf Ursachen, Folgen und Probleme hin, die sich aus der menschengemachten Klimaerwärmung ergeben. Ergänzt um Zitate, kleine Texte und harte Fakten hat man nach dem Lesen den Eindruck, den komplizierten Vorgang der Erderwärmung wenigstens ansatzweise zu verstehen. Gonstalla schreibt über das Sterben der Korallenriffe und die Folgen für deren Bewohner, über den Anbau von Soja und Ölpalmen, für den der Regenwald abgeholzt wird, und über Lösungsansätze, um diesen Problemen zu begegnen. Das Buch macht klar: „Wir haben keine Zeit mehr zum Quasseln“. Dank der Unterstützung von zahlreichen Forschern und einer Menge Quellenangaben lassen sich hoffentlich auch Skeptiker überzeugen. Ein Buch für alle „Fridays for Future“-Demonstranten, die gerne informierter wären, oder auch für Eltern, die verstehen wollen, warum ihre Kinder freitags streiken.

E. Malmström, 14 Jahre

## LINKTIPPS

### VERPIXELTES SONNENSYSTEM

**t1p.de/7y1z**  
„Pretty empty out here“ – „Ziemlich leer hier draußen“. So lautet einer der Kommentare, der erscheint, während man sich durch das Sonnensystem scrollt. Designer Josh Worth hat die Seite entworfen, um dessen riesige Dimensionen darzustellen. Der Mond hat als Referenz die Größe eines Pixels. Dementsprechend dauert es eine ganze Weile, um von der Sonne bis zum Zwergplaneten Pluto (Kommentar: Wir lieben dich immer noch) zu gelangen. Die einzelnen Planeten sind auch über ein Icon direkt zu erreichen. So spart man sich den Weg durch die Schwärze, verpasst allerdings auch die schönen Zwischenkommentare.

### DLR-WISSENSCHAFT KOMPAKT

**DLR.de/Dossiers**  
Missionen zu anderen Planeten, elektrisches Fliegen, automatisiertes Fahren oder ein neues Leben für alte Kohlekraftwerke – wer sich für Wissenschaft interessiert, wird hier fündig: In dem neuen Dossierformat des DLR-Webportals werden verschiedene Forschungsthemen übersichtlich zusammengefasst. Neben Hintergrundtexten sind hier umfangreiche Verweise zu früheren und nachfolgenden Artikelveröffentlichungen sowie Videos, Bilder, Dokumente, Blog-Posts und Posts aus den sozialen Netzwerken zu finden.

### DER KLIMAWANDEL – EINE BILANZ

**t1p.de/fjlp**  
Diese ZDF-Dokumentation zeichnet ein düsteres Bild vom Wettergeschehen der Zukunft: Stürme, Dürren und Überflutungen. Globale Veränderungen sind längst keine Zukunftsmusik mehr. In „Klimawandel. Die Fakten mit Harald Lesch“ beleuchtet der Astrophysiker und TV-Moderator (Alpha Centauri oder Terra-X) den Stand der weltweiten Klimaforschung. Der Beitrag ist noch bis zum 17. September 2020 online verfügbar.

### KLIMAFORSCHUNG ZUM MITHÖREN

**ze.tt/author/dlr**  
Forschen fürs Klima heißt der Podcast, den das Onlinemagazin ze.tt zusammen mit DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftlern erstellt hat. Etwa eine Viertelstunde sprechen die Fachleute darüber, wie Raumfahrttechnik den Klimaschutz unterstützen kann, wie schädliche Klimagase in die Atmosphäre gelangen, wie Wasserstoff uns dabei unterstützen kann, wie nachhaltig fortzubewegen oder wie elektrisches Fliegen die Emissionen im Luftverkehr der Zukunft reduziert.

### FANCLUB FÜR BAKTERIEN

**mikrobenzirkus.com**  
Bakterien, Viren, Pilze – über Mikroorganismen ist bislang recht wenig bekannt. In diesem Blog sammelt die Mikrobiologin Susanne Thiele Wissenswertes, Praktisches und Kurioses aus der Welt dieser winzigen Wesen.

## Titelbild

Stadtfahrzeuge sollen Personen ebenso wie Güter sicher, komfortabel und umweltschonend von A nach B bringen. Im Urban Modular Vehicle vereint das DLR verschiedene Fahrzeugtypen auf einer Plattform. Die Variante „Peplemover“ kann als Shuttle den Personennahverkehr ergänzen und spart individuelle Parkplätze.



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt