

ERST RECHNEN, DANN FLIEGEN

WIE DAS VIRTUELLE TRIEBWERK DIE FORSCHUNG BEREICHERN KANN

Weitere Themen:

- ▶ **PROFESSIONELLES LIEGEN LASSEN**
Mit Betruhestudien Weltraum-Krankheiten auf der Spur
- ▶ **SONNE UND SALZ**
DLR-Forschung für solarthermische Kraftwerke

Das DLR im Überblick

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

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 55 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Unsere 10.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

Impressum

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

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

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

Kommunikation und Presse

Linder Höhe, 51147 Köln

Telefon 02203 601-2116

E-Mail info-DLR@dlr.de

Web DLR.de

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

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten

Gestaltung: bplused agenturgruppe GmbH, Am Kabellager 11–13, 51063 Köln, www.bplused.de

ISSN 2190-0094

Online lesen:

DLR.de/dlr-magazin

Onlinebestellung:

DLR.de/magazin-abo

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

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

IN EIGENER SACHE

Während die Ausgabe dieses Magazins entsteht, wird die Welt mit den schrecklichen Nachrichten über den Krieg in der Ukraine konfrontiert. Mit Sorge blicken wir auf die dortigen Entwicklungen und verurteilen die kriegerischen Handlungen Russlands. Das DLR ist eine der größten Forschungsorganisationen in Europa und als solche der internationalen Zusammenarbeit für Gesellschaft und Wirtschaft verpflichtet. Im DLR sind Mitarbeitende aus 96 Ländern beschäftigt. Sie stehen für ein friedliches Miteinander aller Nationen und Menschen.

Sowohl das DLR als auch die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR, die im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig ist, kooperieren in einer Reihe von Forschungsprojekten mit russischen Einrichtungen – zum Teil unter Beteiligung weiterer deutscher Forschungsgruppen und Hochschulen sowie von internationalen Partnern. Deshalb hat der Vorstand die Beschlüsse gefasst, die Zusammenarbeit mit russischen Institutionen bei laufenden oder in Planung befindlichen bilateralen Projekten zu stoppen und keine neuen Projekte oder Initiativen mit Institutionen in Russland zu starten. Dabei handelt das DLR in enger Abstimmung mit seinen nationalen und internationalen Partnern.

Liebe Leserinnen und liebe Leser,

moderne Triebwerke sollen möglichst schadstoffarm und leise sein, dabei aber trotzdem hohe Geschwindigkeiten erreichen. Seit Jahrzehnten arbeiten die DLR-Luftfahrt-Institute daran, sie dahingehend zu verbessern. Dazu betreiben sie verschiedene Prüfstände, auf denen die Kraftmaschinen getestet werden. Seit geraumer Zeit kommen aber weitere Komponenten zur Triebwerksforschung hinzu: Simulationen und digitale Modelle. Mit ihnen können neue Konzepte schon vorab am Rechner getestet werden – nicht jedes Mal muss ein aufwändiger Prototyp gebaut werden. Das beschleunigt die Entwicklung von neuen Triebwerkskonzepten. Welche Rolle das virtuelle Triebwerk zukünftig spielen könnte, darüber sprechen die DLR-Wissenschaftler Stanislaus Reitenbach und Dr. Kai Becker in diesem Magazin.

Aber nicht nur das Triebwerk wird virtualisiert: In Hamburg-Finkenwerder entsteht eine Fabrik, die auf wenige Quadratmeter passt – denn sie ist digital. Hier untersuchen und bewerten DLR-Forscherinnen und -Forscher gemeinsam mit Industriepartnern neue Konzepte und Technologien für Flugzeuge, deren Komponenten und ihre Fertigung.

Im Bereich Raumfahrtmedizin soll sich diesen Sommer eine ganz besondere Mission auf die Reise machen: Zwei Puppen, die dem weiblichen Körper nachempfunden sind, sollen an Bord der unbemannten NASA-Artemis-1-Mission Richtung Mond fliegen. Auf dem Weg misst das MARE-Experiment die Strahlenbelastung während eines Weltraumflugs. Später soll dann im Rahmen des Artemis-Programms der NASA die erste Frau zum Mond fliegen. Da es in Zukunft immer mehr Astronautinnen geben wird, ist der Bedarf an Daten über den weiblichen Organismus groß. Aber nicht nur ein Raumflug kann unerwünschte Effekte auf den Körper haben, auch die Schwerelosigkeit kann Erkrankungen hervorrufen. Dazu werden auf dem DLR-Gelände in Köln seit 1988 in regelmäßigen Abständen Studien durchgeführt, in denen sich Probandinnen und Probanden für die Forschung ins Bett legen – in Kopftieflage. Dieses DLRmagazin gibt einen Überblick über die Bettruhestudien der vergangenen Jahre. Und wer sich nach Sonne sehnt, kann mit dem Artikel über die Évora Molten Salt Platform einen Abstecher nach Portugal machen. Dort betreibt das DLR eine Parabolrinnen-Testanlage, durch die flüssiges Salz fließt.

Zu guter Letzt: Dieser Ausgabe des Magazins haben wir noch eine kleine Überraschung beigelegt: Ein Poster, das den ESA-Astronauten Matthias Maurer bei seinem Weltraumspaziergang zeigt. Auf der Rückseite findet sich ein umfassender Überblick über die Internationale Raumstation ISS.

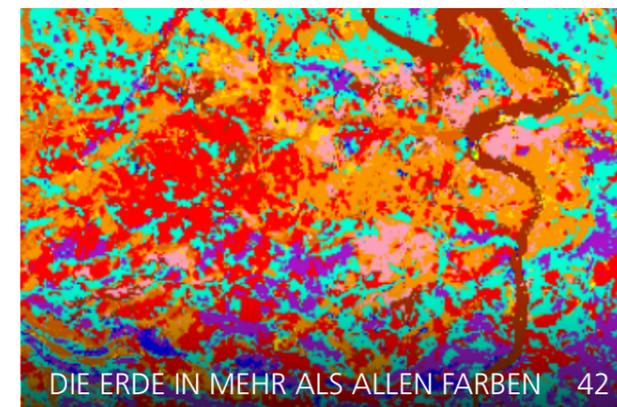
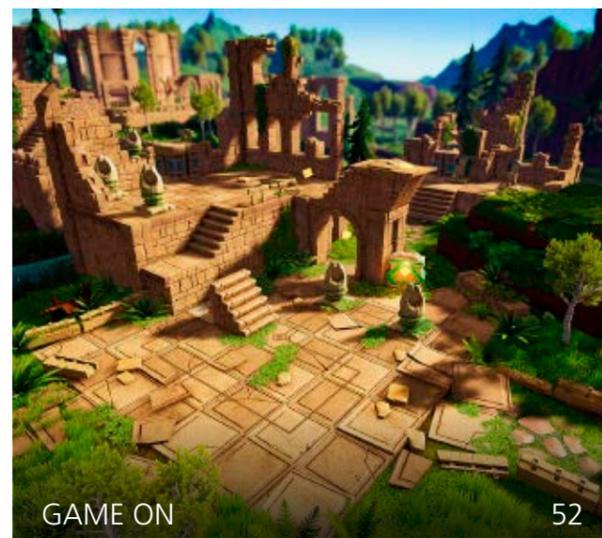
Viel Vergnügen beim Lesen wünscht Ihnen

Ihre Redaktion



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.





MELDUNGEN	6
▶ ERST RECHNEN, DANN FLIEGEN	8
Wie das virtuelle Triebwerk die Forschung bereichern kann	
WO NULLEN UND EISEN FLIEGEN LERNEN	12
Eine digitale Fabrik für zukünftige Flugzeuge	
MELDUNGEN	15
SAUBERER HIMMEL	16
Wie ein verminderter Partikelaustritt das Klima verbessert	
UPGRADE FÜR EINEN DAUERBRENNER	20
Das DLR forscht an Turbinen der nächsten Generation	
IMPULSE FÜR INNOVATIONEN	24
Die Digitalisierungsstrategie des DLR	
EINBLICK	26
Lasertest unterm Sternenhimmel	
AUF DEN BRUCHTEIL EINER SEKUNDE	28
Eine bessere Navigations- und Zeitbestimmung	
NACHGEFRAGT	31
DLR-Forscherinnen und -Forscher antworten	
▶ PROFESSIONELLES LIEGEN LASSEN	32
Mit Betruhestudien Weltraum-Krankheiten auf der Spur	
IN EINE WELT AUS EISEN UND NICKEL	38
Die Explorationsmission zum Asteroiden Psyche	
DIE ERDE IN MEHR ALS ALLEN FARBEN	42
Start des Erdbeobachtungssatelliten EnMAP	
ZURÜCK ZUM MOND	44
Das Experiment MARE testet Strahlenbelastung im All	
▶ SONNE UND SALZ	46
DLR-Forschung für solarthermische Kraftwerke	
WIE HAMBURG ZU EINEM VERKEHRSLABOR WURDE	48
Forschung für die zukünftige Mobilität	
GAME ON	52
370 Projekte profitieren von der Computerspieleförderung	
ZWISCHEN LUFTSCHIFF UND FLUGZEUG	54
Die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt	
WIE WOLLEN WIR LEBEN?	56
Ein Besuch im Futurium	
FEUILLETON	60

WENIGER EMISSIONEN DURCH ELEKTRISCHE LEICHTFAHRZEUGE

Die Hälfte der derzeit in Deutschland mit dem Auto gefahrenen Kilometer könnte theoretisch auch mit elektrischen Leichtfahrzeugen, sogenannten Light Electric Vehicles (LEV), zurückgelegt werden. Dies würde die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu Fahrten mit konventionell angetriebenen Pkw um mehr als 40 Prozent senken. Pro Jahr wären das rund 57 Millionen Tonnen weniger Emissionen. Zu diesem Ergebnis kommt eine Studie des DLR im Auftrag des Interessenverbands für elektrische Leichtfahrzeuge LEVA-EU. Für ihre Studie haben die Forscherinnen und Forscher der DLR-Institute für Fahrzeugkonzepte sowie für Verkehrsforschung die ganze Bandbreite an elektrischen Leichtfahrzeugen betrachtet. Diese reicht von E-Scootern, E-Bikes und E-Lastenrädern, elektrischen Rollern und Motorrädern bis hin zu drei- und vierrädrigen kleinen Autos.



Elektrische Leichtfahrzeuge können flexibel eingesetzt werden und verursachen weniger klimaschädliche Emissionen.

DER MOND KOMMT NACH KÖLN

Auf dem DLR-Gelände in Köln wird in Kürze der Aufbau der Test- und Trainingseinrichtung LUNA beginnen. Hier sollen Astronautinnen und Astronauten ausgebildet werden, die zum Mond fliegen werden. In der 700 Quadratmeter großen und 9 Meter hohen Halle werden die besonderen Umweltbedingungen des Mondes realitätsnah simuliert: Künstlicher Mondstaub, sogenannter Regolith, wird den kompletten Boden der Halle bedecken, es werden mondähnliche Krater sowie Felsen vorhanden sein und es wird ein Kransystem geben, das die reduzierte Schwerkraft des Mondes simuliert. Ziel ist die Entwicklung von Technologien sowie das Training für Langzeitaufenthalte und den Betrieb einer Mondstation. LUNA ist ein Gemeinschaftsprojekt des DLR und der Europäischen Weltraumorganisation ESA, die in Köln das Europäische Astronautenzentrum (EAC) betreibt.



So soll es im Innern der Mond-Analog-Anlage LUNA aussehen.

DROHNEN MESSEN STRÖMUNG AN WINDENERGIEANLAGEN

Wind, der Windkraftanlagen umströmt, bildet Luftwirbel. Diese beeinflussen die Leistung, die die Anlagen ins Energienetz einspeisen können. Mit einem Schwarm von etwa 100 Drohnen erforscht das DLR im Projekt ESTABLIS-UAS diese Strömungsphänomene. Ziel ist es, die dreidimensionalen, turbulenten Strukturen und damit die Lasten zu verstehen, die auf die Anlagen einwirken. Die kleinen Drohnen fliegen in einer festgelegten Formation und messen Windigenschaften, Temperatur und Luftfeuchtigkeit direkt an der Anlage. Mit den Messergebnissen entsteht ein Modell, das die Anordnung von Windkraftanlagen verbessern kann. ESTABLIS-UAS steht für Exposing spatio-temporal Structures of Turbulence in the Atmospheric Boundary Layer with In-Situ measurements by a fleet of Unmanned Aerial Systems. Das Projekt wird vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre geleitet und im Rahmen des ERC Starting Grants vom Europäischen Forschungsrat (ERC) gefördert.



Ein erster Test zur Messung der Strömungsphänomene mit 20 Drohnen verlief bereits erfolgreich.

SATELLITEN ZEIGEN DEUTSCHLANDS BAUMVERLUSTE

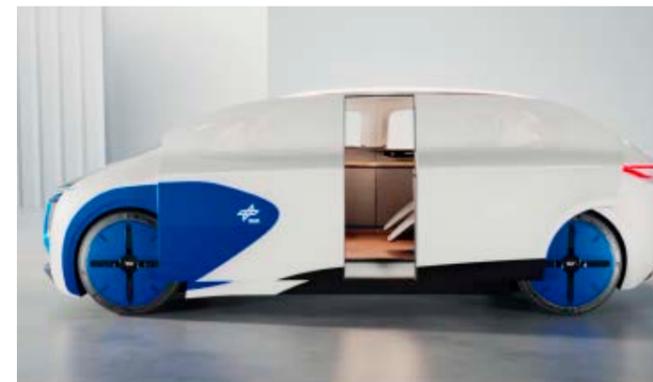
DLR/Thornfeld



Mit schwerer Technik werden die von Borkenkäfern betroffenen Wälder kahlgeschlagen. Außer Ästen und Zweigen wird in aller Regel nichts zurückgelassen.

Gesunde Bäume tragen eine satte dichte Krone. Beim Spazierengehen durch den Wald fällt jedoch auf, dass die grünen Dächer insgesamt recht licht sind. In den letzten Jahren zeigen sich auch vermehrt kahlgeschlagene Flächen. Wie groß der Verlust durch abgestorbene und entnommene Bäume ist, zeigten DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler anhand von satellitengestützten Erdbeobachtungsdaten. Die Ergebnisse sind alarmierend: Von Januar 2018 bis einschließlich April 2021 wurden in Deutschland auf rund 501.000 Hektar Fläche Baumverluste verzeichnet. Das entspricht fast fünf Prozent der gesamten Waldfläche und ist damit erheblich höher als bisher angenommen. Als Auslöser gelten vor allem die ungewöhnlich starken Hitze- und Dürreperioden in diesen Jahren, die wiederum den Befall durch Schadinsekten begünstigt haben.

AUF LANGER STRECKE NACHHALTIG UND BEQUEM UNTERWEGS



Das Interurban Vehicle des DLR

Mit dem Interurban Vehicle (IUV) hat das DLR ein zukunftsweisendes Konzept für Fahrzeuge der Mittel- und Oberklasse entwickelt. Es ist fünf Meter lang, zwei Meter breit und bietet Platz für fünf Personen. Das IUV kombiniert Brennstoffzelle, Batterie und neue Ansätze für das Energiemanagement. So soll es emissionsfreies und bequemes Fahren über lange Strecken von bis zu 1.000 Kilometern ermöglichen. Autonome Fahrfunktionen entlasten die Fahrenden und erlauben neue Freiheiten bei der Gestaltung des Innenraums. Durch die geschickte Kombination unterschiedlicher Leichtbau-Ansätze wiegt das IUV mit Energiespeichern im leeren Zustand weniger als 1.600 Kilogramm. Gleichzeitig bietet es einen sehr hohen Sicherheitsstandard. Das IUV ist Teil des Großprojekts Next Generation Car. Darin entwickeln insgesamt 20 DLR-Institute gemeinsam Technologien für Straßenfahrzeuge der übernächsten Generation.

REGIONALMELDUNGEN:

BERLIN: Vom 22. bis 26. Juni findet auf dem Berlin ExpoCenter Airport die Internationale Luft- und Raumfahrttausstellung ILA statt. Der DLR-Stand mit der Nummer 310 befindet sich in Halle 6. Außerdem ist das DLR im Space Pavilion (Halle 6) und auf dem Static Display vertreten.

NEUSTRELITZ: Auf dem diesjährigen International Space Weather Camp, das im Juni und August am Standort stattfindet, beschäftigen sich Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler mit den theoretischen Grundlagen der Weltraumwetterforschung sowie deren Anwendungen. Darüber hinaus wird am 1. Juli die neue Triband-Antenne ihren operationellen Betrieb am Standort aufnehmen.

KÖLN: Das DLR-Institut für Softwaretechnologie arbeitet gemeinsam mit der NASA an einer Software-Bibliothek, mit der das Potenzial von Quantencomputern für Anwendungen aus der Luft- und Raumfahrt untersucht werden kann. Das können beispielsweise die Routenoptimierung von transatlantischen Flügen, eine Zuweisung von Flugzeugen an großen Flughäfen oder die Planung von Satellitenmissionen sein.

BONN: Alle drei Jahre richtet die europäische Weltraumorganisation ESA zusammen mit dem DLR das Living Planet Symposium aus. Im Fokus stehen dabei die Arbeiten beider Organisationen zur satellitengestützten Erdbeobachtung. Mit modernen Erdbeobachtungssatelliten können Messdaten erfasst werden, die den Zustand des Planeten beschreiben. Beispielsweise der Sauerstoffgehalt der Ozeane oder die Gesundheit der Waldgebiete. Das Symposium findet vom 23. bis 27. Mai statt.

OLDENBURG: Das Institut für Vernetzte Energiesysteme hat eine Open-Source-Analysesoftware für den Strommarkt der Zukunft veröffentlicht. AMIRIS (Agent-based Market model for the Investigation of Renewable and Integrated energy Systems) untersucht das Verhalten der Akteure des Strommarktes unter verschiedenen energiepolitischen Regularien. So lassen sich die Rahmenbedingungen für eine wirksame und wirtschaftliche Energiepolitik ermitteln.

HANNOVER: Vom 30. Mai bis 2. Juni findet die Hannover Messe statt, wo Technologien und Ideen für die Transformation der Industrie mit den Schwerpunkten Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Dekarbonisierung präsentiert werden. Der DLR-Stand D18 in Halle 13 gibt Einblick in das Thema erneuerbare Prozesswärme, stellt den Forschungspark Windenergie vor und zeigt Beispiele für erfolgreichen Technologietransfer.

OBERPFAFFENHOFEN: Um zu untersuchen, wie Menschen in Zukunft sicher auf dem Mond landen können, testete ESA-Astronaut Roberto Vittori verschiedene Landemanöver im DLR Robotic Motion Simulator. Die Anlage wurde am Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik entwickelt und erlaubt extreme Neigewinkel und Manöver. In dem ESA-Projekt werden Mensch-Maschine-Schnittstellen und Assistenzfunktionen für Raumfahrzeuge bewertet.

DLR.DE: MELDUNGEN AUF UNSERER WEBSITE

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

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

ERST RECHNEN, DANN FLIEGEN

Wie das virtuelle Triebwerk die Luftfahrtforschung bereichern kann

Gespräch mit Stanislaus Reitenbach und Dr. Kai Becker

Das Triebwerk ist das Herz eines jeden Flugzeugs, ohne wäre es unmöglich die schweren Hightech-Vögel in den Himmel zu heben. Schon seit Jahrzehnten arbeiten die DLR-Luftfahrt-Institute daran, es stetig zu verbessern. Doch seit geraumer Zeit verändert sich der Fokus der Forschung: Die beiden DLR-Wissenschaftler Stanislaus Reitenbach und Dr. Kai Becker sind sich sicher, dass die zukünftige Luftfahrt nicht ohne Simulationen und digitale Modelle auskommen wird – besonders beim Triebwerk. Stanislaus Reitenbach arbeitet in der Abteilung Triebwerk des Instituts für Antriebstechnik in Köln, während Kai Becker sich am Institut für Test und Simulation für Gasturbinen mit Aspekten einer dafür notwendigen Plattform beschäftigt. Im DLRmagazin sprechen sie darüber, wofür man das virtuelle Triebwerk braucht und wie es in das reale Flugzeug gelangt.



Darstellung eines virtuellen Triebwerks

Was kann ich mir unter einem virtuellen Triebwerk vorstellen?

Reitenbach: Wie viele andere Branchen befindet sich auch das Segment Luftfahrt im Wandel zur Digitalisierung. Dabei werden die komplexen Systeme der realen Welt, wie das Triebwerk, in die virtuelle Welt überführt. Das virtuelle beziehungsweise digitale Triebwerk beinhaltet alle geometrischen und physikalischen Merkmale eines Antriebssystems. Um es zu „bauen“, nutzen wir computergestützte Entwurfswerkzeuge und numerische Simulationsmethoden. Und wir berücksichtigen alle Disziplinen, also zum Beispiel Aerodynamik, Strukturmechanik und Thermodynamik. Wir verstehen es als eine Plattform, mit der wir disziplinübergreifende Fragestellungen beantworten können. Mit ihr können wir das gesamte System kontinuierlich berechnen und bewerten. Letztendlich soll es alle Stufen des Lebens- und Entwicklungszyklus eines realen Triebwerks widerspiegeln.

Es spielen also viele Fachdisziplinen in die Konstruktion mit hinein. Für wen ist ein solches Modell interessant?

Becker: Das hängt von der Fragestellung ab. Generell kann man sagen: Für alle, die mit einem Triebwerk zu tun haben – sei es in der Entwicklung

über die Produktion bis hin zur Erprobung und Zertifizierung, da gehören auch Fertigung, Vertrieb und Wartung dazu. Wir sehen auch starkes Interesse seitens der Industrie an diesem Produkt. Alle bekannten Triebwerkshersteller beschäftigen sich mit diesem Bereich. Wie das virtuelle Triebwerk dann letztendlich aussieht, ist abhängig davon, welche Informationen für den Nutzer oder die Nutzerin interessant sind. Unterschiedliche Methoden haben verschiedene Detailgrade: Es gibt aufwändige 3D-Berechnungen oder weniger detaillierte Leistungsrechnungen. Diese Informationen fügen wir zusammen und erstellen das individuell passende Modell.

Das bringt mich zu der Frage, wie der aktuelle Stand der Forschung ist.

Reitenbach: Obwohl das Thema noch ziemlich neu ist, gibt es schon wegweisende Entwicklungen. Das DLR arbeitet an disziplinübergreifenden Simulationsverfahren, die hochgenaue Vorhersagen zu verschiedenen Aspekten des Antriebssystems machen können und schon jetzt in der Industrie für echte Produkte eingesetzt werden. Darüber hinaus haben wir eine Plattform entwickelt, auf der verschiedene Forschungsbereiche gemeinsam an einem Modell mit einheitlicher Datenbasis

arbeiten können. Um alles zusammenzubringen, haben wir im DLR den Fachausschuss Virtual Engine, FAVE, gegründet. Hier beraten die DLR-Luftfahrt-Institute über die weitere Entwicklung in diesem Bereich.

Becker: An vielen verschiedenen Themenfeldern forscht das DLR schon seit Jahrzehnten. Das Neue ist, dass wir die gemeinschaftliche Bearbeitung in den Fokus stellen und die Produktphasen untereinander verknüpfen wollen. Nicht umsonst hat das DLR in den letzten Jahren Institute gegründet, die sich auf den Bereich virtuelles Triebwerk fokussieren: Neben dem Institut für Test und Simulation für Gasturbinen auch die Institute für Elektrifizierte Luftfahrtantriebe, für Instandhaltung und Modifikation oder für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung. Durch die digitale Plattform ändert sich zudem auch die Arbeitsweise: Wir entfernen uns von einer klassischen sequenziellen Abarbeitung, bei der man mit der ersten Phase beginnt, zum Beispiel dem Vorentwurf, wenn diese abgeschlossen ist, folgt die zweite Phase, also der Detailentwurf. Nun arbeiten die einzelnen Disziplinen eng zusammen, mehrere Prozesse laufen parallel und die Informationen werden über die Phasen hinweg ausgetauscht und gespeichert. Außerdem können wir auf bestehende Informationen zugreifen, wenn ein neues Triebwerk entwickelt werden soll. Das ist eine sehr spannende Entwicklung.

Gibt es Beispiele, wo das virtuelle Triebwerk schon eingesetzt wird?

Becker: In meinem und anderen Instituten haben wir Prüfstände, zwar nicht für das ganze Triebwerk, aber für Komponenten. Von diesen Komponenten möchten wir ein virtuelles Abbild haben, um Test und Simulation miteinander vergleichen zu können. Die Modelle können wir dann auf das Gesamtsystem übertragen und sehen, welche Wechselwirkungen zwischen den Komponenten auftreten und welche Auswirkungen sie haben.

Reitenbach: Das DLR baut keine Triebwerke, aber es unterstützt schon jetzt sowohl die Industrie als auch seine Forschungsbereiche in allen Phasen des Produktlebenszyklus, also sowohl bei dem Entwurf als auch bei der Fertigung durch Methoden des virtuellen Triebwerks. Neben den Prüfständen beschäftigen sich auch Forschungsgruppen mit vorausschauenden Wartungsprozessen oder dem digitalen Zwilling. Aber auch in der Industrie ist das Thema virtuelles Triebwerk allgegenwärtig, das zeigen zahlreiche Kooperationen und gemeinsame neue Projekte, die in den vergangenen Jahren ins Leben gerufen wurden.



Dr. Kai Becker sieht in der stärkeren Vernetzung der beteiligten Institute eine wichtige Voraussetzung für das Thema virtuelles Triebwerk.

„Das Neue ist, dass wir die gemeinschaftliche Bearbeitung in den Fokus stellen und die Produktphasen miteinander verknüpfen wollen.“

Dr. Kai Becker

Wie wird das virtuelle Triebwerk eigentlich mit dem realen verknüpft?

Reitenbach: Letztendlich gelangt es nur indirekt in das reale Flugzeug. Dabei stehen vor allem zwei Aspekte im Vordergrund: der ökologische sowie der ökonomische Nutzen. Neue leistungsfähige numerische Verfahren und deren Einsatz im virtuellen Modell des gesamten Antriebssystems helfen, reale Triebwerke hinsichtlich Energieverbrauch oder Wartbarkeit zu verbessern. Auf der anderen Seite, und das ist der ökonomische Nutzen, ermöglichen uns die innovativen und hochvernetzten Prozesse des virtuellen Triebwerks, die langen und kostenintensiven Produktentwicklungszeiten mit sehr zeitaufwändigen und risikobehafteten Tests bis zur Markteinführung deutlich zu reduzieren.

Becker: Was sich wirklich lohnt, ist, sich die Wechselwirkungen zwischen verschiedensten Aspekten anzuschauen, seien es die Interaktionen zwischen Komponenten oder auch deren Auswirkungen auf den Gesamtwirkungsgrad, den Verbrauch oder Ähnliches. Diese kann man dann an den Zielen messen, die sich die Luftfahrt gesetzt hat, beispielsweise ökologischer zu werden.

Und gibt es auch Grenzen? Also Fragen, für die man das reale Triebwerk benötigt?

Reitenbach: Eins ist klar: Mit dem virtuellen Triebwerk werden wir in der Realität nicht fliegen. Obwohl die Simulationsverfahren und -methoden bereits viele physikalische Aspekte abbilden und voraussagen können, bleiben die Prüfstände, Versuche und Daten aus dem Betrieb essenziell, um die hohen Sicherheitsanforderungen auch in Zukunft

zu gewährleisten. Trotzdem kann das virtuelle Triebwerk dabei helfen, die immensen Kosten, die bei den realen Versuchen und den komplexen Wartungsprozessen entstehen, zu reduzieren. Das virtuelle Triebwerk ist kein Selbstzweck, sondern ein Mittel, um die ambitionierten Ziele der Luftfahrt zu erreichen.

Becker: Es ist ein virtuelles Abbild, also eine Sammlung von digitalen Informationen sowie von numerischen Verfahren. Dieses Abbild kann natürlich nur so gut sein wie die Qualität der Simulationstools, die verwendet werden. Um die numerischen Verfahren zu validieren, benötige ich experimentelle Daten. Diese kann ich nur von einem realen Triebwerk gewinnen.

FORSCHUNG AN ZUKÜNFTIGEN TRIEBWERKEN

Initiiert durch den FAVE (Fachausschuss Virtual Engine) und unter Beteiligung von elf Instituten startet das DLR im Bereich der Luftfahrt ab diesem Jahr das Projekt ADAPT (Assessment and Digitalization of forthcoming Propulsion Technologies). Im Verlauf der vierjährigen Projektlaufzeit (2022–2025) sollen dabei zwei Zielrichtungen verfolgt werden: der kollaborative, multidisziplinäre Entwurf von zukünftigen Triebwerkskonzepten und die damit verbundenen Studien zu den entsprechenden Schlüsseltechnologien sowie die Digitalisierung des Triebwerkssystems in Richtung der Vision einer „Virtual Engine“ mittels numerischer Simulationen und einer intelligenten Verknüpfung von Softwaretools.

DLR-INSTITUTE, DIE ZUM VIRTUELLEN TRIEBWERK BEITRAGEN KÖNNEN



Das hört sich nach einer schwierigen Aufgabe an. Was sind die nächsten Schritte? Wann wird das virtuelle Triebwerk als Werkzeug für Industrie und Forschung einsetzbar sein?

Reitenbach: Wir haben unsere Prüfstände und wir haben unsere virtuellen Methoden. In Zukunft müssen diese beiden Bereiche deutlich näher aneinanderrücken. Ein Begriff, der in diesem Zusammenhang immer wieder fällt, ist der digitale Prüfstand. Ich glaube, dahin führt die Reise: Heute sind wir bereits in der Lage, alle wichtigen Komponenten der Flugtriebwerke mit hochgenauen Simulationsverfahren interdisziplinär zu optimieren. Mit jedem weiteren Entwicklungsschritt, mehr integrativen Methoden und virtuellen Betriebsszenarien kommen wir dem effizienten, sicheren, leisen und nahezu klimaneutralen Antrieb näher. Bei der Lösung dieser äußerst herausfordernden Problemstellung wird uns das virtuelle Triebwerk extrem helfen.

Becker: Die hierfür entwickelten Konzepte und Ideen wollen wir zudem auch in verwandten Themenfeldern einsetzen.

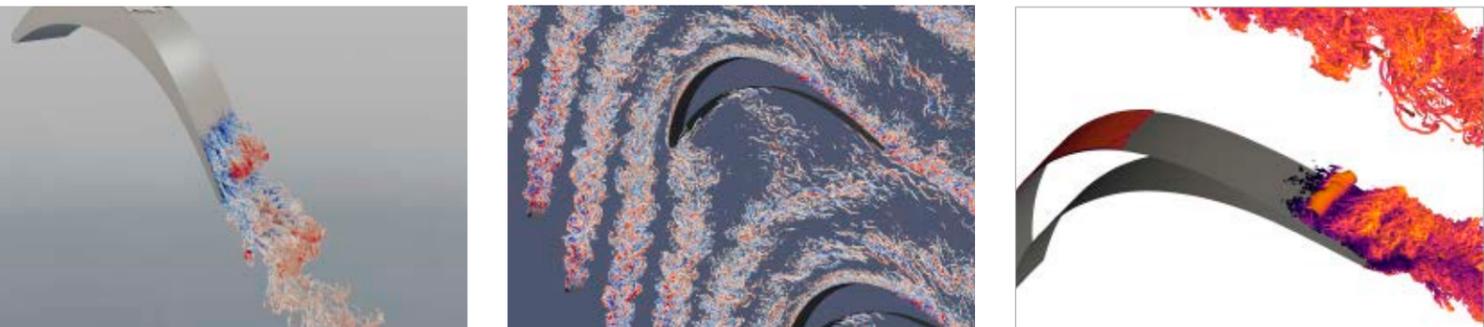
Die Fragen stellte **Dr. Anne Zilles**. Sie arbeitet in der Programmkoordination Digitalisierung und unterstützt im Auftrag der Luftfahrt den Fachausschuss Virtual Engine.

Stanislaus Reitenbach ist sich sicher, dass das virtuelle Triebwerk Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse drastisch verändern wird und dabei hilft, die hochgesteckten Ziele der Luftfahrtindustrie zu erreichen.



„Das virtuelle Triebwerk ist kein Selbstzweck, sondern ein Mittel, um die ambitionierten Ziele der Luftfahrt zu erreichen.“

Stanislaus Reitenbach



Die Software TRACE wurde am DLR-Institut für Antriebsstechnik entwickelt und ermöglicht numerische Experimente und tiefgreifende Analysen von Turbomaschinenströmungen.

WO NULLEN UND EINSEN FLIEGEN LERNEN

In Hamburg entsteht eine digitale Fabrik für zukünftige Flugzeuge
von Dr. Björn Nagel



Bevor es in die Umsetzung geht, werden neue Entwürfe für Flugzeuge oder Teile der digitalen Fabrik in der Virtual-Reality-Umgebung getestet.

Wenn Hersteller wie Airbus ein neues Flugzeug planen, geschieht das hinter verschlossenen Türen. Die Konkurrenz soll natürlich nicht mitbekommen, welche bahnbrechenden Technologien verbaut werden. Folglich wird es für Zulieferer und Forschung schwer, die aktuelle Entwicklung mit ihren Ideen zu unterstützen. Um diese Situation zu ändern, arbeiten DLR und Airbus gemeinsam in Hamburg-Finkenwerder an einer Fabrik, in der neue Konzepte und Technologien für Flugzeuge bewertet und getestet werden sollen. Das Besondere an ihr: Sie passt auf wenige Quadratmeter, denn sie ist digital.

Wasserstoff oder synthetisches Kerosin? Die Frage, mit welchem Energieträger zukünftige Flugzeuge angetrieben werden, ist eine der drängendsten in der Luftfahrt. Die physikalischen Größen wie Masse, Widerstand, Energieeffizienz oder Klimawirkung, die wichtig sind, um die Frage aus flugmechanischer Sicht zu betrachten, werden bereits im Zusammenspiel der Fachinstitute des DLR berechnet. Doch die Parameter allein erlauben keine Aussage über das tatsächliche Potenzial einer Technologie. Das hängt auch davon ab, wie wirtschaftlich sie als industrielles Produkt produziert werden kann.

Simulationen dienen als Blick in die Zukunft

Wie aufwändig es ist, die Fertigungsprozesse von Verkehrsflugzeugen auf neue Technologien anzupassen – beispielsweise veränderte Tanks oder Antriebe –, lässt sich nicht zuverlässig bewerten. Dazu sind die Fertigungssysteme viel zu komplex. Hinzu kommt, dass die Randbedingungen der industriellen Produktion teilweise der Geheimhaltung unterliegen. Entsprechend können Forscherinnen und Forscher die exakten Anforderungen nur teilweise in ihrer Arbeit berücksichtigen. Im Rahmen

des Projekts Effizienzsteigerung in der Produktionsplanung und -Steuerung durch Präskriptive Analytik (EPSIA), das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert wird, entwickeln das DLR und der Flugzeughersteller Airbus gemeinsam eine digitale Fabrikumgebung. In dieser Digital Launch Factory kann das DLR als virtueller Hersteller die Industrialisierbarkeit neuer Luftfahrzeuge bewerten.

Energieeffizient und klimaneutral

Ein Ziel, das sich die deutsche Bundesregierung im Einklang mit dem Green Deal der Europäischen Kommission gesetzt hat, ist, den Klimaschutz im Luftverkehr wirksam umzusetzen und die dafür notwendigen Technologien zur Marktreife zu bringen. Bis 2050 soll der Luftverkehr klimaneutral und nachhaltig sein. Dazu sollte der Energieverbrauch der Flugzeuge bis dahin halbiert werden. Das bedeutet auch, dass sich zukünftige Flugzeugkonfigurationen deutlich von ihrem heutigen Aussehen unterscheiden werden. Für die äußere Form können das etwa höher gestreckte Flügel oder neue Antriebskonzepte sein. Der innere Aufbau muss Platz für klimaneutrale Technologien wie Wasserstofftanks, Brennstoffzellen und Batterien bieten. Klimaschutz endet aber nicht bei innovativen Flugzeugkonzepten, die neue Technologien und Bauweisen erfordern, auch die Produktion selbst soll grüner werden: Sie liefert mit energieeffizienten und nachhaltigen Fertigungsprozessen einen wichtigen Beitrag. Deshalb erstellt das



So könnte ein zukünftiges Flugzeug mit Wasserstofftanks (in Blau) aussehen.



In der digitalen Fabrik des DLR werden Konzepte zur klimaneutralen Fertigung neuer Flugzeugkonfigurationen erforscht.

Team der Digital Launch Factory unter anderem Simulationen für die Montage der wichtigsten Flugzeugkomponenten. Diese können an verschiedene Konfigurationen angepasst werden. Die Berechnungen zeigen auch, inwiefern Energie- und Materialaufwände sinken oder steigen beziehungsweise inwieweit ein geschlossener Materialkreislauf realisiert werden kann. Werden neue Produktarchitekturen oder Fertigungsverfahren entwickelt oder vorhandene modifiziert, können neue Simulationen in die virtuelle Fabrik eingebunden werden. Daran forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beispielsweise im DLR-Querschnittsprojekt Factory of the Future (FOF-X).

Agile und modulare Fertigung

Das Team in Hamburg legt einen Schwerpunkt auf industrielle Aspekte, die dem deutschen Wertschöpfungsanteil heutiger Luftfahrtprodukte entsprechen – beispielsweise die Integration von Kabine und Systemen in den Flugzeugrumpf. Bisher wird zunächst der Rumpf gefertigt, dann werden die Subsysteme integriert und zum Schluss die Kabinenmodule montiert. Bei einem Ansatz, den die DLR-Forscherinnen und -Forscher verfolgen, werden die Subsysteme in vormontierte Baugruppen der Kabine integriert. Ein Beispiel dafür ist das Crown-Modul, das alle Systeme und Kabinenkomponenten oberhalb der Fensterreihe beinhaltet. Dazu gehören die Gepäckablage, das Deckenpanel und die Rohre der Klimaanlage. Der Zulieferer verschickt die vorgefertigten Module, wodurch sich auch die Anzahl der Bauteile reduziert, die zeitgleich in das Flugzeug eingebaut werden müssen. Da nicht abgewartet werden muss, bis der Rumpf fertig produziert ist, verkürzt sich die Montagezeit im Flugzeug mit dieser neuen Methode erheblich. Auch die Zeit für das aufwändige Ausrichten der einzelnen Verkleidungselemente wird verringert. Somit beeinflusst das Design der Flugzeugkabine unmittelbar die Produktionsweise. DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler forschen daran, Kabinen unter den Randbedingungen einer effizienten Industrialisierung so zu gestalten, dass sie sicher, komfortabel und individualisierbar sind (Artikel zum Thema im DLRmagazin 167). Für Herstellerfirmen ist die Individualisierbarkeit der Kabinen ein entscheidendes Verkaufsargument.



MELDUNGEN



DAS DLR-INSTITUT FÜR SYSTEM-ARCHITEKTUREN IN DER LUFTFAHRT

In Hamburg arbeiten derzeit 60 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter daran, wie neue Luftfahrzeuge und deren Komponenten in Zukunft leistungsfähiger, effizienter und sicherer werden können. Im Fokus ihrer Forschung steht das „virtuelle Produkt“, bei dem alle Eigenschaften des Flugzeugs über Entwurf, Erprobung, Herstellung und Zertifizierung virtuell dargestellt werden. Bei diesem Verfahren werden verschiedene Teilsysteme zu einem Gesamtsystem miteinander gekoppelt. Die Kombination der Teilsysteme wird als Systemarchitektur bezeichnet. In ihrer Arbeit untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowohl die einzelnen Systeme als auch deren Wechselwirkungen.

Aber in der Digital Launch Factory ist nicht alles digital: Teilspekte werden real im Labor aufgebaut – gemeinsam mit Airbus, Diehl und anderen Industriepartnern im Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung Hamburg (ZAL). Dazu gehört eine robotergestützte Vormontagestation. Hier testen die Fachleute, wie kollaborative Roboter die Systeme automatisiert in die Baugruppenmodule einbauen. Die Ergebnisse fließen direkt in die Algorithmen der digitalisierten Fabrik. Das ist ein erster Schritt in Richtung Industrie 4.0, bei der virtuelle und reale Welt miteinander vernetzt sind. In gemeinsamen Projekten mit Europas größten Flugzeugherstellern lassen sich die Baugruppen, wie das Crown-Modul, zunächst real und automatisiert vormontieren und die Abläufe dann mithilfe der virtuellen Fabrik auf die gesamte Produktion hochskalieren. Die reale Vormontage im Vorfeld ist wichtig, damit die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die digitale Fabrik mithilfe dieser Daten validieren können.



Wechselseitiger Austausch im gesamten Lebenszyklus

Ein weiteres Ziel der Digital Launch Factory ist es, Expertinnen und Experten vom Entwurf bis zur Produktion zu vernetzen. Werden der Entwurf eines Produkts und dessen Produktion in allen Entwicklungsphasen simultan betrachtet, spricht man von Co-Design. Es minimiert aufwändige Nachbesserungen des Produktdesigns während der Fertigung. Außerdem betrachtet die Methode Fertigungsaspekte schon im Entwurf neuer Flugzeugkonfiguration. Die Vorteile des Co-Designs machen es zu einem zentralen Forschungsthema in der deutschen Luftfahrtindustrie. Im Zuge der Digitalisierung werden Daten, Modelle und Werkzeuge konsequenter verwendet.

Die Digital Launch Factory ist ein entscheidender Baustein, mit dem das DLR die Luftfahrt als Gesamtsystem modellieren und erforschen kann. Revolutionäre Änderungen wie das klimaneutrale Fliegen können nur dann effizient umgesetzt werden, wenn Entwurf, Industrialisierung und Betrieb synergetisch aufeinander abgestimmt sind. Dazu ist der erste Schritt für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Hamburg, alle relevanten DLR-Institute sowie die Industriepartner an einen Tisch zu bringen und dort gemeinsam die Wechselwirkungen zwischen dem Produkt Flugzeug und dessen Fertigung genau unter die Lupe zu nehmen.

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

Im A319-Mockup werden verschiedene Ein- und Ausbauszenarien und die Methoden zur Virtualisierung der Realität wie 3D-Scanning erprobt.

EIN KONTROLLZENTRUM STATT MEHRERER FLUGHAFENTOWER

An kleinen Flughäfen steigt die Auslastung an Wochenenden oft deutlich an. Das sorgt gerade bei Fluglotsinnen und -lotsen für hohe Belastungen. Sogenannte Remote-Tower-Center könnten Abhilfe schaffen und die Flugsicherung revolutionieren. Statt der heute an Flughäfen üblichen Tower würden Kontrollzentren, an die mehrere Flughäfen zur Fernüberwachung angeschlossen sind, die Flughäfen überwachen. Dort besteht ein ganzer Pool von Lotsinnen und Lotsen, die je nach Bedarf flexibel eingesetzt werden. Das DLR und das Unternehmen Frequentis bauten Ende 2021 im Institut für Flugführung einen Remote-Tower-Center-Prototypen auf, von dem aus litauische und polnische Fluglotsen aus der Ferne insgesamt 15 simulierte Flughäfen überwachten. Der Testlauf zeigte, dass die breite Fernüberwachung von Flughäfen aus einem Kontrollzentrum funktioniert. Die Herausforderung bestand darin, die unterschiedlichen Flughäfen optimal dem Fachpersonal sowie den vorhandenen Arbeitsplätzen zuzuweisen. Hierzu wurden im Rahmen des europäischen Projekts Digital Technologies for Tower digitale Planungstools entwickelt und getestet.



Das Remote-Tower-Center am DLR-Institut für Flugführung in Braunschweig



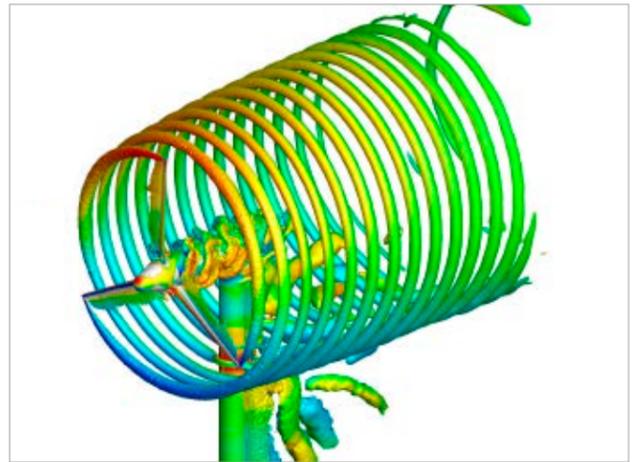
Visualisierung des Demonstrationsflugzeugs Dornier 328 mit Wasserstoff-Brennstoffzelle

DEMONSTRATIONSFLUGZEUG FÜR BRENNSTOFFZELLENTECHNOLOGIE

Die klimaneutrale Luftfahrt von morgen benötigt CO₂-freie Antriebstechnologien. Für Regionalflugzeuge, wie eine zukünftige 40-Sitzer-Klasse, könnten dies wasserstoffelektrische Antriebe mit Brennstoffzellen sein. Im Projekt 328H2-FC entwickeln H2FLY, Deutsche Aircraft, Diehl Aviation sowie sechs weitere Partner unter der Leitung des DLR ein Brennstoffzellen-System mit eineinhalb Megawatt Leistung für den Einsatz in der Luftfahrt. Dazu wird erstmals ein Flugzeug vom Typ Dornier 328 für den wasserstoffelektrischen Passagierflug umgerüstet. Das DLR verantwortet den Brennstoffzellenteststand, das Tanksystem, dessen Erprobung sowie die Schnittstelle zwischen Brennstoffzellen und Tanksystem ebenso wie die Brennstoffzellen-Einhausung mit integrierten Sensoren, Sicherheitskomponenten und deren Kühlung. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz mit rund 30 Millionen Euro gefördert.

NEUER SUPERCOMPUTER IN GÖTTINGEN

Gemeinsam mit der Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung in Göttingen hat das DLR das Rechencluster Caro in Betrieb genommen. Der Superrechner erreichte beim Probetrieb eine Leistung von 3.460 TeraFLOPS, also 3.460 Billionen Berechnungen pro Sekunde. Damit belegt er in der Liste der 500 schnellsten Computersysteme der Welt Rang 135. Caro soll künftig komplizierte Modellrechnungen durchführen und wird dabei von Forschenden aus allen großen Arbeitsbereichen des DLR genutzt. Beispielsweise werden im Projekt Amadeus zur Untersuchung von Instabilitäten in Raketebrennkammern komplexe thermochemische Vorgänge simuliert. Im Bereich Verkehr wird das Caro-Cluster für die Optimierung der Belüftung von Passagierabteilen in Hochgeschwindigkeitszügen genutzt. Die Schwester-Anlage Cara in Dresden ist seit 2020 im Einsatz.



Mit dem neuen Supercomputer Caro in Göttingen wird das DLR zum Beispiel die Luftströmung an künftigen Windkraftanlagen simulieren, um sie effizienter und leiser zu machen.

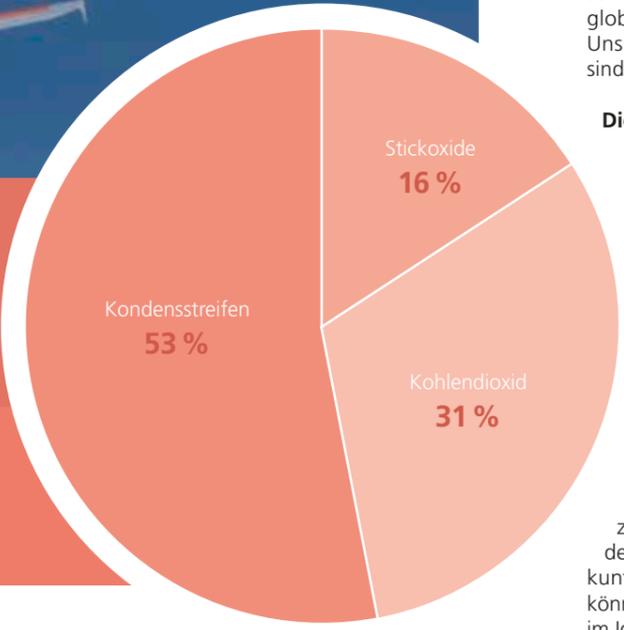


Prof. Dr. Christiane Voigt leitet die Abteilung Wolkenphysik im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen. Seit über zehn Jahren misst sie Flugzeugabgase und Kondensstreifen und leitet daraus Strategien für die klimafreundliche Flottenentwicklung ab. Sie ist außerdem Professorin für Atmosphärenphysik an der Universität Mainz.

SAUBERERER HIMMEL

Wie Flugzeuge durch geringen Partikelaustritt das Klima verbessern
Gespräch mit Prof. Dr. Christiane Voigt

Dass Kohlenstoffdioxid zur Klimaerwärmung beiträgt, ist schon lange bekannt. Laut dem Weltklimarat IPCC ist es das wichtigste anthropogene Treibhausgas. Auch wenn der Luftverkehr mit etwa zwei Prozent nur einen vermeintlich kleinen Anteil an den weltweiten CO₂-Emissionen hat, ist sein Beitrag zur globalen Klimaerwärmung deutlich höher. Die DLR-Wissenschaftlerin Prof. Dr. Christiane Voigt leitet die Abteilung Wolkenphysik am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre. Sie forscht mit ihrem Team an Kondensstreifen. Diese haben einen überraschend großen Einfluss auf die Klimawirkung des Luftverkehrs. Im DLRmagazin spricht die Wissenschaftlerin darüber, wie die eisigen Wolken den Bestrebungen, die Erderwärmung durch den Luftverkehr zu reduzieren, eine entscheidende und vor allem schnelle Wendung verleihen können.



Klimaauswirkungen durch den Luftverkehr

Laut einer internationalen Studie aus dem Jahr 2021, an der auch das DLR beteiligt war, trägt der globale Luftverkehr etwa vier Prozent zur menschengemachten Klimaerwärmung bei. Welche Aspekte sind dabei besonders relevant?

Den größten Anteil haben Kondensstreifen, sie tragen über die Hälfte zum gesamten effektiven Strahlungsantrieb und zur Klimaerwärmung bei. Danach folgen Kohlendioxid, das die Atmosphäre

erwärmt, und Stickoxidemissionen, die Ozon produzieren und so ebenfalls zur Erwärmung beitragen. Allerdings bilden die von Flugzeugen emittierten Partikel nur sehr selten Kondensstreifen, unabhängig davon können sie die Wolken beeinflussen. In welcher Weise das geschieht, müssen wir noch erforschen.

Wie wirken Kondensstreifen?

Sie halten terrestrische Wärmestrahlung in der Atmosphäre gefangen und bewirken damit eine Erwärmung. Am Tag verhindern sie, dass ein Teil der Sonnenstrahlung am Erdboden ankommt. Dieser abkühlende Effekt ist schwächer, sodass Kondensstreifen im globalen Mittel wärmend wirken. Es gibt allerdings noch große Unsicherheiten in der Klimaabschätzung, weil Wolken kurzlebig sind und sich sehr schnell verändern.

Die kurze Lebensdauer ist auch ein Vorteil, oder?

Ja, Kondensstreifen leben wenige Stunden, sie halten Energie also nur für kurze Zeit in der Atmosphäre gefangen. Nachdem sie sich aufgelöst haben, kann die Wärmestrahlung der Erde wieder ungehindert in den Weltraum abstrahlen und der wärmende Effekt verschwindet. Anders ist es bei der Erderwärmung durch Kohlendioxid. Das hat nämlich eine atmosphärische Lebensdauer von mehr als hundert Jahren.

Das wäre doch die Chance für den Luftverkehr, seine Klimawirkung schnell zu mindern ...

Eine Verringerung von Kondensstreifen hätte eine sofortige Wirkung. Bei CO₂ spricht man schon von einem Fortschritt, wenn sein Ausstoß in die Atmosphäre zum Beispiel durch effizientere Flugzeugtechnologien um einige Prozent gesenkt werden kann. Diese Maßnahmen bleiben natürlich auch für die Zukunft sehr wichtig, aber mit der Reduktion von Kondensstreifen könnte man den effektiven Strahlungsantrieb durch den Luftverkehr im Idealfall sogar halbieren.

Sind das neue Erkenntnisse?

Die zuvor erwähnte Klimastudie hat Kondensstreifen nicht einfach aus dem Hut gezaubert. Tatsächlich arbeiteten Forscherinnen und Forscher schon seit mehr als einem Jahrzehnt an einer gesicherten Bewertung des Strahlungsantriebs von Kondensstreifen. Im letzten Jahr wurden die Ergebnisse der verschiedenen Gruppen mit maßgeblicher Beteiligung von Kolleginnen und Kollegen des DLR veröffentlicht. Sie zeigen, welch großes Potenzial Kondensstreifen für einen klimafreundlichen Luftverkehr haben. Für mich sind sie die Joker im



strahl ausgestoßen werden. In Reiseflughöhen zwischen 8 und 14 Kilometer kühlt sich der Abgasstrahl schnell ab und bei Temperaturen unterhalb von minus 40 Grad Celsius bilden sich auf den winzig kleinen Rußpartikeln Eiskristalle. Solange die Atmosphäre kalt und eisübersättigt bleibt, wachsen die Kondensstreifen zu Kondensstreifenzirren, indem sie Wasserdampf aus der Umgebung aufnehmen. Wenn sich die Luft wieder erwärmt – im Mittel nach zwei bis vier Stunden – verdampfen die Eiskristalle und der Kondensstreifen löst sich auf.

Und welche Wege gibt es nun, diese Kondensstreifen zu verringern?

■ Dazu gibt es im Prinzip zwei unterschiedliche Möglichkeiten: Eine Strategie ist, die Regionen zu umfliegen, in denen sich besonders stark wärmende Kondensstreifen bilden. Dazu benötigt man sehr genaue Wettervorhersagen und hochaufgelöste Kondensstreifenmodelle. Die Qualität der Modelle gerade in Reiseflughöhen haben wir bei der CIRRUS-HL-Messkampagne im Sommer 2021 untersucht. Außerdem gibt es Pläne und erste Demonstrationsexperimente des DLR mit nationalen und europäischen Partnern, bei denen durch Flugroutenplanung Kondensstreifen gezielt vermieden werden sollen.

Eine andere vielversprechende Strategie ist die Reduzierung des Partikelaustrages der Flugzeuge. Mit unseren Flugzeugmessungen aus den DLR-Projekten Future Fuels und Eco2Fly konnten wir die direkte Verbindung zwischen der chemischen Zusammensetzung des Kraftstoffs, dem Rußpartikelaustrag, den Eisanzahlen in Kondensstreifen und ihrer Klimawirkung ableiten.

Welche Rolle können nachhaltige Kraftstoffe wie SAF spielen?

■ Zum einen haben nachhaltige Flugzeugkraftstoffe (SAF, Sustainable Aviation Fuels; siehe Kasten) einen geringeren CO₂-Fußabdruck, da sie aus nachwachsenden Rohstoffen produziert werden und dadurch einen Vorteil für das Klima besitzen. Außerdem führt ihr niedriger Aromat- und höherer Wasserstoffgehalt zu einem geringeren Rußpartikelaustrag im Vergleich zu konventionellen Treibstoffen. Unsere Messungen zeigen, dass sich bei Verbrennung von einem Treibstoffgemisch mit 50 Prozent Biotreibstoff die Rußemissionen und die Eispartikelanzahlen in Kondensstreifen etwa halbieren. Die Eiskristalle werden etwas größer, fallen schneller aus und haben eine kürzere Lebensdauer. Letztlich zeigen Klimasimulationen, dass dies die globale Klimawirkung von Kondensstreifen um etwa 20 Prozent verringert, regional werden deutlich höhere Klimagewinne erzielt. In einem neuen Projekt mit Airbus, Rolls-Royce und Nests untersuchen wir nun die Partikelreduktion bei der Nutzung von 100 Prozent SAF. Im November 2021 haben wir dazu Flugzeugmessungen in Toulouse gemacht. Die Ergebnisse sind vielversprechend.

Gibt es weitere Möglichkeiten, um den Partikelaustrag zu reduzieren?

■ Neben den nachhaltigen Bio-Kraftstoffen bieten sich synthetische Treibstoffe an. Sie werden mithilfe von alternativen Energieträgern hergestellt und versprechen ein großes Klimapotenzial, insbesondere, wenn man sie in Zukunft auch großtechnisch und kostengünstig

Emissionsmessungen des DLR-Forschungsflugzeugs Falcon hinter dem Airbus A319neo

Kartenspiel des Luftverkehrs. Diese neuen Erkenntnisse erfordern auch neue Denkweisen, die sich nach und nach in der Luftfahrt-Community durchsetzen. Bislang war die Politik eher darauf ausgerichtet, CO₂ zu reduzieren und hat entsprechende Maßnahmen gefördert. Und das bleibt weiter wichtig. Jetzt sollte ein Umdenken erreicht und Anreize geschaffen werden, damit die Reduktion von Kondensstreifen schnell und umfassend umgesetzt wird. Seitens der Industrie gibt es bereits ein deutliches Interesse daran.

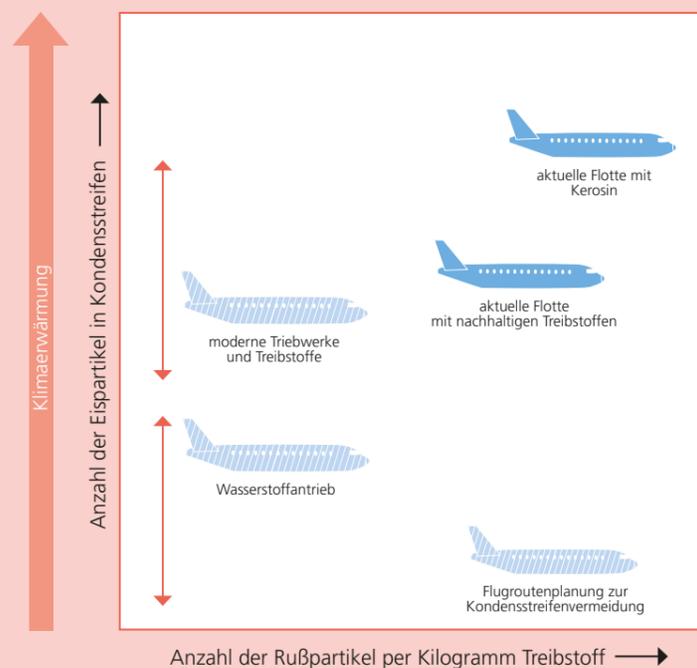
Wie können wir das Potenzial von Kondensstreifen nutzen?

■ Zunächst einmal müssen wir genau verstehen, wie sich Kondensstreifen bilden: Bei der Verbrennung von Kraftstoff entstehen im Triebwerk Rußpartikel und flüssige Aerosole, die mit dem Abgas-

WAS SIND SAF

Sustainable Aviation Fuels (SAF) sind synthetische, erneuerbare oder aus Abfällen gewonnene nachhaltige Flugkraftstoffe. Sie erfüllen sowohl Nachhaltigkeitskriterien als auch strenge technische Auflagen. Für ihre Herstellung werden verschiedene Ausgangsstoffe verwendet wie Pflanzenöle, Algen, Fette, Alkohole, Zucker, Wasserstoff oder abgeschiedenes CO₂. Die nachhaltigen Rohstoffe vermeiden einen hohen Verbrauch natürlicher Ressourcen und bewahren das ökologische Gleichgewicht. Nach seiner Verarbeitung erfüllt das Kohlenwasserstoffgemisch die gleichen technischen Anforderungen wie der konventionelle Flugzeugkraftstoff Kerosin. Die Verwendung von SAF kann den CO₂-Fußabdruck im Vergleich zu herkömmlichen Kraftstoffen auf Erdölbasis verringern und spielt daher eine wichtige Rolle bei der Erfüllung der Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele der Luftfahrtindustrie.

TECHNOLOGIEN FÜR EINE KLIMAFREUNDLICHE LUFTFAHRT



Rußpartikel sind die Vorläufer von Eispartikeln in Kondensstreifen, deren Klimawirkung sich mit steigender Partikelanzahl erhöht. Weniger Ruß- und Eispartikel wirken der Klimaerwärmung entgegen. SAF und andere saubere Luftfahrt-Kraftstoffe mindern sowohl Partikel als auch Kondensstreifen. Ihr Einsatz hätte schnell positive Effekte für das Klima und wäre zeitnah umsetzbar. Moderne Magerverbrennungstriebwerke reduzieren die Rußpartikelemission deutlich. Ihr Einfluss auf Kondensstreifen wird aktuell untersucht. Längerfristig könnten der Einsatz von neuen Wasserstoffantrieben (H₂-Verbrennung oder Brennstoffzelle) zur Vermeidung von CO₂ und Partikeln führen. Demzufolge versprechen sie Klimavorteile. Die Kondensstreifen, die durch solche Triebwerke entstehen, müssen dringend untersucht werden. Als Übergangslösung können Kondensstreifen durch gezielte Flugroutenplanung komplett vermieden werden. Hierfür sind hochaufgelöste Kondensstreifen-Modelle und eine geeignete Wettervorhersage erforderlich.

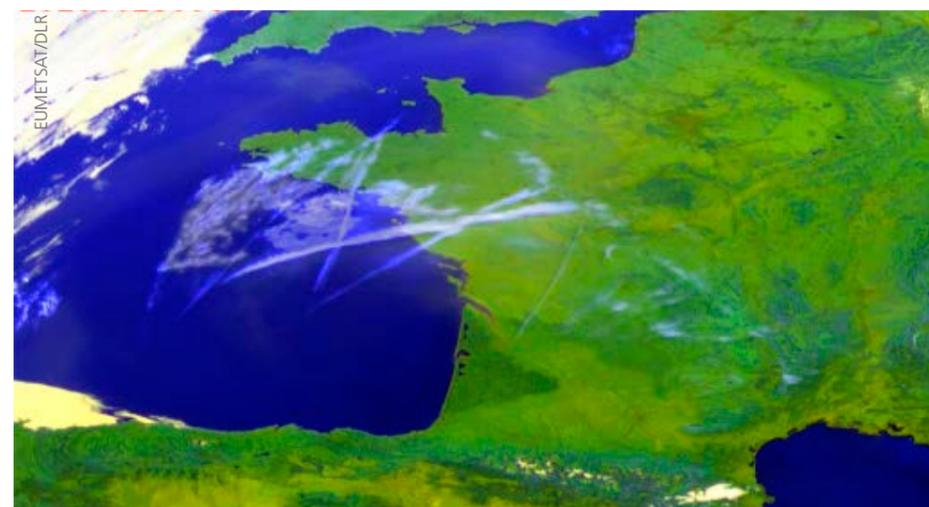
produzieren kann. Hieran forscht beispielsweise das DLR-Institut für Verbrennungstechnik. Während Europa und die USA sich eher auf SAF fokussieren, wird in Deutschland auch die Herstellung von synthetischen Treibstoffen gefördert.

Außerdem gibt es neue Triebwerkstechnologien, die weniger Partikel ausstoßen. Beispielsweise wird in Magerverbrennungstriebwerken die Brennkammer mit einer gleichmäßigeren Temperaturverteilung betrieben. Das führt dazu, dass weniger Stickoxide und Partikel ausgestoßen werden. Diese Triebwerke haben wir im Herbst 2021 mit Airbus und weiteren französischen Partnern untersucht. Unsere Messungen zeigen, dass diese Technologie den Ausstoß größerer Rußpartikel im Reiseflug sehr stark reduziert. Nun müssen wir herausfinden, welche Wirkung dieser Effekt auf Kondensstreifen hat.

Wie sieht es mit wasserstoffbasierten Technologien aus, sind sie der Antrieb der Zukunft?

■ Sowohl die Wasserstoff-Direktverbrennung in modifizierten Triebwerken als auch Brennstoffzellen haben den großen Vorteil, dass kein Kohlenstoffdioxid emittiert wird. Damit fällt mehr als ein Drittel der Erwärmung durch den Luftverkehr weg. Außerdem werden fast keine Partikel emittiert. Kondensstreifen bilden sich in großen Höhen voraussichtlich trotzdem aufgrund der Partikel, die sich sowieso in der Atmosphäre befinden. Wie groß diese Kondensstreifen aus Wasserstoffantrieben sind und welche Klimawirkung sie haben, ist eine der wichtigsten offenen Fragestellungen, die zur Auslegung einer zukünftigen klimaneutralen Flugzeugflotte beantwortet werden müssen. Wie in der Energiepolitik müssen auch in der Luftfahrt möglichst alle Potenziale optimal genutzt werden, um den idealen Weg für den zukünftigen klimaneutralen Luftverkehr zu finden. Das beinhaltet neben der Effizienzsteigerung zur Minderung der CO₂-Emissionen auch die gezielte Flugroutenplanung, die Nutzung von optimal gestalteten Treibstoffen und SAF sowie die Integration von Wasserstoff und neuen Flugzeugantrieben in die grüne Flugzeugflotte der Zukunft.

Die Fragen stellte **Julia Heil**, sie ist Redakteurin in der DLR-Kommunikation.



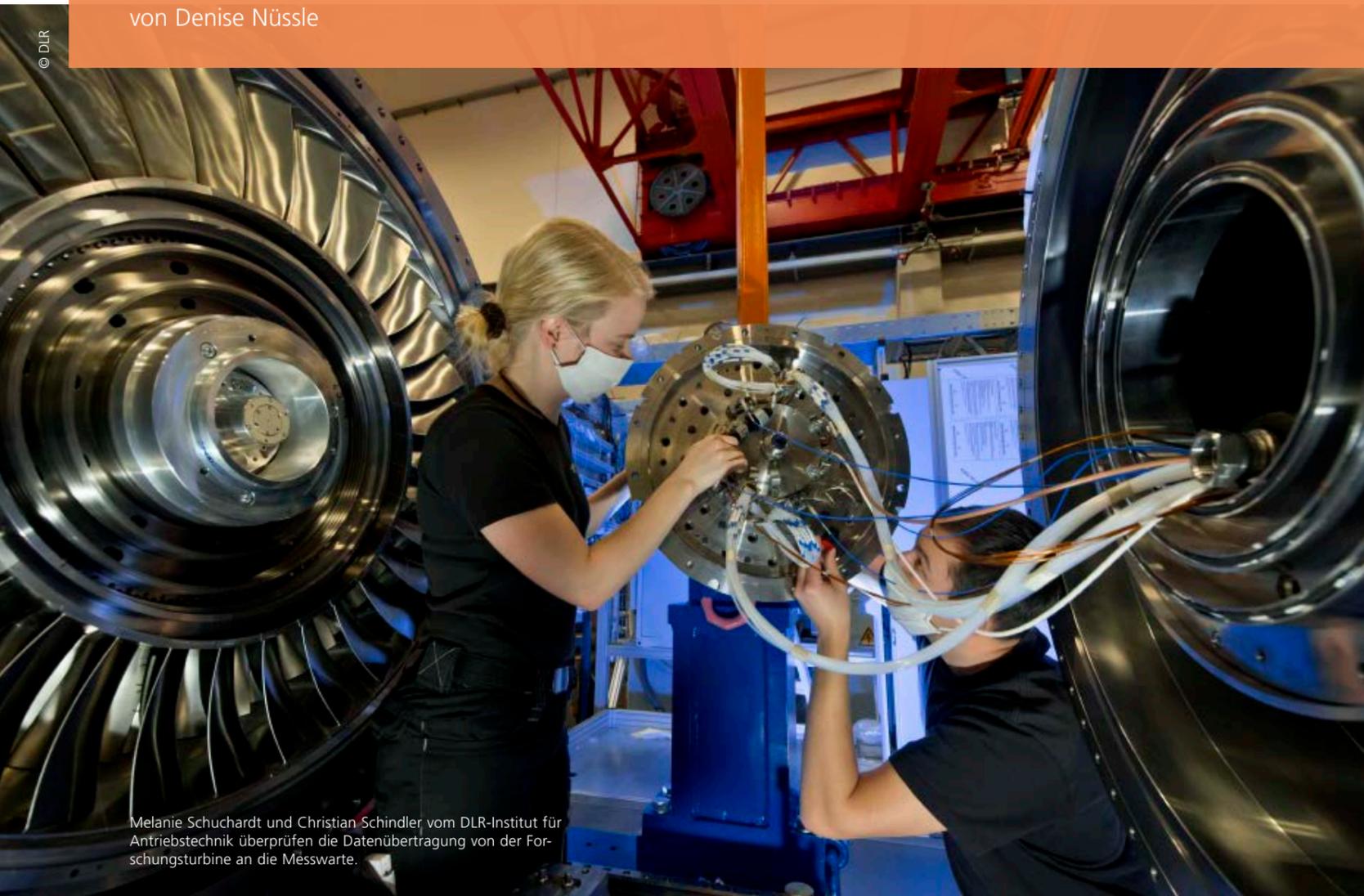
Satellitenbild einer großen Kondensstreifen-Zirren-Region über dem Atlantik am 23. Juni 2020

UPGRADE FÜR EINEN DAUERBRENNER

Ob Luftfahrt oder Energieversorgung – das DLR forscht an Turbinen der nächsten Generation

von Denise Nüssle

© DLR



Melanie Schuchardt und Christian Schindler vom DLR-Institut für Antriebstechnik überprüfen die Datenübertragung von der Forschungsturbine an die Messwerte.

Große und über 100 Tonnen schwere Gasturbinen in Kraftwerken zählen zu den leistungsstärksten Maschinen der Welt, sie können Millionenstädte mit Strom versorgen. Ihre wesentlich kleineren Geschwister sind speziell für den Einsatz in der Luftfahrt ausgelegt und gehören zu den zentralen Komponenten von Flugzeugtriebwerken. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am DLR-Institut für Antriebstechnik in Göttingen wollen dieser etablierten Technologie neuen und weiteren Schub geben. Ihr Ziel: Turbinen wesentlich effizienter, flexibler und mit unterschiedlichen, vor allem erneuerbaren Brennstoffen zu betreiben.

Innenleben der Forschungsturbine. Gut erkennbar sind die Statorschaufeln.



Grob vereinfacht nutzen Turbinen die Energie eines komprimierten, heißen Gasgemischs, um Rotorschaufeln anzutreiben. Im Kraftwerk wird diese Bewegungsenergie mithilfe eines Generators in Strom umgewandelt. Im Flugzeug nutzt man sie letztlich für den Vortrieb.

„Wir brauchen hochmoderne Turbinen in Gaskraftwerken als Technologie sowohl für die Energiewende als auch in der Luftfahrt, wo sie in Verbindung mit alternativen Kraftstoffen aktuell die einzige Möglichkeit darstellen, die Klima- und Umweltwirkung von Langstreckenflügen maßgeblich zu reduzieren. In beiden Anwendungsfeldern lässt sich zudem ihre Effizienz nochmals erheblich steigern“, fasst Prof. Christian Sattler, DLR-Bereichsvorstand Energie und Verkehr, zusammen.

Da sich Gaskraftwerke vergleichsweise schnell hochfahren lassen, werden sie in naher Zukunft zunehmend als Reserve dienen. Sie können kurzfristig Ausfälle bei der Stromproduktion aus erneuerbaren Ressourcen kompensieren und Lastspitzen zuverlässig abdecken. Damit tragen sie zu einer stabilen und sicheren Stromversorgung in einem Energiesystem bei, das zu einem immer größeren Anteil auf erneuerbaren, aber schwankenden Quellen wie Sonnen- und Windenergie beruht.

Mit Blick auf den Klima- und Umweltschutz hat die Turbinentechnologie einen weiteren Vorteil. Diesen kann sie im Energie- und Mobilitätssektor ausspielen: Ihr grundsätzliches Funktionsprinzip ist unabhängig von einem speziellen Brennstoff. Sie funktioniert also nicht nur mit Erdgas und Kerosin, sondern auch mit Biogas, synthetischen Kraftstoffen oder Wasserstoff – als Beimischung zu fossilen Brennstoffen oder zu 100 Prozent.

Mehr Flexibilität bei Betrieb und Kraftstoffen

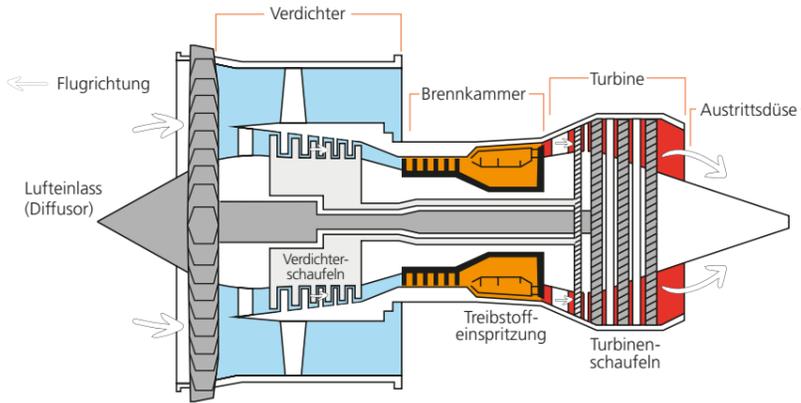
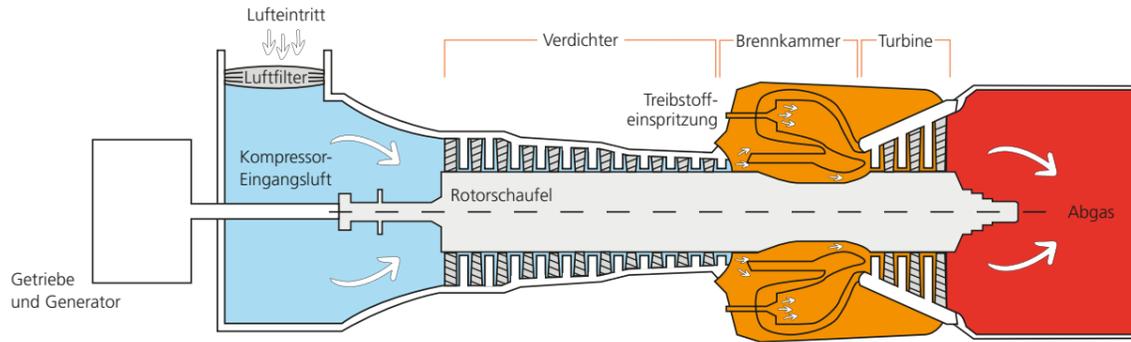
Die Wunschliste für die neuen Turbinen ist lang, ambitioniert und stellt hohe Anforderungen an Forschung und Entwicklung. Neben einem flexibleren Betrieb zählen dazu auch die Auslegung für unterschiedliche Brennstoffe, ein höherer Wirkungsgrad und weniger Emissionen. Vor allem für den Einsatz in der Luftfahrt sollen sie möglichst leise, kompakt und leicht sein. „Im Kraftwerksbereich war das Betriebsszenario bisher relativ überschaubar. Die Turbine wurde hochgefahren und lief dann lange, gleichmäßig und effizient auf höchster Leistung. Man hat genau den einen Betriebspunkt angesteuert, für den die Turbine ausgelegt und optimiert worden ist“, erklärt Frank Kocian. Er leitet am DLR-Institut für Antriebstechnik die Abteilung Turbine. „Mehr Flexibilität beim Betrieb heißt vor allem weg von der Dauerlast, sprich Turbinen müssen in Zukunft auch im Teillastbereich effizient und zuverlässig funktionieren“, so Frank Kocian.

Sollen in Zukunft unterschiedliche Brennstoffe zum Einsatz kommen, beeinflusst das die Brennkammer, die Turbine und das Zusammenspiel der beiden Komponenten erheblich. Brennstoffe unterscheiden sich hinsichtlich des Verbrennungsablaufs und der Verbrennungstemperatur. Beides beeinflusst das Strömungsverhalten des heißen Gases, Brennkammer wie Turbine müssen deshalb angepasst werden. Stärker in den Fokus rücken dabei vor allem die Prozesse zwischen den beiden Komponenten. Diese wollen die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler genauer untersuchen und besser aufeinander abstimmen.

Die Kühlung macht's

Generell müssen Turbinen einiges aushalten, genauer gesagt mechanische Belastungen bei extremen Temperaturen von bis zu 1.700 Grad Celsius. Je höher die Temperatur bei der Verbrennung, desto effizienter lässt sich die im heißen Gas gebundene Energie in Bewegungsenergie umwandeln. Allerdings ist die Kühlluft sehr teuer. „Deshalb gehen wir

STATIONÄRE GASTURBINE UND TURBINENSTRAHLTRIEBWERK IM VERGLEICH



mit ihr so sparsam wie möglich um“, erläutert Dr. Robin Brakmann, Gruppenleiter Wärmeübertragung. Die richtige Kühlung vor allem der Turbinenschaufeln ist eine der größten technologischen Schwierigkeiten und macht für Ingenieurinnen und Ingenieure die Faszination des Bauteils aus. Besonders interessieren sie sich dafür, wie sich die Kühlluft wirksam und effizient nutzen lässt.

Mit einem flexibleren Betrieb und unterschiedlichen Brennstoffen ändern sich auch bei der Kühlung viele Parameter. Verbrennt man beispielsweise Wasserstoff, wirkt auf die Turbinenschaufeln eine höhere Wärmebelastung durch den größeren Wasseranteil im Abgasstrahl. Je nach Brennstoff ändert sich auch die Strömung. Es können sich Wirbel und lokale Hotspots bilden, also Punkte, die besonders heiß werden. „Wir wollen unbedingt vermeiden, dass die Schaufeln überhitzen. Sonst verschleiben sie schneller und die Reparaturen sind aufwändig“, ergänzt Brakmann. Bisher hat man eher zu großzügig gekühlt, um die

Gasturbinen werden zur Stromerzeugung in Kraftwerken und als Strahltriebwerk in Flugzeugen genutzt. Die Arbeitsweise ist bei beiden prinzipiell gleich: Der Verdichter saugt die zugeführte Luft an und komprimiert sie. Die Luft strömt anschließend in die Brennkammer, in die Treibstoff eingespritzt wird. Dort verbrennt das Gas und dehnt sich hierdurch um ein Vielfaches aus. Diese Verbrennungsgase treffen auf die Laufräder der Turbine, wodurch diese in Rotation versetzt werden. Die Turbine treibt den Verdichter zum Ansaugen und Verdichten der Verbrennungsluft an.

Bei einer stationären Gasturbine in einem Kraftwerk treibt die Turbine über ein Getriebe zusätzlich einen Generator zur Stromerzeugung an. Bei einem Turbinen-Strahltriebwerk im Flugzeug treibt die Turbine den sogenannten Fan an. Der Fan erzeugt einen Luftstrom, der zwischen der eigentlichen Gasturbine und der Triebwerksverkleidung herumgeführt und nach hinten ausgeblasen wird, um somit den benötigten Schub zu erzeugen.

Sicherheit und Lebensdauer nicht einzuschränken. Dafür wurden viele kleine Luftstrahlen auf die Innenwand der Turbine geblasen, ähnlich wie bei einem Duschkopf. „Vor allem an Hotspots und besonders empfindlichen Stellen wollen wir die Kühlung exakter vorhersagen. Dazu brauchen wir ein besseres Verständnis, wie die Kühlungsmechanismen im komplexen System Turbine funktionieren“, so Brakmann. Neue und bessere Modelle spielen dabei eine wichtige Rolle. Denn bisher unterscheiden sich Simulation und Messungen um bis zu zwanzig Prozent.

Werkstoffe und Strukturen an ihre Grenzen bringen

Der Einsatz neuer Materialien und Werkstoffe ist ein weiterer wichtiger Aspekt für die Turbinen der nächsten Generation. Spezielle faserverstärkte Hochleistungskeramiken und Hightech-Legierungen wie Nickelbasislegierungen halten extrem hohe Temperaturen aus. Neue Fertigungsverfahren – wie der 3D-Druck – ermöglichen es, komplexere und feinere Strukturen und Oberflächen zu schaffen. Das verbessert die Kühlung. „Kleine und feine Strukturen an den Schaufeln vergrößern die Oberfläche. Das vereinfacht den Austausch von Wärme“, beschreibt Robin Brakmann. Solche Oberflächen und Strukturen lassen sich mit metallischen Werkstoffen gut herstellen. Trotzdem benötigt man ein komplexes Kühlsystem, damit die Temperaturen nicht zu hoch werden.

Visualisierung einer komplexen Oberflächenstruktur für bessere Kühlung. Die „Pin Fins“ erhöhen die Durchmischung der Strömung und vergrößern die Oberfläche.

Die 12 Tonnen schwere Forschungsturbine wird mit einem Kran auf den Prüfstand NG-Turb gesetzt.



Zwar halten Keramiken höhere Temperaturen aus, es ist aber wesentlich schwieriger oder noch nicht möglich, aus ihnen vergleichbar diffizile Oberflächen und Strukturen herzustellen. Das liegt an den komplexen Herstellungsverfahren für faserkeramische Strukturen.

Versuchsturbine und Prüfstände treffen auf digitalen Zwilling

Mit der Next Generation Turbine Test Facility (NG-Turb) in Göttingen steht dem DLR-Team um Frank Kocian für seine Forschung einer der modernsten Turbinenprüfstände zur Verfügung. In Forschungsprojekten arbeitet das Team dort auch mit Industriepartnern wie den großen Turbinenherstellern Siemens Energy für Kraftwerke und Rolls-Royce für Flugzeuge zusammen. Gemeinsam mit Siemens Energy hat das Institut für Antriebstechnik eine in dieser Form einmalige Versuchsturbine entwickelt und erfolgreich in den NG-Turb-Prüfstand integriert. Sie ist ungefähr halb so groß wie das Original im Kraftwerk. Mit dieser Infrastruktur ist das DLR eine der wenigen Einrichtungen auf der Welt, die Tests in dieser Größenordnung realitätsnah durchführen können. Wichtig ist dabei, dass charakteristische Ähnlichkeitszahlen beibehalten werden. Damit entspricht beispielsweise die Machzahl der Forschungsturbine der einer realen Maschine. Nur so können zentrale technische Parameter vergleichbar nachgestellt werden. Zudem ist auch die Einhaltung von Temperaturverhältnissen wichtig: Stimmen sie nicht, sind die Kühleffekte an den Turbinenschaufeln nicht aussagekräftig.

Auf rund 1,5 Metern Länge verfügt die Versuchsturbine über rund 1.000 Messstellen. Zum Einsatz kommen Luftmessensoren, stationäre Drucktransmitter und optische Messverfahren. Letztere ermöglichen es, mithilfe von speziellen Lasern in die Strömung im Innern der Turbine hineinzuschauen, ohne diese zu beeinflussen. Die gemessenen Daten geben einen Einblick, welche Temperaturen und Drücke an welcher Stelle herrschen, wie sich die Gasströme im Innern verhalten und wie der Zustand der Schaufeln ist. Auch die möglichst präzise Bestimmung des Wirkungsgrads sowie die Analyse der Temperaturver-

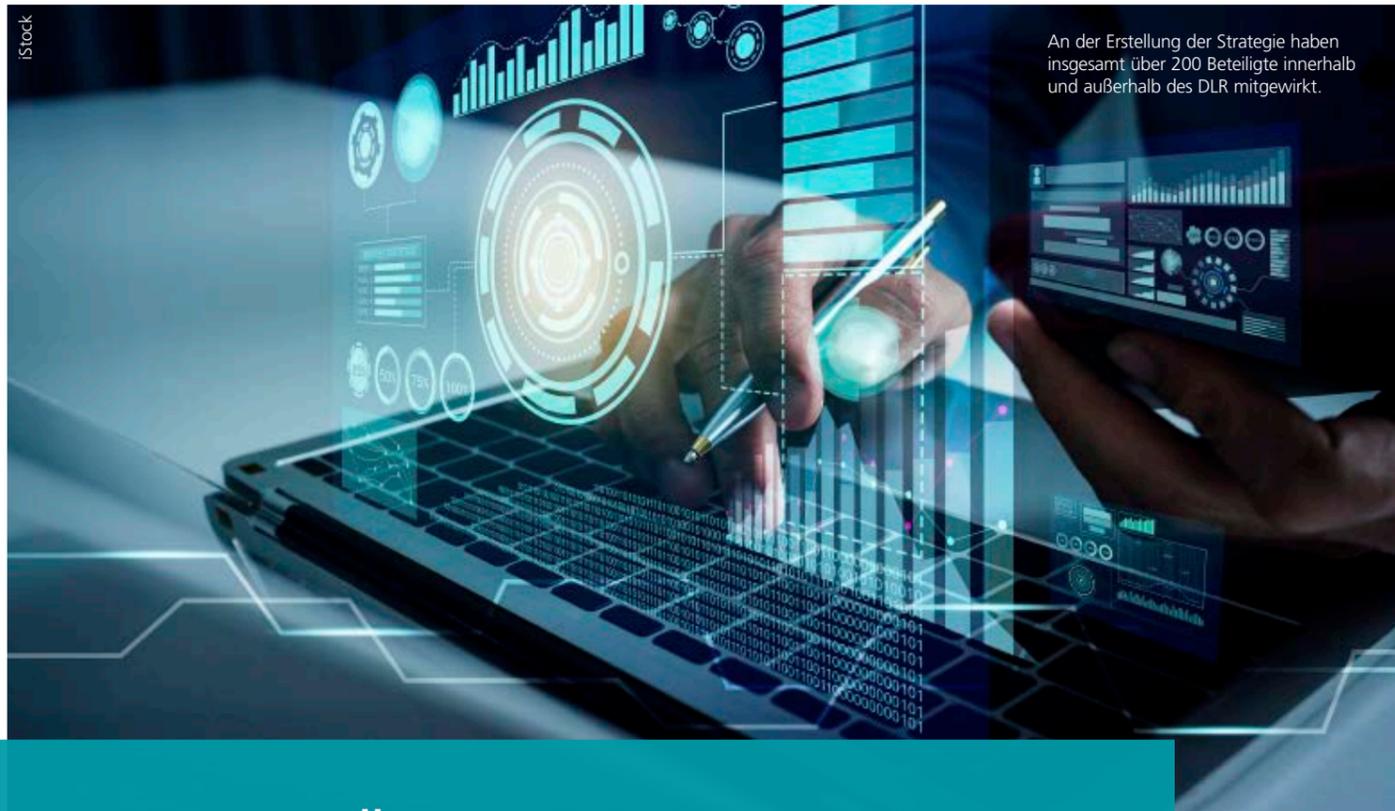
teilung und der Kühlungsprozesse ist Teil der messtechnischen Untersuchungen. Ebenfalls einbaubar ist ein Brennkammer-Simulator, um die Prozesse beim Zusammenspiel von Brennkammer und Turbine zu analysieren.

„Mit unseren Versuchskampagnen generieren wir große Datenmengen mit hoher Messqualität. Diese vergleichen wir dann mit unseren Rechnungen und Modellen am Computer“, beschreibt Abteilungsleiter Kocian das Zusammenspiel von praktischen Versuchen und Simulation. Die Forscherinnen und Forscher arbeiten sich so Stück für Stück zu einem „digitalen Zwilling“ vor – einem digitalen Abbild der kompletten Versuchsturbine, einschließlich ihrer Kühlung. Es vermittelt ein vollständiges Bild der physikalischen Prozesse, die innerhalb der Turbine ablaufen. „Mit einem digitalen Zwilling lassen sich Turbinen wesentlich schneller und effizienter entwickeln. Wir können zum Beispiel auch virtuelle Zertifizierungen angehen, also Konstruktionen komplett am Computer testen und zulassen“, so Kocian.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR.



Installation der Turbinenwelle



An der Erstellung der Strategie haben insgesamt über 200 Beteiligte innerhalb und außerhalb des DLR mitgewirkt.

IMPULSE FÜR INNOVATIONEN

Die Digitalisierungsstrategie des DLR

von Dr. Mark Azzam und Elke Heinemann

Der digitale Wandel verändert unsere Wirtschaft und Gesellschaft. Er umfasst gleichermaßen Infrastrukturthemen wie den Netzausbau, gesellschaftliche Themen wie den Datenschutz und wissenschaftlich-technische Themenfelder wie die künstliche Intelligenz. Entsprechend wichtig ist das Thema Digitalisierung für die Zukunftsfähigkeit Deutschlands und Europas. Sowohl in der wissenschaftlichen Forschung als auch im Bereich Organisation ist sie auch für das DLR von großer Bedeutung. Eine neue DLR-Strategie widmet sich der Frage, welchen Beitrag die Forschungseinrichtung leisten kann, um die digitale Transformation auf allen Ebenen voranzutreiben, sowie wissenschaftliche Zukunftsfelder zu stärken und um Mitarbeitende in ihrem Arbeits- und Forschungsalltag bestmöglich mit neuen Möglichkeiten zu unterstützen.

Fünf strategische Stoßrichtungen priorisieren Handlungsfelder

In der Digitalisierungsstrategie sind fünf strategische Handlungsfelder formuliert, die einerseits vorhandene Stärken und Potenziale berücksichtigen und andererseits als Innovationstreiber für alle Forschungsschwerpunkte zusammenwirken sollen: Künstliche Intelligenz wird in allen Forschungsschwerpunkten des DLR gefördert und kommt auch im Forschungsmanagement vermehrt zum Einsatz. Die Erhebung, Verwaltung und Nutzbarmachung von Daten werden DLR-weit verbessert. Darüber hinaus soll das Zusammenspiel zwischen digitaler und physischer Ingenieurskunst verbessert sowie die Erforschung und Entwicklung im Bereich innovativer autonomer Systeme ausgebaut werden. Ebenso wird die Digitalisierung des DLR als Organisation weiter vorangetrieben, indem intelligente Werkzeuge für die alltägliche Arbeit genutzt und Prozesse, digital gestützt, effizienter gestaltet werden.

Die in der Strategie festgelegten Prioritäten wirken zusammen und ergänzen einander: Methoden und Werkzeuge der künstlichen Intelligenz können sowohl für die Analyse großer Datenmengen als auch in autonomen Systemen und digitalen Designprozessen eingesetzt

werden, um diese schneller und effizienter zu machen. Datenmanagement wiederum ist eine Grundlage, um die wachsenden Informationsmengen – beispielsweise beim virtuellen Triebwerk, dessen Darstellung immer genauer und somit immer umfangreicher wird – handhaben zu können. Als Basis effizienter und effektiver Forschung sorgt die digitale Organisation dafür, die geeignete Infrastruktur sowie Managementprozesse bedarfsgerecht einzusetzen.

Über 100 Maßnahmen bereiten den Weg für die Transformation

Mehr als 100 verschiedene Maßnahmen der Administration und der Forschungsbereiche Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr sowie der Querschnittsbereiche Sicherheit und Digitalisierung wurden im Rahmen der Strategieentwicklung erarbeitet, um die gesetzten Ziele zu erreichen. Wenn es etwa um erneuerbare Energien in dezentralen Strukturen geht, braucht es geeignete Verfahren für ein intelligentes Energiemanagement. Künstliche Intelligenz und effizientes Datenmanagement sind für die Erdbeobachtung beziehungsweise die satelliten- und luftgestützte Fernerkundung essenziell – dies gilt sowohl im Katastrophenschutz als auch in der Atmosphärenforschung. Die Vision

BEISPIELE AUS DEN STRATEGISCHEN HANDLUNGSFELDERN

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

- Mensch-Maschine-Kollaboration im Luftverkehrsmanagement
- KI in der Fernerkundung
- Echtzeitfähige prädiktive Steuerung und Regelung von Energiesystemen
- Automatisierte Anomaliedetektion zur Datenreduzierung luft- und raumgestützter Services
- Kombination von physikalischen Modellen und maschinellen Lernverfahren
- KI-Werkzeuge im Fördergeschäft



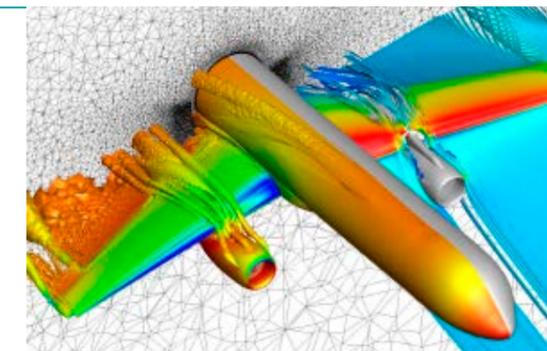
DATENSCHÄTZE

- Digitale Vernetzung von Prüfständen für zukünftige Antriebe
- Digitale Methoden zur Erforschung des Weltalls
- Datenquellen für Mobilitätsforschung
- Daten- und Systemintegrität für Datenmanagementsysteme der maritimen Sicherheit
- Elektronisches Laborbuch und visuelle Echtzeit-Datenanalyse
- Institutionelles Daten-Repository



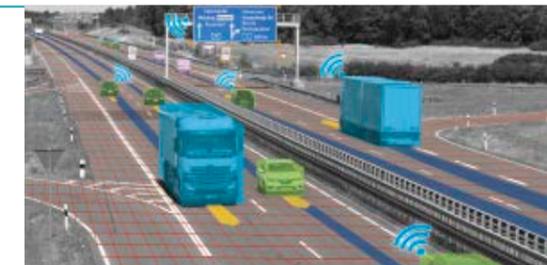
SCHNITTSTELLE DIGITALE UND PHYSISCHE ENTWICKLUNGSPROZESSE

- Digitale Zwillinge für Triebwerks-, Komponenten- und Flugzeugtechnologien sowie in der Energieforschung und für kritische Infrastrukturen
- Konzepte und Werkzeuge für übergreifende und hochintegrierte digitale Entwicklungsprozesse
- Virtueller Satellit
- Digitale Entwicklungstools in der Komponenten- und Strukturentwicklung von Straßen- und Schienenfahrzeugen
- Methoden zur Bewertung komplexer Systemarchitekturen



INNOVATIVE AUTONOME SYSTEME

- Autonome Luftzustellung im Flugtestbetrieb des Erprobungszentrums Cochstedt
- Robotische Explorationen
- Aufbau der Leitdisziplin Autonomik
- Resilienz intelligenter Systeme
- Grundlegende KI-Methoden für sichere autonome sowie schwarmbasierte Systeme
- Automatisierte vernetzte Systeme für Straßen- und Schienenverkehr



ORGANISATIONSENTWICKLUNG

- Ausbau des Personalentwicklungsportfolios bei digitalen Kompetenzen, digitaler Führung und Führung auf Distanz
- Einführung neuer Arbeitsmodelle sowie KI-basierter Monitoring- und Managementwerkzeuge
- Digitale Anwendungen in der Qualitäts- und Produktsicherung
- Zentrale Beratungs-, Projektunterstützungs- und Koordinierungsleistungen für Digitalisierungsvorhaben
- Digitale Akte und digitale Prozesse im Fördermanagement



eines vollständig digitalen Zulassungsverfahrens für Luftfahrzeuge, das auf Simulationen basiert, kann gelingen, wenn die Schnittstelle zwischen digitalen und physischen Test- und Entwicklungsverfahren weiter zusammenwächst. Wenn der Verkehr in Zukunft hochautomatisiert und vernetzt unterwegs sein soll, müssen die zugrunde liegenden Systeme entsprechend sicher und zuverlässig sein. Diese

Beispiele verdeutlichen, wie eng die Digitalisierungsstrategie mit den Forschungsbereichen des DLR verzahnt ist.

Dr. Mark Azzam war bis April 2022 Programmkoordinator Digitalisierung im DLR. **Elke Heinemann** ist Redakteurin in der DLR-Kommunikation.

LASERTEST UNTERM STERNENHIMMEL

Am Standort Lampoldshausen betreibt das DLR-Institut für Technische Physik eine 130 Meter lange Laserfreistrahlstrecke. Dort werden Messungen und Experimente mit Lasern und optischen Technologien durchgeführt. Sie zeigen, wie reale Umweltbedingungen die Ausbreitung von optischer Strahlung beeinflussen. Auf der Messstrecke erforschen DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler unter anderem Technologien, die für die Erkennung und Ortung von Weltraumschrott oder auch zum Schutz gegen unbemannte Luftfahrzeuge eingesetzt werden können. Außerdem untersuchen die Fachleute, inwiefern mit Lasern chemische, biologische oder explosive Gefahrstoffe aus sicherer Entfernung erkannt werden können. Diese spektroskopischen Verfahren werden zudem weiterentwickelt, um mit ihnen Leckagen in Wasserstoff-Speichern und -Pipelines festzustellen. Die Anlage ist mit einer modernen Steuerungstechnik, strukturellen Sicherheitsmaßnahmen sowie einer IT-Infrastruktur inklusive Forschungsdatenmanagement ausgerüstet.

AUF DEN BRUCHTEIL EINER SEKUNDE

Mit Joduhr, Frequenzkamm und Laserterminal zu einer verbesserten Positions- und Zeitbestimmung

von Katja Lenz

© DLR



Seit Jahrtausenden erfinden Menschen immer bessere Geräte, um die Zeit zu messen. Mechanische Uhren, die auch als Armbanduhr oder Taschenuhr getragen werden, haben noch eine Ungenauigkeit von einer Sekunde am Tag. Bei Quarzuhren, die mit elektrischer Spannung arbeiten, ist es eine Sekunde im Jahr. Atomuhren verlieren etwa eine Sekunde in einer Million Jahren. Sie basieren auf der Schwingungsfrequenz bestimmter Atome. Und bei einer laseroptischen Uhr dauert es eine Milliarde Jahre, bis sie vielleicht eine Sekunde danebenliegt. Viel genauer geht es nicht mehr. Eine solche optische Uhr – konkreter eine auf Jod basierende Atomuhr – gehört zum Projekt Compasso. Sie soll die Satellitennavigation durch das Galileo-System so präzise wie nie zuvor machen.

Aber was hat eine Uhr überhaupt mit Navigation zu tun? „Uhren sind eine zentrale Technologie in jedem Satellitennavigationssystem“, sagt Dr. Stefan Schlüter, Compasso-Projektleiter im Galileo Kompetenzzentrum des DLR. Satelliten senden konstant Signale, mit denen der Empfänger seinen Standort bestimmen kann. Je präziser die Signal-Laufzeiten zwischen Sender und Empfänger ermittelt werden, desto genauer der Standort. Im neu gegründeten Galileo Kompetenzzentrum des DLR am Standort Oberpfaffenhofen werden neben der optischen Uhr auch ein Frequenzkamm und ein Terminal für den Einsatz in künftigen Generationen der Galileo-Satelliten vorbereitet.

Wie funktioniert die optische Uhr?

Ganz allgemein besteht eine Uhr aus einem Pendel, das möglichst gleichmäßig schwingt, und einem Zähler, der diese Schwingungen erfasst. Je schneller die Schwingung, umso feiner die Zeitmessung. Bei optischen Uhren dient ein Atom als „Pendel“. „Das Atom sendet eine definierte Welle im optischen Frequenzbereich, also im sichtbaren Licht aus“, erklärt Stefan Schlüter. „Bei Compasso ist dies molekulares Jod mit einer Wellenlänge von 532 Nanometern.“ Licht mit dieser Wellenlänge ist grün. Der Frequenzkamm ist die Schnittstelle zwischen dem

optischen Bereich und den Radiofrequenzen, die für die Satellitennavigation genutzt werden. Man kann sich den Frequenzkamm als ein Laserlineal für Licht vorstellen. Er besteht aus etwa 100.000 bis 1.000.000 schmalbandigen Laserfrequenzen. Die Kombination mit dem Frequenzkamm ist nötig, weil optische Uhren so extrem schnell schwingen. Es gibt keine anderen elektronischen Geräte, die in der Lage sind, diese Schwingungen noch zu zählen. Deswegen wandelt der Frequenzkamm sie so um, dass sie mit herkömmlichen Systemen verbunden werden können.

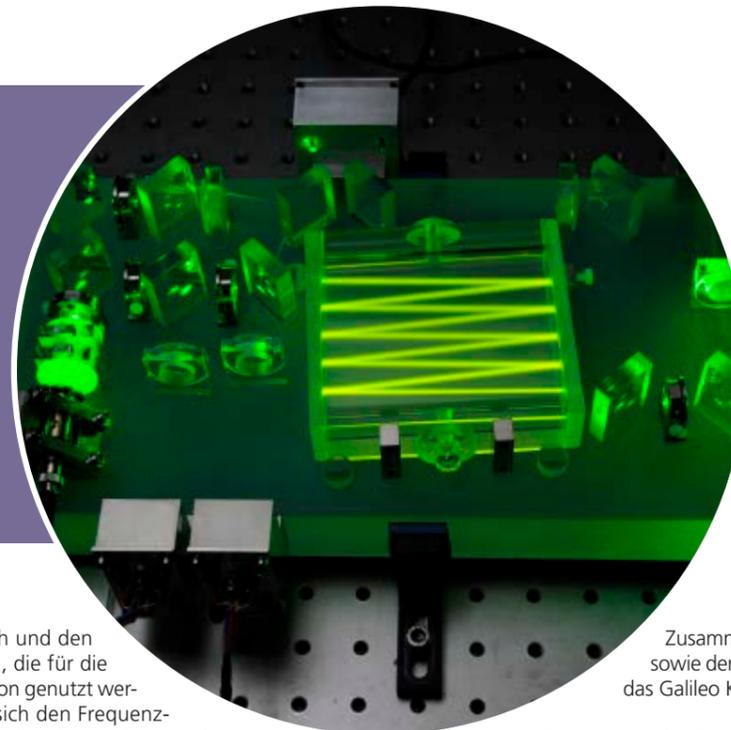
Die optische Joduhr wird vom DLR-Institut für Quantentechnologien entwickelt, der Frequenzkamm vom Industriepartner Menlo. Das Laserterminal kommt von der Firma Tesat. Weitere DLR-Institute sind beteiligt. Mit dem Laserterminal ist es möglich, das vom Frequenzkamm erzeugte Signal und die Zeitinformationen zum Boden zu übertragen und dabei gleichzeitig hochgenaue Entfernungsmessungen zu leisten. Die enge

Aus dem Columbus-Kontrollzentrum wird Compasso voraussichtlich ab 2025 betrieben werden.

DAS GALILEO KOMPETENZZENTRUM

Die besten Navigationstechnologien, die den höchsten Nutzen bringen – daran arbeitet das Galileo Kompetenzzentrum am DLR-Standort in Oberpfaffenhofen. Gegründet wurde es im Jahr 2019, die offizielle Eröffnung fand im Oktober 2021 statt. Hier werden die Nutzerinnen und Nutzer, die Bodeneinrichtungen und die Satelliten gleichermaßen betrachtet. Ziel ist es, zukunftsfähige Konzepte und Technologien für das europäische Satellitennavigationssystem umzusetzen und einen Beitrag zur Weiterentwicklung von Galileo zu leisten. Aktuell sind 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für das Galileo Kompetenzzentrum tätig und es wird stetig ausgebaut: Im Jahr 2024 sollen bis zu 150 Personen an den Themen arbeiten.

Eine Hauptaufgabe liegt in der technischen Umsetzung und Demonstration zukunftsfähiger Konzepte und Technologien. Die wissenschaftlichen Grundlagen stellen die Institute und Einrichtungen des DLR bereit, mit denen das Galileo Kompetenzzentrum eng zusammenarbeitet. So kann es auf fundiertes wissenschaftlich-technisches Fachwissen und die jahrelange Erfahrung mit den Anforderungen verschiedener Nutzergruppen zurückgreifen. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Verwendung und Förderung der Quantentechnologien. Mit seiner Expertise soll das Kompetenzzentrum ein Ansprechpartner für Politik, Forschung, Industrie, Europäische Kommission und weitere Partner sein.

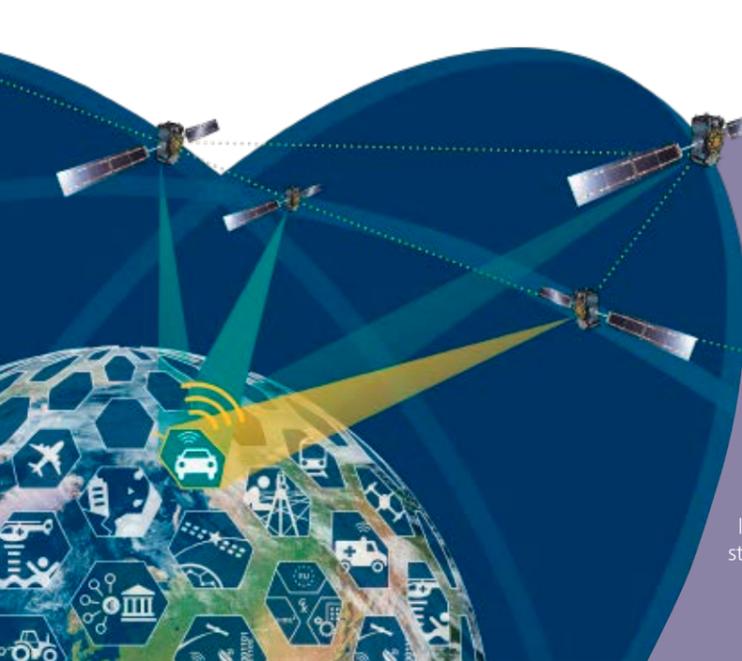


Die Jod-basierte Frequenzreferenz, bei der eine Hyperfeinlinie von Jodmolekülen mit einem Laser gemessen wird, kann die Uhren der Galileo-Satelliten genauer machen. Die Frequenzreferenz wird im DLR-Institut für Quantentechnologien unter Leitung von Prof. Braxmaier und Dr. Schuldt entwickelt, deren langjährige Forschungsarbeiten auf dem Gebiet quantenoptischer wissenschaftlicher Weltraummissionen auch zu dem Missionskonzept Compasso führten.

Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie sowie der Technologietransfer sind charakteristisch für das Galileo Kompetenzzentrum.

Das europäische Satellitennavigationssystem Galileo ist seit 2016 in Betrieb und wird noch weiter vervollständigt. In wenigen Jahren werden 30 Satelliten die Erde in 23.222 Kilometern Höhe umkreisen. Schon jetzt gilt Galileo als sehr präzise. „Aber im Vergleich dazu ermöglichen die neuen Technologien eine bis zu zehnfach genauere und schnellere Positionsbestimmung – im Idealfall bis in den Zentimeterbereich. Zudem würden Robustheit und Autonomie des Systems zunehmen“, erklärt Stefan Schlüter. Es wäre also klar, auf welcher Spur und mit welchem Abstand ein Auto fährt. Auch für die Erdbeobachtung aus dem All ist die Genauigkeit wichtig: Über Zeitmessungen lassen sich Veränderungen auf der Erdoberfläche, wie Wasserhöhen oder Gletscherschmelzen, nachweisen. Oder für Finanzmärkte und Energieversorgung: Hier geht es nicht um den Standort, sondern um die hochpräzise Zeitinformation. Je kleiner die Unterteilung der Sekunden, desto mehr Aktionen können mit einem exakten Zeitstempel durchgeführt werden.





VIER SATELLITEN FÜR EINE POSITION

Für die Positionsbestimmung muss der jeweilige Abstand der Satelliten zum Empfangsgerät auf der Erde ermittelt werden. Dieser ergibt sich aus der Zeitspanne, die das Signal braucht, bis es vom Satelliten dort ankommt. Die Positionen der Satelliten sind bekannt, aber da die Uhren des Empfängers und des Galileo-Systems nicht synchronisiert sind, werden mindestens vier Satelliten zur absoluten Positionsbestimmung benötigt. Die Satelliten-Uhren müssen extrem genau arbeiten: Eine Zeitungenauigkeit von nur einer Millisekunde ergibt einen Fehler auf der Erde von 300 Kilometern. Das entspricht ungefähr der Entfernung zwischen Köln und Bremen. Je mehr Satelliten empfangen werden und zusammenarbeiten, desto genauer und stabiler ist die Positionsbestimmung auf der Erde.

Testphase auf dem Forschungsbalkon der ISS

Bevor die neuen Technologien in die Satelliten eingebaut werden, müssen sie sich bewähren. Zuerst im Labor auf der Erde, dann auf der Internationalen Raumstation ISS. Auch dafür ist das Galileo Kompetenzzentrum zuständig. Es bringt die Entwicklungen der DLR-Institute gemeinsam mit der Industrie so voran, dass sie für die Galileo-Satelliten und die Bodensysteme vorbereitet sind. Voraussichtlich 2025 fliegen die optische Uhr, der Frequenzkamm und das Laserterminal in einem Raumtransporter zur ISS. Sie werden dann in die Bartolomeo-Plattform integriert – ein „Balkon“ am europäischen Columbus-Modul der ISS. Die Plattform hat auf fünf Quadratmetern Platz für Forschung im freien Weltraum. Eineinhalb Jahre bleiben die Compasso-Komponenten dort, dann kehren sie für Analysen zur Erde zurück.

AM PROJEKT COMPASSO BETEILIGTE DLR-INSTITUTE UND -EINRICHTUNGEN

- Galileo Kompetenzzentrum
- Institut für Kommunikation und Navigation
- Institut für Quantentechnologien
- Institut für Softwaretechnologie
- Raumflugbetrieb und Astronautentraining
- Institut für Raumfahrtssysteme
- Institut für Optische Sensorsysteme



Compasso-Projektleiter Dr. Stefan Schlüter prüft am Bildschirm die Signale des Frequenzkamms.

Welche Vorteile bringt die Genauigkeit bei der Satellitennavigation?

Compasso nutzt neue Technologien aus der Quantenoptik. Im Vergleich zu herkömmlichen Systemen versprechen die Entwicklungen eine höhere Genauigkeit, Ausfallsicherheit und erweiterte Anwendungen. „Der Verkehrsbereich ist ohne globale Satellitennavigations-signale gar nicht mehr vorstellbar“, sagt Stefan Schlüter. „Das reicht von der Individualreise über Bahn-, Schiffs- und Luftverkehr bis hin zum automatisierten Fahren.“ Im Bahnverkehr könnten durch hochgenaue Positionsbestimmungen Zusammenstöße vermieden werden. Der Schiffsverkehr könnte Küsten- und Hafennavigation optimieren. Die Seenotrettung würde von einer zuverlässigeren Ortung profitieren. In der Luftfahrt wären Präzisionslandungen trotz schlechter Sicht möglich. Und für die Landwirtschaft bringt eine bessere Navigation eine Einsparung von Düngemitteln und Treibstoff.

Der Name Compasso leitet sich von dem ersten kommerziellen, wissenschaftlichen Instrument ab, das der italienische Astronom Galileo Galilei (1564–1642) entwickelt hat: ein geometrischer und militärischer „Kompass“. Er ähnelt einem Proportionszirkel aus zwei Linealen und gilt als ein Vorläufer des Rechenschiebers. Außerdem konnten mit ihm Entfernungen auf Seekarten gemessen werden. Navigation war zu Galileo Galileis Zeiten noch mit großen Unsicherheiten verbunden. Das ist Geschichte – heute funktioniert Navigation über winzige Sekundenbruchteile von hochgenauen Taktgebern.

Katja Lenz ist Presseredakteurin im DLR.



Die Joduhr ist eine Entwicklung aus dem Institut für Quantentechnologien. Die Technologie wird nun zusammen mit dem Galileo Kompetenzzentrum welt-raumfähig gemacht.

NACHGEFRAGT

Hier beantworten unsere Forscherinnen und Forscher Fragen aus der Community

Wer Fragen stellt, wird verstehen, warum etwas geschieht und warum Dinge in einer bestimmten Weise funktionieren. Besonders in der Wissenschaft ist eine solche neugierige Herangehensweise unverzichtbar, denn nur so lassen sich komplexe Themen durchdringen und können verstanden werden. Regelmäßig erreichen uns Fragen zu den verschiedensten wissenschaftlichen Themen über unsere Social-Media-Kanäle, per Brief oder E-Mail. Wenn auch Ihnen eine Frage unter den Nägeln brennt, schreiben Sie uns an magazin@dlr.de.

Frage von Tobias H. via E-Mail

Ich bin Berufspendler und interessiere mich aus Umweltgründen für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben. Das SLRV vom DLR wäre eine echte Alternative zu meinem jetzigen Auto. Gibt es im DLR konkrete Pläne, das SLRV als Serienauto im privaten Verkauf anzubieten?



Das SLRV (Safe Light Regional Vehicle) ist ein Kleinfahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb. Seine Karosserie ist in Sandwichbauweise konstruiert, weshalb sie nur 90 Kilogramm wiegt, und es tankt Wasserstoff. Obwohl das SLRV schon teilweise auf der Straße unterwegs war, handelt es sich um einen Forschungsprototypen. Sprich, das DLR wird diesen für seine Forschung nutzen – für eigene Projekte und gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft. Bevor ein Fahrzeug wie das SLRV seinen Weg auf die Straße finden kann, müssten noch einige Weiterentwicklungen und entsprechende Investitionen erfolgen – in Bezug auf Sicherheit für Straßenzulassung, Design, Ausstattung, Stauräume oder Komplettverkleidung zum Schutz gegen Nässe. Da es sich beim DLR um eine zu weiten Teilen öffentlich finanzierte Forschungseinrichtung handelt, entwickeln wir Technologien bis hin zu den Prototypen. Eine Entwicklung für den Markt und die Serie ist dann bei Interesse die Aufgabe von Unternehmen. Hierbei kann das DLR beraten und es unterstützt und lizenziert zum Beispiel bestimmte Technologien oder Ansätze.

Michael Kriescher arbeitet in der Abteilung Fahrzeugarchitekturen und Leichtbaukonzepte des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte

Frage von Andrej D. via E-Mail

Ich habe vor kurzem den Film „Don't look up“ gesehen, in welchem ein Asteroid die Erde zerstört. Seitdem lässt mir dieses Szenario keine Ruhe. Kann es auch in der Wirklichkeit passieren, dass ein Asteroid in der nächsten Zeit unserer Erde gefährlich wird?



Sie können ruhig schlafen! Die Wahrscheinlichkeit, dass uns zu Lebzeiten etwas durch einen Asteroideneinschlag zustößt, ist nahezu Null. Von den etwas mehr als einer Million Asteroiden, die heute bekannt sind, kreisen fast alle im Raum zwischen Mars und Jupiter um die Sonne. Etwa 27.000 Asteroiden mit Durchmessern von mehr als 100 Metern bewegen sich auf Bahnen, die sie auch ins innere Sonnensystem führen und dabei die Erdbahn kreuzen. Diese Erdbahnkreuzer – wir nennen sie die NEOs (Near Earth Objects) – werden mit Teleskopen sehr genau beobachtet, um ihre Bahnen zu kennen. Von ihnen ist gegenwärtig keiner bekannt, der in diesem Jahrhundert mit der Erde kollidieren könnte. Einige davon, auch das ist Teil der Wahrheit, werden der Erde in den kommenden Jahrzehnten aber nahe kommen: Das

sind die „potenziell gefährlichen Asteroiden“, die die Erde in weniger als siebeneinhalb Millionen Kilometern passieren. Auch in dieser Gruppe, etwa einem Fünftel der bekannten NEOs, ist kein Asteroid, der die Erde treffen wird. Die Vorbeiflugentfernungen betragen in der Regel mindestens mehrere Zehntausend Kilometer, meist sind sie weiter entfernt als der Mond (400.000 Kilometer). Was wir nicht so genau wissen, ist, wie sich die Bahnen dieser Asteroiden durch nahe Vorbeiflüge an der Erde verändern, ob sie ihr also bei der nächsten Begegnung näherkommen werden oder ob sie sich weiter von der Erde entfernen.

Die Körper, die kleiner sind als 100 Meter, sind nicht alle bekannt. Auch sie können beträchtlichen Schaden anrichten, wie beispielsweise der 60 Meter große Asteroid, der 1908 in Sibirien in der Region Tunguska Wälder von der Fläche Berlins zerstörte, oder erst 2013 der 20 Meter große Asteroid, der in 30 Kilometern Höhe über der Stadt Tscheljabinsk in Westsibirien explodierte und Tausende von Fensterscheiben in der Millionenstadt splintern ließ (Todesopfer gab es aber keine). Ereignisse wie Tunguska passieren nach allem, was wir wissen, statistisch betrachtet ein bis zwei Mal pro Jahrhundert.

Ulrich Köhler ist verantwortlich für die Öffentlichkeitsarbeit am DLR-Institut für Planetenforschung



Längere Aufenthalte im All sind eine enorme Belastung für den menschlichen Körper: Muskeln und Knochen bauen ab und die Körperflüssigkeiten verschieben sich mangels Schwerkraft von den Beinen in Richtung Kopf. Die veränderten Druckverhältnisse führen nicht nur zu kalten Füßen und einem „puffy face“, einem geschwollenen Kopf. Aus der Flüssigkeitsverschiebung folgt eine ganze Reihe medizinischer Probleme. Betroffen ist unter anderem das Auge. Raumfahrende berichten immer wieder über eine Veränderung der Sehkraft. Sie können zum Beispiel weitsichtig werden. Etwa 70 Prozent sind von Augenveränderungen betroffen, wenn sie aus dem All zurückkehren. Um Gegenmaßnahmen entwickeln zu können, müssen die Forschenden die komplexen physiologischen Veränderungen unter Weltraumbedingungen besser verstehen. Seit Jahrzehnten ist es eine bewährte Forschungsmethode, dass sich Probandinnen und Probanden dafür ins Bett legen – in Kopftieflage.

Im Herbst 2021 ist am DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln die Bettruhestudie SANS-CM angelaufen. Auftraggeber ist die US-Raumfahrtbehörde NASA. Der Name der Studie leitet sich her von Spaceflight Associated Neuro-ocular Syndrome und bezeichnet das typische Weltraum-Augenleiden. CM steht für Countermeasures, die Gegenmaßnahmen, die es zu finden gilt, um die unerwünschten Effekte der Schwerelosigkeit auf den Körper zu verzögern oder gar zu verhindern. In der Studie werden Unterdruckkammern eingesetzt. Sie „ziehen“ Blut und andere Körperflüssigkeiten in die untere Körperhälfte.

Liegen in sechs Grad Kopftieflage – Weltraumbedingungen auf der Erde

Liegen Menschen in einem Bett, bei dem das Kopfende um sechs Grad nach unten geneigt ist, verteilen sich die Körperflüssigkeiten wie in der Schwerelosigkeit. Ähnlich wie im All steigt mehr als ein halber Liter Flüssigkeit in den Oberkörper. Solche „irdischen Astronautinnen und Astronauten“ haben gleich mehrere Vorteile: Unter den kontrollierten Bedingungen können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mehr Personen mit viel weniger Aufwand und Kosten untersuchen, als es im Weltraum möglich wäre. Bettruhestudien gelten als Goldstandard der raumfahrtmedizinischen Erforschung degenerativer Prozesse des menschlichen Körpers in Schwerelosigkeit. Sie sind komplexe und kostspielige Unternehmungen, die nicht nur von internationaler Zusammenarbeit abhängen, sondern in erheblichem Maße auch vom Engagement der Beteiligten aus verschiedenen Disziplinen.

PROFESSIONELLES LIEGEN LASSEN

Mit Bettruhestudien Weltraum-Krankheiten auf der Spur
von Philipp Burtscheidt

Für die aktuelle NASA-Bettruhestudie liegen die Probandinnen und Probanden in speziellen Unterdruckkammern. Mit diesen wird getestet, ob Unterdruck gegen unerwünschte Effekte der Schwerelosigkeit helfen kann.



HISTORIE:

Bettruhestudien haben eine lange Tradition im DLR. Die erste im Jahr 1988 diente der Vorbereitung auf die D2-Mission. Damals brachte das Space Shuttle Columbia die beiden deutschen Astronauten Ulrich Walter und Hans Schlegel mit dem Raumlabor Spacelab für zehn Tage in den Orbit. Drei Jahrzehnte später stehen mögliche Langzeitmissionen, zum Beispiel zum Mond oder Mars, im Mittelpunkt der Forschung.



Sommer 1988

HDT88 (Head-down-tilt bedrest study)

- 10 Tage Bettruhe in -6° Kopftieflage
- 6 Probanden

- ▶ Herz-Kreislauf-Regulation und Flüssigkeits-/Elektrolytmetabolismus
- ▶ Vorbereitung und Methodenabstimmung für die deutsche D2-Mission 1993



2001 bis 2002

STBR (Short-term bedrest study)

- 14 Tage Bettruhe in -6° Kopftieflage
- 8 Probanden

- ▶ Einfluss einer kalorienreduzierten Ernährung (-25 % Fett) auf verschiedene physiologische Systeme des Körpers
- ▶ ESA-Studie



2005

VBR (Vibration bedrest study)

- 14 Tage Bettruhe in -6° Kopftieflage
- 8 Probanden

- ▶ Einfluss von Vibrationstraining auf den Muskel- und Knochenstoffwechsel



2006 bis 2007

Salty Life7

- 14 Tage Bettruhe in -6° Kopftieflage
- 8 Probanden

- ▶ Einfluss hoher/niedriger Kochsalzzufuhr auf den Natrium- und Wasserhaushalt sowie Knochenstoffwechsel



März bis Oktober 2010

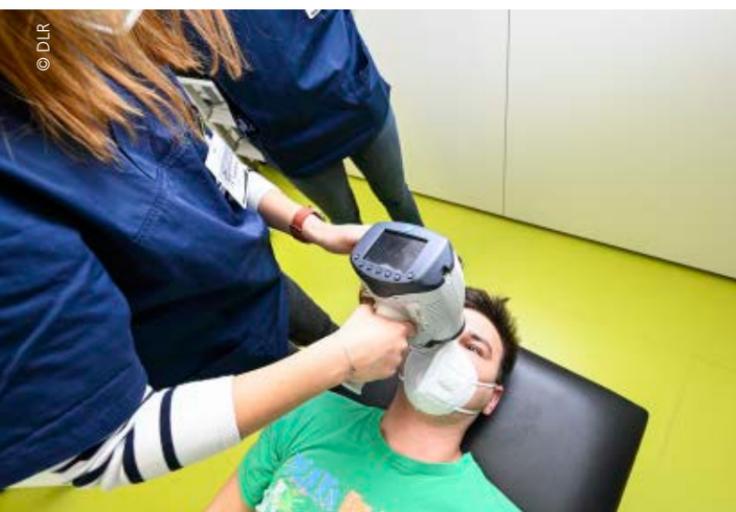
NUC (Nutritional countermeasures)

- 21 Tage Bettruhe in -6° Kopftieflage
- 8 Probanden

- ▶ Einsatz von Bikarbonat in der Nahrung als Gegenmaßnahme
- ▶ ESA-Studie



Die Messung des Augeninnendrucks mittels Pneumatometrie wird im Liegen und auch in der Gegenmaßnahme „Sitzen“ durchgeführt.



Hier wird die Veränderung der Augachsenlänge gemessen, um auszuschließen, dass sich der Augapfel verkürzt.

FÜR DIE AUGENGESUNDHEIT IM ALL UND AUF DER ERDE

Im All entstehen die Augenleiden und der veränderte Augeninnendruck durch die fehlende Gravitation, auf der Erde zum Beispiel durch langes Liegen. Da die Augenschädigung von den Betroffenen nicht bemerkt werden kann und zur irreversiblen, also unumkehrbaren, Erblindung führen kann, sind ein besseres Verständnis für die Entstehung und den Verlauf der Erkrankung sowie die Entwicklung geeigneter Gegenmaßnahmen sehr wichtig – für die Menschen im Weltraum und auf der Erde.

Ein Schwerpunkt der Wissenschaft ist das Auge. Warum schwillt der Sehnervenkopf an? Warum verkürzt sich bei den erhöhten Druckverhältnissen im Kopf der Augapfel, was zu der Weitsichtigkeit führt? Die genauen Ursachen und Zusammenhänge für das Weltraum-Augenleiden sind unklar. Die Betroffenen spüren es nicht, wenn ihr „blinder Fleck“, also der Sehnervenkopf, anschwillt. Das ist gefährlich. Auch verändern sich Netz- und Aderhaut sowie der Sehnerv. Warum die Effekte nur einen Teil der Raumfliegenden treffen, ist ebenfalls noch ungeklärt. Es gibt einige Theorien, Nachweise allerdings noch nicht.

Sicher ist, dass es zu dem Augenleiden kommen kann und Präventions- und Gegenmaßnahmen notwendig sind. Bei Teilnehmenden der Bettruhestudie sind die Veränderungen im Anschluss an die Studie rückläufig. Der Sehnervenkopf schwillt zwar an, allerdings regeneriert sich das Auge einige Zeit nach Studienende. Das kann nach Weltraumaufenthalten anders sein. Es gibt ehemalige Astronauten, bei denen sich das Auge nicht vollständig erholt. Sie tragen seit ihrer Rückkehr zur Erde dauerhaft eine Brille. Mit dem Ziel, Menschen auf Missionen zum Mond und Mars zu schicken, werden Aufenthalte in Schwerelosigkeit künftig immer länger dauern. Auch dann müssen Gesundheit und Sicherheit der Astronautinnen und Astronauten gewährleistet werden.

Von den Bettruhestudien der vergangenen Jahre zu SANS-CM

Während der Studie VaPER im Jahr 2017 wurde das Anschwellen des Sehnervenkopfes erstmals nachgewiesen. Die Probanden – und erstmals in der Geschichte der Bettruhestudien im DLR auch

DREI FRAGEN AN DLR-PROJEKTLEITER DR. EDWIN MULDER

Wozu werden Bettruhestudien durchgeführt?

Der menschliche Körper ist eine auf Effizienz getrimmte Maschine. Er baut ab, was er nicht braucht. Das führt bei längeren Aufenthalten im Weltraum zu Problemen. Seit Beginn der astronautischen Raumfahrt wird daher an Gegenmaßnahmen geforscht. Mit Bettruhestudien können wir die degenerativen Prozesse im Körper in Schwerelosigkeit simulieren. Und das unter standardisierten Bedingungen auf der Erde. Die Veränderungen sind bei den Studienteilnehmenden ähnlich wie bei Astronautinnen und Astronauten im All.

Qualitativ sind die Ergebnisse annähernd gleich. Das heißt, die Effekte, die in Schwerelosigkeit auftreten, stellen wir auch in den Liegephasen unserer Bettruhestudien fest. Wir können somit aus unseren Messungen auf der Erde Erkenntnisse für die astronautische Raumfahrt ableiten. Quantitativ fallen die Ergebnisse auf der Erde meist etwas geringer als im All aus; sie zeigen sich also schwächer. Für die Eignung der Bettruhestudie als „Weltraumanalog“ ist aber die qualitative Vergleichbarkeit ausschlaggebend.

Warum sechs Grad Kopftieflage?

Für die Untersuchung von Muskel-, Sehnen- und Knochenveränderungen ist die waagerechte Lage ausreichend. Die mechanische Nichtbelastung im All ist bereits durch ein Ruhigstellen im Liegen gut zu simulieren. Will man aber die Flüssigkeitsverteilung beim Aufenthalt in Schwerelosigkeit nachstellen, um die negativen Effekte der veränderten Flüssigkeitsverteilung und mögliche Gegenmaßnahmen zu erforschen, müssen die Teilnehmenden schräg, mit dem Kopf leicht nach unten, gelagert werden. Das Liegen in sechs Grad Kopftieflage und ohne Kissen hat sich als Standardkonfiguration für Bettruhestudien etabliert, bei denen das Auge untersucht wird.

Dieser Winkel ist nicht optimal, aber ausreichend, um die physiologischen Veränderungen ähnlich wie in Schwerelosigkeit zu beobachten. Wir haben in der Vergangenheit auch Studien durchgeführt, in denen die Teilnehmenden in zwölf Grad Kopftieflage im Bett lagen. Die Ergebnisse waren etwas besser. Nur ist die Schräglage dann so stark, dass der Alltag in der Liegephase für die Probandinnen und Probanden über die Zeit zu unangenehm würde. Über Wochen so zu liegen, wäre nicht zumutbar. Die sechs Grad sind der ideale Kompromiss für

Dr. Edwin Mulder

hat in Amsterdam Sportwissenschaften studiert und interessiert sich seit jeher für das Thema Astronautentraining. Seit 2010 ist er im Bereich Bettruhestudien am DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin tätig. Er ist Projektleiter der Bettruhestudie SANS-CM und zudem Business Developer am Institut. In dieser Rolle entwickelt er auch Programme anderer Forschungsrichtungen wie Isolationsstudien, die einen Fokus auf raumfahrtpsychologische Fragen legen.

aussagekräftige Ergebnisse bei gleichzeitiger Praktikabilität der Studierendurchführung. Die Konfiguration ist sehr gut, um mit der Simulation Gegenmaßnahmen zu testen.

Was bedeuten Bettruhestudien im DLR für die internationale Raumfahrtmedizin?

Etwa zwei Drittel aller Studien dieser Art werden bei uns im DLR durchgeführt. Im Fokus stehen für die Agenturen immer mögliche Gegenmaßnahmen. Hier können wir mit der Anlage :envihab vieles ermöglichen. Die NASA hat ihre eigene Anlage zur Durchführung von Bettruhestudien mittlerweile geschlossen und kommt mit allen Bettruhestudien zu uns nach Köln, und auch die ESA führt ihre Studien bei uns durch. Das beweist großes Vertrauen und Zufriedenheit und macht uns stolz. Anfang des Jahres hat die NASA mit uns einen neuen Vertrag für die kommenden Jahre abgeschlossen. Wir freuen uns sehr auf die Fortsetzung der langjährigen Zusammenarbeit.

Für uns ist es eine Win-win-Situation. Bettruhestudien sind sehr teuer und benötigen intensive Vorbereitungen. Eigene DLR-Studien wären kaum möglich. Die Zusammenarbeit mit der internationalen Wissenschaftscommunity und die finanzielle Unterstützung sind daher elementar. Über die Jahre hat sich ein weltweites Netzwerk aus Spezialistinnen und Spezialisten der unterschiedlichsten Disziplinen aus dem Bereich Raumfahrtmedizin gebildet, in dem wir eine zentrale Position einnehmen.



Nov. 2010 bis April 2011

SAG (Simulated artificial gravity)

- 5 Tage Bettruhe in -6° Kopftieflage
- 10 Probanden
- ▶ 30 Minuten Bewegungersatz-Training im Vergleich mit Stehen als Gegenmaßnahme
- ▶ ESA-Studie

Sep. 2011 bis Mai 2012

MEP (Medium-term bedrest whey protein study)

- 21 Tage Bettruhe in -6° Kopftieflage
- 10 Probanden
- ▶ Untersuchung eines Molkenproteins in der Nahrung als Gegenmaßnahme
- ▶ ESA-Studie

Juni bis Juli 2015

SpaceCOT (Studying the physiological and anatomical cerebral effects of CO₂ during head-down tilt)

- 28 Stunden Bettruhe in -12° Kopftieflage
- 6 Probanden
- ▶ Teilweise kohlendioxidangereicherte Umgebungsluft im Doppel-Blindversuch
- ▶ Auswirkungen der Verschiebung der Körperflüssigkeiten in die obere Körperhälfte und des erhöhten Kohlendioxidgehalts auf Gehirn und Augen

März bis Juli 2016

IPCog (Intracranial pressure and brain function: effects of HDT upon brain perfusion and cognitive performance)

- 3 Tage Bettruhe in -12° Kopftieflage und 3 Tage horizontales Liegen
- 13 Probanden
- ▶ Vergleich der kognitiven Leistungsfähigkeit bei -12° Kopftieflage und horizontaler Lage

Sep. 2015 bis April 2016

RSL (Reactive jumps in a sledge jump system as a countermeasure during long-term bedrest)

- 60 Tage Bettruhe in -6° Kopftieflage mit Kissen
- 23 Probanden
- ▶ Sprünge in horizontalem Schlitten als Gegenmaßnahme gegen Muskel- und Knochenabbau bedingt durch Langzeit-Bettruhe
- ▶ ESA-Studie

2017

VaPER (VIIP and psychological :envihab research study)

- 30 Tage Bettruhe in -6° Kopftieflage ohne Kissen
- 12 Probandinnen und Probanden, also erstmals mit Frauen als Teilnehmende
- ▶ Auswirkung von erhöhtem CO₂-Gehalt in der Luft (0,5%) auf die Entwicklung von Augenleiden
- ▶ Erste längere Bettruhestudie mit der NASA

Probandinnen – lagen 30 Tage in Sechs-Grad-Kopftieflage im Bett. Ohne Kissen, eine weitere Premiere. Das mag nebensächlich klingen, war aber ein wichtiger Fortschritt: Erst ohne Kissen konnten die Forscherinnen und Forscher die Augenveränderungen mit speziellen Untersuchungen nachweisen. Zuvor veränderte sich das Auge der Probanden noch nicht „weltraumanalog“.

Die Ergebnisse der Nachfolgestudie AGBRESA im Jahr 2019 bestätigten die Veränderung des Sehnervenkopfes. Als Gegenmaßnahme wurden Fahrten auf der Kurzarm-Humanzentrifuge des DLR getestet. Die Fliehkraft sorgte für künstliche Gravitation. Die Körperflüssigkeiten verschoben sich während der täglichen 30-minütigen Fahrten Richtung Füße und der Druck im Kopf ging zurück. Klar wurde durch AGBRESA, dass 30 Minuten nicht ausreichen, um die ungewollten Effekte der Schwerelosigkeit auf den Körper aufzuhalten. Längere oder mehrere über den Tag verteilte Fahrten wären im Alltag auf einer Raumstation oder beim Langzeitraumflug kaum unterzubringen. Den Forschenden wurde klar: Es muss eine Gegenmaßnahme sein, die Astronautinnen und Astronauten in ihren Arbeitsalltag integrieren können – wenn nötig, auch für Stunden.

Sollte sich Unterdruck bei der aktuellen SANS-CM-Studie als taugliche Gegenmaßnahme erweisen, könnte man Unterdruckhosen entwickeln, die über längere Zeit getragen werden können, ohne dass



Sechs Testpersonen verbringen während der Liegephase pro Tag zweimal drei Stunden in den Unterdruckkammern, in denen circa drei Prozent weniger Druck als in der Umgebung herrschen.

Raumfahrerinnen und Raumfahrer ihren Arbeitsablauf unterbrechen müssten. Um die Tauglichkeit der Maßnahme zu testen, bauten die DLR-Institute für Luft- und Raumfahrtmedizin sowie Materialphysik im Weltraum zusammen mit dem Systemhaus Technik des DLR und in Abstimmung mit der NASA die Unterdruckkammern LBNP (Lower Body Negative Pressure Device). Sie umschließen den Körper von der Taille abwärts. In der Kammer ist der Druck um 25 mmHg vermindert und zieht Blut und Flüssigkeiten so in die untere Körperhälfte. MmHg bedeutet „Millimeter Quecksilbersäule“, die Maßeinheit für Drücke. 25 mmHg entsprechen etwa drei Prozent des atmosphärischen Luftdrucks auf der Erde.

Um die Wirksamkeit bewerten zu können, wurden in der Liegephase eine Vielzahl an Untersuchungen und Experimenten durchgeführt. So maßen die DLR-Fachleute der klinischen Luft- und Raumfahrtmedizin um die Augenärztin und Abteilungsleiterin Dr. Claudia Stern unter anderem regelmäßig den Augeninnendruck und untersuchten Netzhaut und Sehnerv sowie mittels MRT das Gehirn. Auch das Herz-Kreislauf-System unterlag ständiger Beobachtung. Die sogenannte optische Kohärenztomographie registrierte Veränderungen an Netzhaut und Sehnerv. Die NASA nutzt diese Methode auf der Internationalen Raumstation ISS und das DLR-Gerät wird auch bei den Studien eingesetzt. Mit ihm lassen sich Veränderungen an der Netzhaut mikromergenau verorten.



Essen im Liegen und bei Kopftieflage, das ist zumindest am Anfang ungewohnt.



2019

AGBRESA
(Artificial gravity bedrest study)

- 60 Tage Betruhe in -6° Kopftieflage ohne Kissen
- 24 Probandinnen und Probanden

- ▶ Untersuchung von künstlicher Schwerkraft als Gegenmaßnahme; erster Einsatz der DLR-Kurzarm-Humanzentrifuge in einer Betruhestudie
- ▶ Erste gemeinsame Betruhestudie von DLR, ESA und NASA



Ab 2021

SANS-CM
(Spaceflight associated neuro-ocular syndrome-countermeasures)

- 30 Tage Betruhe in -6° Kopftieflage ohne Kissen
- 48 Probandinnen und Probanden

- ▶ Test der Gegenmaßnahme Unterdruckkammer im Vergleich zu täglich 6 Stunden aufrechtem Sitzen gegen Augenleiden sowie Test der Gegenmaßnahme Radfahren in Kopftieflage
- ▶ DLR-NASA-Studie

In den ersten beiden Studienkampagnen von SANS-CM verbrachten jeweils zwölf Teilnehmerinnen und Teilnehmer insgesamt knapp 60 Tage im :envihab, der medizinischen Forschungsanlage des DLR: zwei Wochen Vorbereitung und Eingangsuntersuchungen, 30 Tage Liegephase im Bett und zwei Wochen Nachuntersuchungen und Aufbaustraining. Sechs Personen lagen während der Bettphase zweimal am Tag für drei Stunden in einer Unterdruckkammer. Die anderen sechs Personen aus der Kontrollgruppe saßen aufrecht auf einem Pflegestuhl, ebenfalls zweimal täglich für jeweils drei Stunden. In der dritten und vierten Kampagne sollen Oberschenkelmanschetten in Verbindung mit einem speziellen Radfahrtraining zum Einsatz kommen. Bis die Ergebnisse der NASA-Studie SANS-CM vorliegen, wird es noch einige Zeit dauern. Wer weiß, vielleicht werden die Raumfahrerinnen in Zukunft dank der am DLR gewonnenen Daten mit Unterdruckhosen durchs All reisen.

Philipp Burtscheidt ist Redakteur in der DLR-Kommunikation.

Diese Pumpen sorgen für den Unterdruck in den LBNP-Kammern, in denen die Probandinnen und Probanden täglich insgesamt sechs Stunden mit dem Unterkörper liegen. Damit die Betriebsgeräusche nicht stören, stehen sie außerhalb der Zimmer.



WAS IST DAS :envihab?

In dieser einzigartigen luft- und raumfahrtmedizinischen Forschungseinrichtung des DLR in Köln werden unter anderem die Betruhestudien durchgeführt. Auf 3.500 Quadratmetern beherbergt es acht nach dem Haus-im-Haus-Prinzip konzipierte Module. Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten liegen in den Bereichen Weltraum- und Flugphysiologie, Strahlenbiologie, Luft- und Raumfahrtpsychologie, operationelle Medizin, Biomedizin sowie analoge terrestrische Szenarien wie beispielsweise die Betruhestudien. Es gibt eine Kurzarm-Humanzentrifuge, Laboratorien, in denen die Wirkung von Sauerstoffreduktion und Druck untersucht werden, eine Ganzkörper-MRT/PET-Anlage, Bereiche, in denen psychische Stress- und Erholungssituationen simuliert werden können, sowie mikro- und molekularbiologische Forschungsinstrumente. Der Name :envihab ist eine Verschmelzung von „environment“ (Umwelt) und „habitat“ (Lebensraum).

📍 DLR.de/me

IN EINE WELT AUS EISEN UND NICKEL

Eine NASA-Explorationsmission wird einen besonderen Asteroiden untersuchen

von Ulrich Köhler

Das Wort führen wir oft im Munde, es ist ja auch etwas mythisch besetzt: die Psyche. Dabei hat es einen geradezu romantischen Ursprung. Die Buchstaben verraten es schon ein wenig, es ist ein Begriff aus der europäischen Antike. Psyche und Amor, die „Seele“, so die Übersetzung des Wortes aus dem Griechischen, und Liebesgott Amor. Um die beiden Göttlichen ranken sich so einige Geschichten. Ganz prosaisch gibt es auch einen Asteroiden Psyche – ein echtes Schwergewicht unter den Kleinkörpern. Bald startet eine gleichnamige NASA-Mission dorthin. Sie soll sich am 1. August 2022 auf den Weg machen, auch das DLR ist dabei. Psyche, Mission und Asteroid, werden weitere Aufschlüsse zur Planetenentstehung und Dynamik des frühen Sonnensystems liefern.

Die Astronomen von der Antike bis zur Neuzeit orientierten sich bei der Namensgebung der Planeten, Monde und seit 1801 auch der Asteroiden – damals wurde Ceres, der erste von ihnen, entdeckt – an Figuren der Antike. So fand auch die mythologische Psyche ihren Platz im Sonnensystem, als 1852 Annibale de Gasparis mit dem Teleskop der Sternwarte Neapel nahe der Jupiterbahn einen „Sternenähnlichen“ entdeckte. Der damals 16. Asteroid bewegte sich als Lichtpunkt vor dem Sternenhintergrund. Seine genaueren Eigenschaften waren zu dieser Zeit noch unbekannt. Man wusste nur, dass er am äußeren Rand des Asteroidengürtels seine Kreise zieht.

Erst sehr viel später wurde deutlich, dass der von de Gasparis wegen seiner Nähe zur Jupiterbahn mit dem Namen Psyche benannte Asteroid ungewöhnliche Eigenschaften besitzt: Er ist ein richtig „schwerer Brocken“ im Asteroidenhauptgürtel, jenem Band von Kleinkörpern, in dem inzwischen mehr als eine Million Asteroiden bekannt sind.

Bruchstücke und Überbleibsel der Frühzeit des Sonnensystems, als sich die Planeten aus den Myriaden von kleinen, aber zunehmend auch größeren Körpern gebildet haben. Das Außergewöhnliche an Psyche ist nur: Dieser Asteroid ist viel massiver als alle anderen Asteroiden, er muss aus metallischen Elementen bestehen. Mit einer Dichte von 4,5 Gramm pro Kubikzentimeter ist er vergleichsweise nur wenig „leichter“ als die Erde mit ihren durchschnittlich 5,5 Gramm pro Kubikzentimeter. Allerdings besitzt er nur ein Zweihunderttausendstel der Erdmasse. Wie ist das möglich, finden sich auf diesen fernen Bahnen meist nur Asteroiden mit gefrorenen, leichteren Bestandteilen?

Asteroiden sind nicht gleich Asteroiden

Dazu muss man an die Anfänge des Sonnensystems zurückgehen, als vermutlich etwa neun Milliarden Jahre nach dem Urknall am Rande der Milchstraße, unserer Heimatgalaxis, ein oder zwei Sterne explo-

dierten – Supernovae! Rasch zog sich die Wolke übrig gebliebenen Staubs und die großen Mengen an Wasserstoff mitsamt der bei den hohen Temperaturen gebildeten höheren Elemente zu einer Gas-Staub-Scheibe zusammen. Diese nahm den Rotationsimpuls der Galaxis auf und begann um ihr Zentrum zu kreisen.

Vor 4,6 Milliarden Jahren zündete die aus dem Wasserstoff dieser Scheibe zusammengeballte Sonne. Nicht einmal ein Prozent der ursprünglichen Masse aus Staub, Wasserstoff und höheren Elementen blieb für die Planeten übrig. In überraschend kurzer Zeit formten sich aus dem größten Teil Planetesimale, Vorläufer, aus denen sich in wenigen Zehnmillionen Jahre die Planeten zusammenballten, die seither die Sonne umkreisen. Übrig blieben Milliarden von Kometen und Millionen von Asteroiden, nur ein winziger Bruchteil der Scheibenmasse. Die meisten Asteroiden umkreisen seither die Sonne zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter.

Zwangsläufig kollidierten die Körper infolge von Schwerkrafteinflüssen oder der schieren Dichte dieser Kleinkörperpopulation auch untereinander und, dann aus der Bahn geworfen, mit den

Während der Psyche-Orbiter leicht in ein Altbau-Wohnzimmer passt, werden die entfalten Solarpanele eine Fläche von der Größe eines Tennisplatzes einnehmen.



NASA/JPL-Caltech/Arizona State Univ./Space Systems Loral/Peter Rubin

Planeten des inneren Sonnensystems. Viele Hunderttausende von ihnen wurden bei diesem kosmischen Billard so aus dem Spiel genommen. Sie wurden gewissermaßen „eingelocht“ auf den Oberflächen der erdähnlichen Planeten, dem Mond, pulverisiert in der Atmosphäre des Schwerkraftriesen Jupiter oder schlugen ein auf seinen Monden und denen des Saturn. Zum Teil waren es riesige, in manchen Fällen Asteroiden von weit über hundert Kilometern Durchmesser, von denen die Planeten und der Mond getroffen wurden. Davon zeugen die unzähligen Krater wie beispielsweise das Südpol-Aitken-Becken auf der Rückseite des Mondes, mit über zweitausend Kilometern Durchmesser das größte Einschlagsbecken im Sonnensystem.

Exot geboren aus Kollisionen

Im Asteroidengürtel gab es zudem vor mehr als vier Milliarden Jahren etliche Körper, die offensichtlich schon eine thermale, geochemische und physikalische Entwicklung genommen hatten, ähnlich der von jungen Planeten und dem Mond der Erde. In der Planetenforschung spricht man von „Differentiation“, einer geschichteten Trennung der Stoffe in Kern, Mantel und Kruste: Die Gesetze der Schwerkraft lassen

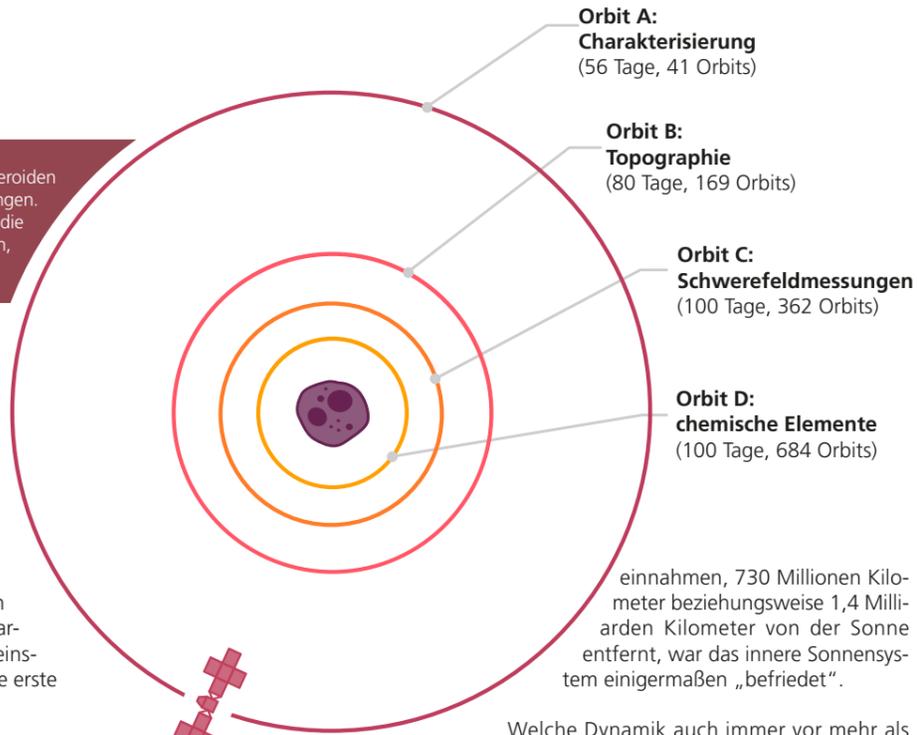


NASA/JPL-Caltech

Sobald die Sonde im Jahr 2026 den Asteroiden erreicht, wird sie etwa 21 Monate dort verbringen. Währenddessen wird sie von vier Orbits aus, die sich dem Asteroiden immer weiter annähern, wissenschaftliche Experimente durchführen.

in einem zunächst heißen, homogen durchgemischten Körper ab einem Durchmesser von über 300 bis 500 Kilometern die schweren Bestandteile, also die metallischen Komponenten, zum geometrischen Zentrum sinken. Dort bilden sie den Kern. Die etwas leichteren Gesteine – durchaus auch mit beträchtlichen Anteilen an metallischen Elementen in den Mineralen – formen darüber einen Mantel. Die leichtesten Gesteinskomponenten treiben auf und bilden eine erste Kruste.

Die größten dieser Asteroiden waren also möglicherweise schon weit mehr als nur kleine Krümel im Asteroidenhauptgürtel. Es waren Körper, die bereits zu kleinen Planeten herangewachsen waren und dann wiederum durch Kollisionen häufig zerstört oder verkleinert wurden. Als größter Körper ist der tausend Kilometer durchmessende Zwergplanet Ceres übriggeblieben. Eine spektakuläre Modellierung der dynamischen Vorgänge jener Zeit vor etwa vier Milliarden Jahren, das viel diskutierte „Nizza-Modell“, benannt nach Wissenschaftlern vom Observatorium Côte d'Azur, geht sogar davon aus, dass Jupiter mit Saturn im Schlepptau über einen Zeitraum von mehreren hundert Millionen Jahren seine Umlaufbahnen immer enger um die Sonne gezogen hat und unzählige Asteroiden quasi ins innere Sonnensystem drückte. Dort schlugen diese auf den vier Planeten samt Mond in viel höherer Frequenz ein: der sogenannte „finale Kataklysmus“ oder auch das „späte, heftige Bombardement“. Erst als die beiden Gasriesen sich wieder entfernten und ihre heutigen Bahnen



einnehmen, 730 Millionen Kilometer beziehungsweise 1,4 Milliarden Kilometer von der Sonne entfernt, war das innere Sonnensystem einigermäßen „befriedet“.

Welche Dynamik auch immer vor mehr als vier Milliarden Jahren im Asteroidengürtel herrschte, es gilt als sehr wahrscheinlich, dass bei einer gewaltigen Kollision zweier schon mehrere hundert Kilometer großer Körper die Gesteinsanteile der beiden Asteroiden größtenteils weggesprengt wurden und nur noch ein nicht ganz 300 Kilometer großer Metallkern übrigblieb. Dieser Asteroid – Psyche – zog fortan seine Bahn am äußeren Rand des Asteroidengürtels um die Sonne.

Kameras und Spektrometer nehmen den Asteroiden unter die Lupe

Mit der gleichnamigen Mission soll nun erstmals ein derartiger Exot unter den „Sternenähnlichen“ aus der Nähe untersucht werden, mit dem klassischen Instrumentenkasten der Planetenforschung: zwei baugleichen Multispektralkameras, deren Filter metallische und silikatische, also felsige, Bestandteile unterscheiden können, einem Gammastrahlen- und Neutronenmessgerät, das die chemischen Elemente und ihre Häufigkeiten bestimmen soll, sowie einem Magnetometer, das Stärke und Ausrichtung eines (in einem metallischen Körper sehr wahrscheinlichen) Restmagnetfelds identifizieren wird. Fast dreieinhalb Jahre wird die Raumsonde zu ihrem Ziel benötigen, um dort dann ihre Mission innerhalb von 21 Monaten zu absolvieren und Psyche aus vier unterschiedlich hohen Umlaufbahnen zwischen 700 Kilometern und 85 Kilometern unter die Lupe zu nehmen.

Das Gammastrahlen- und Neutronenspektrometer des Applied Physics Laboratory der Johns-Hopkins-Universität misst und kartiert die elementare Zusammensetzung von Psyche.



Psyches hochauflösende Multispektralkameras bestehen aus zwei identischen Kameras zur Erfassung von Geologie, Topographie und Mineralogie.

NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS

Johns Hopkins
APL/Eo Whitman

PSYCHE



Start: 1. August 2022, Cape Canaveral

Trägersystem: Falcon Heavy (SpaceX)

Antrieb: „Hall“-Ionenantrieb

Startmasse Psyche: 2.800 kg

Hersteller: MAXAR Inc. (Palo Alto, Kalifornien)

Maße Raumsonde: 3,1 m x 2,4 m x 2,4 m

mit Solarpanelen: 24,7 m x 7,3 m

Ankunft am Ziel: Anfang 2026

Missionsdauer: 21 Monate

Missionsverlauf an Psyche:

3 äquatoriale Orbits (700 km, 290 km, 170 km) + 1 polarer Orbit (85 km Höhe über Grund)

Experimente:

Zwei baugleiche Kameras (Arizona State University), Magnetometer (Technische Universität Dänemark/Massachusetts Institute of Technology, MIT), Gammastrahlen- und Neutronenspektrometer (Applied Physics Laboratory der Johns-Hopkins-Universität), Funkwellenexperiment (MIT/JPL), bis auf Höhe Mars Test Laserkommunikation (Deep Space Optical Communication, JPL)

DIE MISSION

Psyche ist die 14. NASA-Mission der seit 1997 wissenschaftlich und technologisch sehr erfolgreichen, dabei organisatorisch „schlanken“ Discovery-Klasse. Sie wurde 2017 beschlossen. Ziel sollte erstmals kein Körper aus Gestein, Eis oder Gas im Sonnensystem sein, sondern ein Objekt, das überwiegend aus Metallen besteht – der gleichnamige Asteroid Psyche. Er besteht vermutlich aus denselben Metallen, aus denen auch der Erdkern und sehr wahrscheinlich auch die Kerne von Merkur, Venus, Mars und Mond zusammengesetzt sind.

Die Mission wird wissenschaftlich von Prof. Lindy Elkins-Tanton von der Arizona State University geleitet und vom Jet Propulsion Laboratory der NASA in Pasadena durchgeführt. Deutschland ist mit dem DLR durch Dr. Thomas Roatsch vom Institut für Planetenforschung und Prof. Ralf Jaumann (Freie Universität Berlin) beteiligt. Zwei weitere Wissenschaftler und eine Wissenschaftlerin des DLR sind ebenfalls Teil des Teams.

DER ASTEROID

(16) Psyche wurde 1852 von Annibale de Gasparis aus dem Observatorium Neapel entdeckt. Er benannte den Körper nach der Göttin der Seele in der griechischen Mythologie. Psyche ist der größte Asteroid der M-Klasse (metallreiche Asteroiden).



Durchmesser: 250 km

Sonnenentfernung: 2,5–3,3 AE*

Umlaufzeit: 5 Jahre

Inklination zur Erdbahn: 3,1°

Rotationsdauer: 4 Stunden, 12 Minuten

Reflexionsvermögen: 12 %

Dichte: 4,5 g/cm³

Hauptbestandteile: Eisen, Nickel, Silikate

*Als Astronomische Einheit (AE) wird die Entfernung Erde–Sonne bezeichnet, also 150 Millionen Kilometer.

Das DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin unterstützt die Mission bei der Planung und Auswertung von Stereobildern, um daraus kartografische Produkte wie Bildmosaik oder digitale Geländemodelle zu erstellen. Diese sind für eine detaillierte geologische Untersuchung von Psyche unerlässlich. Die DLR-Fachleute stützen sich hier auf ihre jahrzehntelange Expertise in der Stereobildernverarbeitung und der geologischen Interpretation der Oberflächen von Planeten, Monden, Asteroiden und Kometen.

Dass solch metallreiche Asteroiden auch im Hauptgürtel eher die Ausnahme sind, spiegelt sich ebenfalls in den irdischen Meteoriten-

sammlungen wider. Diese „M-Klasse“, metallreiche Meteoriten, ist dort nur spärlich vertreten. Unter den 258 Eisenmeteoriten sind auch einige der schwersten je gefundenen Exemplare. So bringt der in Argentinien aufgefundene Eisenmeteorit Vaca Muerta („tote Kuh“) fast vier Tonnen auf die Waage. Solche „Gratisproben aus dem Sonnensystem“ werden später für die Psyche-Mission als spektrale Referenz dienen.

1991 hatte **Ulrich Köhler**, Geologe am DLR-Institut für Planetenforschung, seinen ersten „Kontakt“ mit einem Asteroiden als die Raumsonde Galileo auf dem Weg zum Jupiter an Gaspra vorbeiflog. Die ersten Fotos waren damals eine Sensation.

Darstellungen Asteroid und Sonde: NASA/JPL-Caltech/ASU



DIE ERDE IN MEHR ALS ALLEN FARBEN

Der deutsche Erdbeobachtungssatellit EnMAP liefert Daten über den Zustand unseres Planeten von Dr. Sebastian Fischer und Martin Fleischmann

Es ist der erste Hyperspektralsatellit, der in Deutschland entwickelt und gebaut wurde: EnMAP steht für Environmental Mapping and Analysis Program. Am 1. April 2022 ist er an Bord einer Falcon-9-Rakete des US-Raumfahrtkonzerns SpaceX von Cape Canaveral in Florida zu seinem Zielorbit aufgebrochen. Von dort aus soll der Umweltsatellit mindestens fünf Jahre lang Daten zu den Auswirkungen des Klimawandels auf der Erde liefern.

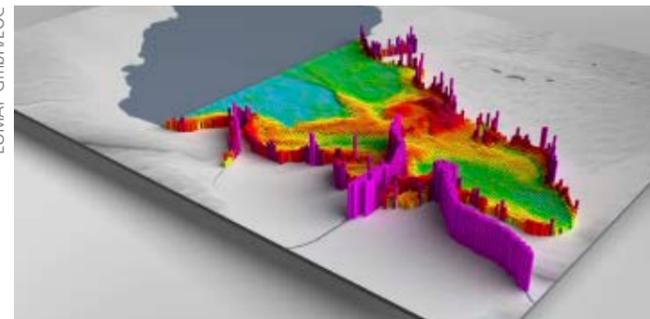
Alle Materialien auf der Erdoberfläche reflektieren das Sonnenlicht in einer charakteristischen Art und Weise, einer sogenannten Spektralsignatur. Mithilfe von Spektrometern können Fernerkundungssatelliten wie EnMAP solche Signaturen „lesen“. Mit ihren Instrumenten können sie größere, weit über das sichtbare Licht hinausgehende Wellenlängenbereiche aufzeichnen und diese in Bildern kombinieren. EnMAP hat 242 Farbkanäle – ein handelsüblicher Fotoapparat hat eine dreikanalige Kamera. Mit einer Auflösung von 6,5 Nanometern im sichtbaren und nahinfraroten Bereich und bei zehn Nanometern im kurzwelligen Infrarotbereich sieht der Umweltsatellit Details, die dem menschlichen Auge verborgen bleiben. „Mit dem Start von EnMAP schließen wir eine Lücke in der modernen Erdbeobachtung. Der Weg, den wir dafür gegangen sind, war extrem wichtig für die Leistungsfähigkeit der deutschen Raumfahrtwissenschaft und -industrie. Die Mission hat auf vielen Gebieten neue Entwicklungen an der Grenze des

technisch Machbaren erfordert. Am Ende ist ein Satellit dabei herausgekommen, der der gesamten Menschheit zugutekommt“, betont Dr. Walther Pelzer, DLR-Vorstandsmitglied und Leiter der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR in Bonn.

Anhand der gelieferten Bilder können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die aufgenommenen Materialien bestimmen und sogar quantifizieren. So können sie beispielsweise nicht nur erkennen, welche Fruchtart auf einem Acker angebaut wird, sondern auch, wie gut diese mit Nährstoffen versorgt ist. Auch können Mineralien in Böden erkannt und quantifiziert werden. Bislang ist so etwas nur mit Flugzeugbefliegungen möglich. Diese können allerdings nur Gebiete innerhalb eines bestimmten Radius aufzeichnen. „Die EnMAP-Daten werden vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum sowie vom Institut für Methodik der Fernerkundung des DLR prozessiert, archiviert

Mineralkartierung für die Kupfer-Molybdän-Lagerstätte am Haib River, Namibia. Die Karte wurde auf Basis von simulierten EnMAP-Daten erstellt (Maßstab: 1 Zentimeter entspricht 0,65 Kilometern).

EOMAP GmbH/H/EOC



Der Gehalt an Schwebstoffen im Bodensee. Violett zeigt einen hohen (circa 20 mg/l), Hellblau einen niedrigen (circa 0,1 mg/l) Gehalt.

bestimmen. „So erhalten wir wichtige Informationen zum Thema globale Ernährungssicherheit. Aber nicht nur das: EnMAP kann uns auch Daten zu nachhaltigem Abbau von Rohstoffen und deren Lagerstätten liefern“, sagt Prof. Dr. Sabine Chabrillat, wissenschaftliche Leiterin von EnMAP am GeoForschungsZentrum Potsdam. Aber der Satellit hat nicht nur die Landfläche im Visier: Er wird auch Küstengebiete und Binnengewässer erfassen und Hinweise darüber liefern, welche Gebiete von Wassermangel oder Wassergüteproblemen betroffen sind, sowie den Zustand des Wattenmeeres oder von Permafrostböden dokumentieren.

Dr. Sebastian Fischer ist EnMAP-Projektleiter bei der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR. **Martin Fleischmann** ist dort als stellvertretender Gruppenleiter und Redakteur in der Kommunikation tätig.

EnMAP – DIE DEUTSCHE UMWELTMISSION UND IHRE PARTNER

Die Umweltmission EnMAP wird von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR in Bonn im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geführt. Mit der Entwicklung und dem Bau des Satelliten sowie des Hyperspektralinstrumentes wurde die OHB-System AG beauftragt. Die Mission steht unter der wissenschaftlichen Leitung des GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ). Mit dem Aufbau und dem Betrieb des Bodensegiments sind drei Institute und Einrichtungen des DLR beauftragt worden: Das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum in Oberpfaffenhofen wird den Satellitenbetrieb durchführen und überwachen. Das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum und das DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung werden die empfangenen Satellitendaten archivieren, prozessieren, validieren und für die Wissenschaft zugänglich machen. Auch Firmen und Behörden werden die Daten ausprobieren und damit künftige Services vorbereiten. Die zukünftige Nutzung der EnMAP-Hyperspektraldaten durch Universitäten und wissenschaftliche Einrichtungen und die Entwicklung von speziellen Anwendungen werden durch BMWK-Förderprogramme unterstützt.

ZAHLEN UND FAKTEN ZUR MISSION:

Start: 1. April 2022 mit einer SpaceX-Falcon-9-Rakete von Cape Canaveral (USA)

Orbithöhe: 653 km, sonnensynchron

Satellitengröße: 3 m x 2,1 m x 1,5 m

Satellitengewicht: circa 980 kg

Energieverbrauch: 800 W

Spektrometer: Visible Near Infrared Camera (VNIR) und Short Wave Infrared Camera (SWIR)

Wellenlängenbereich: VNIR: 420–1.000 nm; SWIR: 900–2.450 nm

Räumliche Auflösung: 30 m x 30 m

Spektrale Auflösung: VNIR: 6,5 nm; SWIR: 10 nm

Weitere Informationen: Sonderseite zur Mission: DLR.de/EnMAP sowie ein ausführlicher Artikel zur Mission in der Ausgabe Nummer 42 der COUNTDOWN



Kurz bevor sich die Nutzlastverkleidung an der Spitze der Falcon-9-Rakete schloss, wurde noch ein Bild aufgenommen. Es zeigt viele der insgesamt 40 zum Teil sehr kleinen Nutzlasten. EnMAP an der Spitze der sogenannten Transporter-4-Mission von SpaceX ist der größte Satellit an Bord.

ZURÜCK ZUM MOND

Das Experiment MARE misst die Strahlenbelastung im Weltraum

ORION

EUROPÄISCHES SERVICEMODUL (ESM)

- Energie, Treibstoff, thermische Steuerung, Luft, Wasser
- Hauptantrieb: circa 2.500 Newton Schub
- 8 Hilfsantriebe: jeweils circa 500 Newton Schub
- 24 Laufbahn-Korrekturdüsen

DAS CREW-MODUL
- Platz für vier Personen

STRAHLENGESCHÜTZTE ELEKTRONIK
- Computergehäuse und Außenverkleidung der Kapsel

NASA-PILOTEN-PUPPE COMMANDER MOONIKIN CAMPOS

- Ausstattung:
- Überlebensanzug der zukünftigen Orion-Crew
 - Zwei Strahlungssensoren
 - Beschleunigungs- und Vibrations-sensoren in Kopfstütze und Sitz

HITZESCHUTZSCHILD
- hält Temperaturen bis zu 2.700° Celsius stand

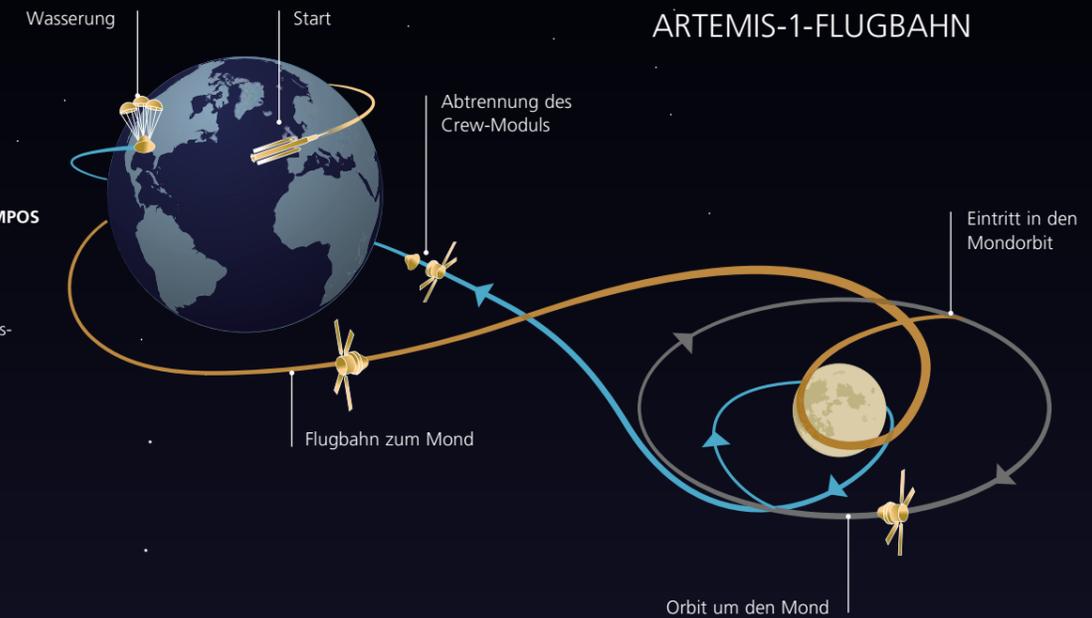
SOLARPANELE
- 7 Meter lang
- 3.750 Solarzellen pro Panel
- Insgesamt 11 Kilowatt Energie

ARTEMIS UND MARE

Auf ihrer Reise zum Mond verlassen Astronautinnen und Astronauten das schützende Magnetfeld der Erde. Ab dann ist der menschliche Körper der Weltraumstrahlung ungeschützt ausgesetzt. Die geladenen Teilchen sind ein großes gesundheitliches Risiko und damit ein entscheidender Faktor im Hinblick auf zukünftige Langzeitaufenthalte im Weltraum.

In dem Experiment MARE (Matroschka AstroRad Radiation Experiment) erforscht das DLR gemeinsam mit der NASA, der israelischen Raumfahrtagentur ISA sowie den Firmen Lockheed Martin und StemRad, wie hoch das Strahlenrisiko bei einem Mondflug ist und welche Schutzmaßnahmen helfen können.

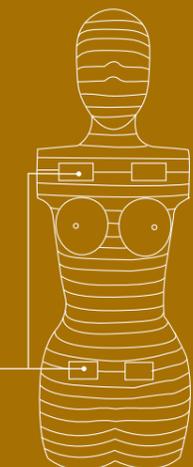
Mehr als 50 Jahre nach der ersten Mondlandung möchte die NASA im Rahmen der Artemis-Mission die erste Frau mit dem Orion-Raumerschiff zum Mond bringen. Die NASA-Artemis-1-Mission wird im Sommer 2022 starten, zunächst ohne menschliche Besatzung: Mit an Bord sind Helga und Zohar.



HELGA UND ZOHAR

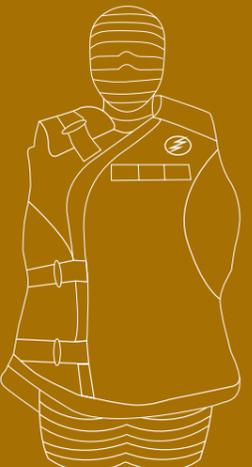
Helga und Zohar sind dem menschlichen Torso nachempfundene Messkörper. Sie sind die ersten weiblichen Phantome, die in der Raumfahrt eingesetzt werden. Ihre Körper bestehen aus Kunststoffscheiben unterschiedlicher Dichten, die – an den anatomisch passenden Positionen – das menschliche Skelett und die Organe simulieren. Da es in Zukunft immer mehr Astronautinnen geben wird, ist der Bedarf an Daten über den weiblichen Organismus entsprechend groß.

DLR-PHANTOM HELGA



Gewicht: 36 kg

ISA-PHANTOM ZOHAR



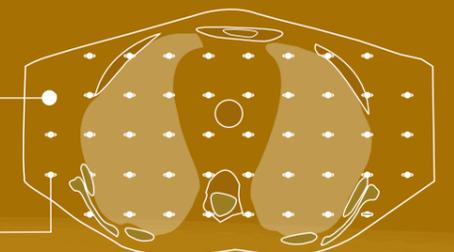
52 kg mit AstroRad-Weste

Aktive Detektoren an und in Helga und Zohar, insgesamt 34 – unter anderem an den strahlenempfindlichsten Organen (Lunge, Magen, Gebärmutter, Knochenmark)

LUNGENSCHEIBE

Kristalle fungieren als passive Detektoren und speichern Informationen über die Strahlenbelastung (5.600 pro Phantom).

Bohrungen für Kristalle



Mehr Informationen unter [DLR.de/MARE](https://www.dlr.de/MARE)



Eine Mitarbeiterin der Universität Évora und ein Mitarbeiter des Unternehmens TSK überprüfen einen Abschnitt der Anlage.



In der Testanlage wird flüssiges Salz, das durch das Metallrohr in der Mitte des Parabolspiegels fließt, mithilfe von Sonnenenergie erhitzt.

SONNE UND SALZ

An der Évora Molten Salt Platform in Portugal betreibt das DLR Forschung für solarthermische Kraftwerke

von Elke Reuschenbach

Fährt man von Lissabon aus über den Fluss Tejo in Richtung Osten, kommt man in die Region Alentejo und erreicht nach rund eineinhalb Stunden Fahrt die Universitätsstadt Évora. Auf einem Testgelände im idyllischen Umland der Stadt, umgeben von alten Korkeichen, Olivenbäumen und Schafwiesen, forschen das DLR und die Universität Évora mit europäischen Industriepartnern für die Energiewende. Forschende, Ingenieurinnen und Ingenieure betreiben hier eine Parabolrinnen-Testanlage mit dem Wärmeträgermedium Flüssigsalz, die Évora Molten Salt Platform, kurz EMSP.

Flüssigsalz statt Thermo-Öl

In gängigen Parabolrinnen-Kraftwerken fokussieren Spiegelrinnen Sonnenlicht auf ein von einem Glasrohr umhülltes Metallrohr, in dem ein spezielles Thermo-Öl die Wärme aufnimmt. Rohrleitungen transportieren das heiße Öl zu einem Dampferzeuger, der eine Turbine zur Stromerzeugung antreibt, oder zu einem mit Salzschnmelze gefüllten Wärmespeichertank. Wenn das Solarfeld wenig oder keine Wärmeenergie bereitstellt, etwa bei Wolkendurchzügen oder nachts, kann das Kraftwerk auf die im Salz gespeicherte Wärme zurückgreifen.

Höhere Betriebstemperaturen verbessern den Wirkungsgrad der Umwandlung von Sonnenenergie zu Wärmeenergie und Strom. Sie zu erhöhen ist allerdings nicht ohne Weiteres möglich, da der Einsatz von Thermo-Öl die maximale Betriebstemperatur auf 400 Grad Celsius begrenzt. Salzschnmelze hingegen lässt sich auf bis zu 565 Grad Celsius erhitzen. Eine Idee, die die Forschenden verfolgen, ist daher,

das Flüssigsalz bereits im Solarfeld zu nutzen. Beim „Wärmetausch“ vom Öl auf das Salz im Wärmespeicher geht zudem ein Teil der Energie verloren. Mit Salzschnmelze als alleinigem Wärmeträger- und Speichermedium kann der Wärmetauscher entfallen, es kommt mehr nutzbare Energie im Speicher an und die Kosten des Speichersystems sinken. Die größte Herausforderung liegt darin, das Salz dauerhaft in flüssigem Zustand zu halten. Denn je nach Salzschnmelze verflüssigt es sich erst bei einer Temperatur zwischen 130 und 240 Grad Celsius. Damit es beim erstmaligen Befüllen und während des Betriebs nicht erstarrt, ist eine elektrische Zusatzheizung erforderlich. In Évora überprüfen die Forschenden unter anderem, wie sich diese im praktischen Einsatz bewährt und bestmöglich ins Gesamtsystem integrieren lässt.

„Mit der Testanlage in Évora können wir unsere theoretischen Berechnungen und Annahmen unter realitätsnahen Einsatzbedingungen überprüfen“, sagt Dr. Jana Stengler, Leiterin der Gruppe Fluidsysteme im DLR-Institut für Solarforschung. „In der Praxis zeigen sich

Situationen, die wir in unseren Auslegungsrechnungen nicht vorhergesehen haben. Zum Beispiel können wir nur unter realen Bedingungen feststellen, wie sich das Salz auf die salzführenden Komponenten auswirkt. Dann können wir die Bauteile entsprechend anpassen und verbessern.“

Solarthermische Kraftwerke statt fossile?

Solarthermische Kraftwerke sind in sonnenreichen Ländern wie Spanien, den USA oder Chile bereits heute Teil des Energiesystems. Die Kosten für die Stromproduktion sind bei ihnen zwar tagsüber höher als die von Fotovoltaikanlagen, aber in angeschlossenen Wärmespeichern können sie während des Tages Wärmeenergie aufnehmen und für bis zu zwölf Stunden vorhalten, auch bei Volllastbetrieb des Dampferzeugers. Das Speichern von vergleichbaren Mengen Strom in Batteriespeichersystemen wäre wesentlich teurer, zudem gibt es bislang noch keine Batteriespeicher für Strommengen im Gigawattstundenmaßstab. Solarthermische Kraftwerke können PV-Anlagen hervorragend ergänzen, indem sie vor allem in den Tagesrand- und Nachtzeiten Strom produzieren und wenn an sonnenreichen Tagen nicht genügend Windstrom verfügbar ist. In Ländern mit ausreichend vielen Sonnenstunden sind sie sogar geeignet, zukünftig die Grundlastsicherung zu übernehmen – eine Aufgabe, die bisher überwiegend bei Kohlekraftwerken liegt.

Das DLR erforscht bereits seit den 1970er Jahren konzentrierende Solartechnologien. Heute setzen die meisten solarthermischen Kraftwerke weltweit Technologien ein, die Forschende aus dem DLR entwickelt haben. „In Deutschland reichen die jährlichen Sonnenstunden nicht aus, um mit solarthermischen Anlagen Strom rentabel zu erzeugen, aber trotzdem könnten Kollektoren mit Flüssigsalz als Wärmeträgermedium in anderen Anwendungsbereichen auch hier zum Einsatz kommen“, erklärt Dr. Michael Wittmann, DLR-Projektleiter an der EMSP, und ergänzt: „Ein Beispiel ist die Erzeugung und Bereitstellung von Prozesswärme für die Industrie. Deshalb ist die Forschung in Évora auch für die Wärmewende in Deutschland von Nutzen.“

Elke Reuschenbach verantwortet die Kommunikation im DLR-Institut für Solarforschung.

FAKTEN ZUR ÉVORA MOLTEN SALT PLATFORM:

Eigentümerin der Anlage:
Universität Évora

Gesamtleistung des Solarfelds:
3,5 Megawatt

Thermische Leistung des Dampferzeugers:
1,6 Megawatt

Länge der Parabolrinnen-Kollektoren:
684 Meter

Zieltemperatur für das Salz:
565 Grad Celsius

Die Anlage ist mit einem Zweitank-Speichersystem ausgestattet.

Erste Tests starteten im Oktober 2021.

Industriepartner: TSK Flagsol, Rioglass, Yara, Steinmüller Engineering, Eltherm, RWE



Bilder: Universidade de Évora/Hugo Faria

WIE HAMBURG ZU EINEM VERKEHRSLABOR WURDE

DLR-Forscherinnen und -Forscher haben untersucht, welche Maßnahmen die Mobilität verbessern können

von Jasmin Begli

31 Partnerorganisationen, zehn Projekte, eine Stadt: Das ist das Reallabor Hamburg. Von 2020 bis 2021 war die Stadt selbst ein Forschungsparadies für digitale Mobilität. Das Ziel: Akteure aus Wissenschaft, Industrie, Kommunalpolitik und Gesellschaft sollten Handlungsempfehlungen erarbeiten, damit das Mobilitätssystem umwelt- und klimagerecht gestaltet werden kann. Die DLR-Institute für Verkehrssystemtechnik und für Verkehrsforschung waren in vier Teilprojekten des Reallabors Hamburg mit von der Partie.

Eins steht fest: Bei der Frage, wie der Verkehr der Zukunft aussehen wird, rücken die Nutzerinnen und Nutzer immer mehr in den Fokus. Um alles so bedarfsgerecht wie möglich zu gestalten, müssen sowohl Bürgerinnen und Bürger als auch Mobilitätsanbieter von Anfang an mitgenommen werden. Hier setzen die Reallabore an. „Das DLR ist bereits seit Jahren an mehreren Projekten dieser Art beteiligt“, sagt Prof. Michael Ortgiese, Direktor des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik. „Und auch im Reallabor Hamburg floss unser Wissen über innovative Technologien für den zukünftigen Verkehr mit ein.“ Von der Nutzerbefragung über die Simulation, das autonome Fahren oder die Digitalisierung bei der Bahn – das DLR hatte seine Finger, oder besser sein Wissen, im Spiel.

Auf die Menschen zugehen – online und offline

„Damit eine moderne und neue Art der Mobilität überhaupt gelingen kann, braucht es Menschen, die sie nutzen und voranbringen“, so Dr. Mandy Dotzauer vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik,

die den Bürgerdialog koordinierte. Klar ist: Wenn potenzielle Nutzerinnen und Nutzer oder Betreibende zukünftiger Angebote nicht abgeholt und mitgenommen werden, ist es unwahrscheinlich, dass Veränderungen im Mobilitätssystem akzeptiert werden und langfristig Bestand haben. In Dialogen im Reallabor Hamburg wurden sie gehört, durften selbst erleben, gestalten und ausprobieren.

„Mitgestalten konnten die Bürgerinnen und Bürger beispielsweise im ZuHörMobil“, erzählt Dotzauer. „Unser Elektrobus war im August 2021 in der Metropolregion Hamburg an sieben Orten unterwegs, um mit den Menschen direkt über ihre Wünsche und Bedenken in Bezug auf die Mobilität der Zukunft zu sprechen.“ Im ZuHörMobil konnten diese sich spielerisch und ganz persönlich mit dem Thema Digitalisierung und Mobilität auseinandersetzen. Dabei halfen ein Glücksrad, ein Memory und Möglichkeiten, seine Meinung zu hinterlassen – sogar direkt auf dem Fahrzeug.



Das ZuHörMobil war während des Projekts in Hamburg unterwegs. Auf ihm war Platz, um Vorschläge und Meinungen zu hinterlassen.

Das Projekt kam gut an. Während der elftägigen Aktion trat das DLR-Team mit etwa 330 Personen in den Dialog. Die Themen: Radverkehr und -infrastruktur, soziale Teilhabe älterer Menschen durch Anbindung, Verfügbarkeit und Barrierefreiheit, Elektromobilität, autonomes Fahren, bessere ÖPNV-Verbindungen (öffentlicher Personennahverkehr) und -Kostenanreize sowie die Flexibilität des Autofahrens. Ein Ergebnis: „Die Bürgerinnen und Bürger wünschen sich mehr Beteiligungsmöglichkeiten. Sie wollen sich einbringen und mitgestalten“, sagt Dotzauer. „Bei neuen Angeboten fehlt ihnen oft die Information und das ‚An-die-Hand-nehmen‘.“

Zusätzlich zum ZuHörMobil, das überwiegend ältere Menschen anzog, ergänzte eine Online-Version auf der Website das Angebot, um auch die jüngere Generation anzusprechen. Alle zwei Wochen konnten die Bürgerinnen und Bürger online über Statements zur aktuellen und zukünftigen Mobilität abstimmen. Außerdem gab es mehrere Workshops, die pandemiebedingt auch online stattfanden. Interessierte aller Altersgruppen kamen dort zusammen und entwickelten neue Ideen für den Verkehr in ihrer Stadt. „Ganz wichtig war uns dabei: Keine Idee ist zu verrückt und alle Ängste und Bedenken haben ihre Berechtigung“, so Mandy Dotzauer. Die Forschenden sind sich einig: Um ein klares Bild zu zeichnen, sind sowohl Online- als auch Offline-Angebote nötig. Zielgruppen waren aber nicht nur die Bürgerinnen und Bürger, auch Stakeholder aus Verwaltung, Industrie, von Mobilitätsdienstleistern und Interessenverbänden wurden zu eigenen Veranstaltungen eingeladen. „Wir wollten die Ergebnisse aus der Beteiligung auch zielgerichtet an Industrie,



Kommunalverwaltung und Politik kommunizieren. Das wurde in Hamburg sehr dankbar aufgenommen.“

Ein weiteres wichtiges Feld in der Kommunikation ist das Erleben. So konnten die Bürgerinnen und Bürger innovative Verkehrsmittel wie On-Demand-Shuttle in Ahrensburg, Winsen und Trittau oder ein automatisiertes Shuttle in Bergedorf nutzen. Diese konnten über eine App angefordert werden und fuhren entsprechend nach Bedarf.

Für die letzte Meile: automatisiert und nach Bedarf

Eine breite Nutzung des ÖPNV kann Städte und Straßen entlasten. Platzmangel, Luftverschmutzung, vermehrter Verkehr oder nicht ausreichend verfügbare öffentliche Verkehrsmittel haben starke Auswirkungen auf Städte und Umwelt. Wie wird der ÖPNV so attraktiv, dass möglichst viele Menschen ihn gerne und häufig nutzen? Können durch fahrerlose On-Demand-Shuttles mehr Leute dazu animiert werden, auf die Öffentlichen umzusteigen?

Hamburg-Bergedorf – etwa 36.000 Einwohnerinnen und Einwohner möchten sich von hier aus fortbewegen. Der Stadtteil ist bereits gut durch den ÖPNV erschlossen, jedoch können Fahrten in kleineren Gebieten das Angebot noch verbessern. Dafür setzten die Forschenden On-Demand-Shuttles ein, deren Routen sich aus der Nachfrage ergeben und die so einen Stadtteil mit der S-Bahn verbinden. Ein Shuttle kann bis zu sechs Personen transportieren; es nutzt bordeigene Sensoren zur Navigation, Lokalisierung und Kollisionsvermeidung. Mit ihm lassen sich Lücken zwischen dem Wohnort und der nächsten Haltestelle des ÖPNV schließen. Das ausgewählte Wohnviertel nordöstlich des Bergedorfer Bahnhofs bot sich optimal als Erprobungsgebiet für die vollelektrischen und automatisiert fahrenden Kleinbusse an.

Für den Versuch stellte das DLR Dienste zur Disposition der Fahrzeuge sowie eine Integration in den umgebenden HVV-Verkehr bereit. Zusammen mit den Fahrzeugherstellern Continental und EasyMile erstellten die Akteurinnen und Akteure eine Landschaft von digitalen Diensten, die sowohl die Belange der Shuttlebetreiber als auch die der

Während der Befragung sammelten die DLR-Forschenden Wünsche und Bedenken in Bezug auf die Mobilität der Zukunft.



Nutzenden bediente. Im Bergedorfer Testfeld erprobten die Forschenden im September und Oktober 2021 den ersten Flächen-On-Demand-Verkehr mit virtuellen Haltestellen und automatisierten Shuttles.

Begleitend untersuchten die DLR-Fachleute, welche Anforderungen Nutzerinnen und Nutzer an ein flexibles On-Demand-Angebot mit automatisiert fahrenden Shuttles stellen und wie sie den Service in der im Test umgesetzten Form bewerten. „Wir wollten möglichst nah an den Menschen sein, die diesen Service genutzt haben, und alles über ihre Anforderungen und möglichen Probleme erfahren“, sagt Dr. Annika Dreßler vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik. „So haben wir uns beispielsweise vom Auftreten unerwarteter Erlebnisse während der Fahrt berichten lassen, nachgehakt, wie die Nutzenden die Fahrt im Shuttle erlebt haben, und gefragt, ob sie einen solchen Service auch ohne Fahrzeugbegleitung nutzen würden.“

„Wir wollten möglichst nah an den Menschen sein, die diesen Service genutzt haben, und alles über ihre Anforderungen und möglichen Probleme erfahren.“

Dr. Annika Dreßler

„Mehr als 1.000 Fahrgäste nutzten während des Probebetriebs die Shuttles“, so Anke Sauerländer-Biebl. „Sie fühlten sich auf ihren Fahrten generell komfortabel und sicher und empfanden das Fahrerlebnis überwiegend als angenehm.“ Die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler untersuchten außerdem, was noch verbessert werden kann und welche Hemmnisse potenzielle Fahrgäste derzeit noch abhalten könnten, ein Shuttle zu nutzen.

Unabhängig vom umgesetzten Betrieb in Bergedorf entwickelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einen Prototyp für einen Remote-Control-Leitstellenarbeitsplatz. Die neue Rechtslage erlaubt autonomes Fahren auf öffentlichen Straßen ohne Sicherheitsfahrer an Bord, wenn die Fahrzeuge über Fernzugriff überwacht und



In einem Teilprojekt wurde ein Bahnübergang mit der WLAN-ähnlichen Kommunikationstechnologie V2X ausgestattet. Diese informierte die Verkehrsteilnehmenden über mögliche Wartezeiten.



Für das Reallabor waren automatisiert fahrende Shuttles unterwegs (Bild links).

Die rechte Ansicht stammt aus dem Verkehrssimulator MATSim und zeigt die Verteilung des Verkehrs in Hamburg. Je dicker die jeweilige Straße gezeichnet ist, desto mehr Fahrzeuge wurden darüber bewegt.

im Notfall gesteuert werden können. Dies ist eine neue Aufgabe in Leitstellen. Der Prototyp bestand aus mehreren Bildschirmen, die verschiedene Aufgaben erfüllten: Videoansichten aus dem Fahrzeug zu zeigen, Zustandsmeldungen oder eine Übersicht von Störungsmeldungen zu geben und natürlich die Möglichkeit, einem Fahrzeug neue Koordinaten vorzugeben, um Hindernisse zu umfahren.

Vor der Bahnschranke: gut informiert und sicher

Auch der Schienenverkehr spielte im Reallabor Hamburg eine Rolle. Im Teilprojekt Digitales Andreaskreuz drehte sich alles rund um die Fragen: Kann die Digitalisierung Bahnübergänge komfortabler machen? Können Wartezeiten an Schranken durch einen früheren und besseren Informationsfluss verkürzt werden?

„Unsere Vorstellung ist, dass der Bahnübergang aktuelle Informationen über bevorstehende Wartezeiten oder das Ende der Durchfahrt eines Zuges digital an in der Nähe befindliche Navigationssysteme oder Smartphones sendet“, erklärt Miriam Grünhäuser vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik die Herangehensweise. „Dadurch können Verkehrsteilnehmende auf der Straße vorausschauender unterwegs sein.“ Die Forscherinnen und Forscher sehen viele Vorteile in digitalisierten Bahn-

übergängen: Durch die rechtzeitige Information über geschlossene Schranken wird der Verkehrsfluss rund um den Übergang verbessert. Außerdem fällt es Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmern leichter, zu warten, wenn sie wissen, ob und auch wie lange ein Bahnübergang geschlossen bleibt. Nach wie vor ist die Zahl der Unfälle an Bahnübergängen hoch. Die meisten von ihnen entstehen durch Verkehrsteilnehmende auf der Straße. Wenn diese den Bahnübergang durch die Nachrichten besser wahrnehmen, könnte das die Unfallzahl vermindern. Und: Für das automatisierte Fahren ist die Digitalisierung der Verkehrsinfrastruktur ohnehin unumgänglich.

„Im Reallabor Hamburg haben wir mit zwei Arten von Bahnübergängen gearbeitet“, erklärt Grünhäuser. „Wir haben einen technisch gesicherten in Sieversstücken und einen nicht technisch gesicherten Bahnübergang im Hafengebiet ausgestattet.“ Alle Tests liefen erfolgreich. Um die Nachrichten zu übertragen, nutze das DLR-Team den WLAN-ähnlichen Standard V2X. „Wir mussten allerdings feststellen, dass es bisher keinen gültigen V2X-Standard für Signale und Nachrichten von der Eisenbahninfrastruktur gibt, wie es beispielsweise für Ampelsignale der Fall ist“, sagt Grünhäuser und ergänzt: „Hier muss nachgebessert werden, damit die Eisenbahninfrastruktur zukünftig mit den Verkehrsteilnehmenden kommunizieren kann.“ Dazu liegt ein Änderungsantrag in dem zuständigen Standardisierungsgremium. Das Ergebnis der Diskussion ist noch offen.

Aus Hamburg für das ganze Land – Erkenntnisse aus der Simulation

Welche Erkenntnisse die Forschenden aus den einzelnen Teilprojekten des Reallabors gewannen, welchen Einfluss diese auf die zukünftige Entwicklung von Verkehr und Umwelt haben und wie die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Ergebnisse auf andere Städte übertragen können, ermittelte das Teilprojekt Simulation und Szenarien. Darin trugen die Forschenden die Technologien der anderen Teilprojekte zusammen. „Wir haben den derzeitigen Stand zur Nutzung der Verkehrsträger errechnet und dann mit dem Stand nach Einführung der Maßnahmen verglichen – natürlich hochgerechnet auf das ganze Stadtgebiet“, erklärt Prof. Peter Wagner vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik. „So lässt sich ein gutes Bild davon zeichnen, was sich erreichen ließe, würden die Technologien langfristig in der ganzen Stadt eingesetzt.“ Dafür nutzten die Forschenden eine Simulation der TU Berlin.

Das Ergebnis: Die im Reallabor untersuchten Technologien erhöhen die Attraktivität der öffentlichen Verkehrsmittel und können dafür sorgen, dass rund zwölf Prozent mehr Menschen auf das eigene Auto verzichten. Außerdem sind alle Ideen aus dem Reallabor Hamburg gut auf andere Städte übertragbar, solange sie eine bestimmte Größe haben. Einige Maßnahmen aus dem Projekt haben sich bereits bewährt, wie

der Shuttleverkehr in Ahrensburg, der direkt von der Kommune weitergeführt wird. Wagner stellt aber auch klar: „Mit noch stärkeren Maßnahmen, wie einer Neuverteilung des urbanen Raums zuungunsten des privaten Pkws, lassen sogar 33 Prozent der Menschen in der Innenstadt ihr Auto stehen und nehmen das Fahrrad oder den Bus.“ Dazu können zum Beispiel die Erhöhung von Parkgebühren oder die Umwandlung von Fahrstreifen in Rad- und Fußwege ein geeignetes Mittel sein. „Insgesamt kommt es auf die richtige Mischung aus attraktiveren Mobilitätsangeboten und einer unattraktiveren Nutzung des eigenen Fahrzeugs an“, resümiert Wagner.

Jasmin Begli ist Kommunikatorin für die Standorte Braunschweig, Cochstedt, Stade und Trauen.

DAS REALLABOR IN KÜRZE

Laufzeit:
2020 bis 2021

Forschungsprojekte:

- Mobilitätsplattform
- Dateninteraktion und Souveränität
- Mobilitätsbudget
- Autonomes Fahren
- On-Demand im ländlichen Raum
- Warenmobilität Mikrodepot
- Vernetzte Vulnerable Road Users
- Digitales Andreaskreuz
- Dialogstrategie
- Servicedesign und Simulation

Partnerorganisationen:

BMW, Continental Automotive GmbH, DB Connect, Deutsche Bahn, DEKRA Automobil GmbH, DLR, EasyMile GmbH, Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme, Freie und Hansestadt Hamburg, Hasso-Plattner-Institut für Digital Engineering gGmbH, Hermes Germany GmbH, ioki GmbH, Kreis Stormarn, KVG Stade GmbH & Co. KG, Landkreis Harburg, SAP AG, S-Bahn Hamburg GmbH, Siemens Mobility GmbH, Sixt GmbH & Co. Autovermietung KG, Stadt Ahrensburg, Süderelbe AG, Swarco Traffic Systems GmbH, Technische Universität Berlin, Technische Universität Hamburg, Technische Universität München, T-Systems International GmbH, Urban Software Institute GmbH, Verkehrsbetriebe Hamburg-Holstein GmbH, Hamburger Hochbahn AG, International Data Spaces Association, Rewe digital GmbH



Das Musik-Adventure „Sonority“ ist eine von 370 geförderten Spieleentwicklungen.

GAME ON

370 Projekte profitieren von der Computerspieleförderung des Bundes

Gespräch mit Dr. Matteo Riatti

Computerspiele sind aus dem Alltag vieler Menschen nicht mehr wegzudenken: Laut dem aktuellen Jahresbericht des Verbands der deutschen Games-Branche (2021) greifen inzwischen 58 Prozent der Bürgerinnen und Bürger zwischen 6 und 69 Jahren zumindest gelegentlich zu PC, Konsole oder Smartphone, um in digitale Welten einzutauchen. Damit hat sich dieses Medium neben Film, Buch und Theater zu einem Kulturgut entwickelt, das auch die Politik beschäftigt. Seit 2019 existiert eine Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für Computerspiele, die vom DLR Projektträger (DLR-PT) betreut wird. Dr. Matteo Riatti, Leiter der Abteilung Computerspiele/Kreativbranche im Bereich Gesellschaft, Innovation, Technologie, gibt einen Einblick in seine Arbeit.

Herr Riatti, die Bundesregierung nimmt pro Jahr 50 Millionen Euro in die Hand, um die Gaming-Szene zu fördern. Warum?

Deutschland ist weltweit der fünftgrößte Markt, was digitale Games angeht. Ausgerechnet die Computerspielszene ist aber bislang immer stiefmütterlich behandelt worden: Wir generieren selbst nur fünf Prozent der jährlich hinzukommenden Titel. Dieses Ungleichgewicht versucht die Bundesregierung nun zu beheben.

Was hat die Förderinitiative denn bislang erreichen können?

Sie hat der Branche einen unglaublichen Schub gegeben. Von den rund 370 Spielen, die über den DLR-PT gefördert werden, sind inzwischen über 200 fertig und jede Woche kommt ein knappes Dutzend hinzu. Es gibt kaum eine deutsche Spiele-Schmiede, die bei uns noch keinen Antrag eingereicht hat. Viele kleine Studios konnten durch die Initiative überhaupt erst entstehen, sich ausprobieren, auch mal neue Spielmechaniken entwickeln oder bestehende neu interpretieren.

Dr. Matteo Riatti

ist Medienwissenschaftler und hat über die Ästhetik und das Narrativ von Computerspielen promoviert. Er leitet die Abteilung Computerspiele/Kreativbranche im Bereich Gesellschaft, Innovation, Technologie des DLR Projektträgers.



© DLR

Können Sie ein Beispiel geben?

Oh, da gibt es viele. Für „Sonority“ etwa wurden Puzzle auf der Grundlage von Musikharmonien gestaltet. Das innovative Adventure wurde in zwei aufeinanderfolgenden Jahren für den Deutschen Computerspielpreis nominiert. Aber wir erwarten noch nicht einmal zwingend, dass ein Studio in der Förderung ein Spiel komplett selbst erschafft. So arbeitet der norwegische Entwickler Funcom derzeit an einem Multiplayer-Online-Spiel zum Science-Fiction-Film „Dune“, an dem auch das Hannoveraner Studio Nuklear beteiligt ist, das wiederum über uns als Projektträger von der Förderung der Bundesregierung profitiert. Die Aufgabe von Nuklear besteht ausschließlich darin, die Fahrzeuge zu entwerfen und die dazugehörige Fahrzeugphysik zu berechnen. Von ihren Ergebnissen könnten sie allerdings auch bei zukünftigen Titeln oder sogar in Zusammenarbeit mit anderen Branchen profitieren. Insofern investieren wir immer auch in die Zukunft.

Wie erleben Sie die Zusammenarbeit mit den Computerspielfirmen?

Für die meisten Antragstellenden ist es das erste Mal, dass sie sich mit Förderanträgen auseinandersetzen müssen. Das ist für sie nicht immer einfach. Dabei helfen wir ihnen als Projektträger und Berater gerne. Wir verstehen sowohl die Anforderungen der zum Teil sehr jungen Games-Industrie als auch die notwendigen Prozessschritte hin zu einer erfolgreichen Förderung. Unser Team besteht aus Mitarbeitenden, die allesamt eine hohe Affinität zu Computerspielen haben und zum Teil mit der Games-Branche beruflich oder wissenschaftlich verbunden waren. Insofern macht uns der Kontakt zu den Studios und Entwicklerteams großen Spaß, vor allem wenn unser Beratungsangebot immer wieder in Anspruch genommen wird. Zu Beginn der Fördermaßnahme waren einige Branchenvertreter ja skeptisch, was unsere Rolle in dem Prozess anging – insbesondere die bürokratischen Vorgaben sorgten für Irritationen. Inzwischen haben wir sie aber alle mit unserer Kompetenz und unserem Engagement überzeugen können.

Wie wird sich die Branche denn Ihrer Meinung nach mittel- und langfristig aufstellen?

Ich denke schon, dass die Computerspielbranche in den kommenden Jahren weiterwachsen wird. Die neue Bundesregierung hat immerhin schon im Koalitionsvertrag bekräftigt, dass sie die Fördermaßnahme verstetigen will, was den Studios weiterhin Planungssicherheit geben wird. Außerdem ist auch im Bereich eSports derzeit viel in Bewegung. Schon jetzt füllen entsprechende Turniere ganze Arenen und erreichen Einschaltquoten, vor denen mancher Bundesliga-Verein den Hut zieht. Zwar haben eSportlerinnen und eSportler hierzulande nicht den Status, den sie in skandinavischen oder asiatischen Ländern genießen, aber es gibt positive Signale: So wird zum Beispiel in Berlin vermehrt über die Anerkennung der Gemeinnützigkeit des eSport gesprochen. Das hätte einen gewaltigen Schub für das Sportvereinswesen zur Folge, das dann endlich eines der größten Hobbys unserer Jugend in seinen Kanon aufnehmen könnte.

Welche Rolle wird der DLR Projektträger dabei spielen?

Wir sind derzeit der einzige Projektträger in Deutschland, der sich überhaupt mit dem Thema Computerspiele auseinandersetzt – das ist ein Alleinstellungsmerkmal. Wir haben die Kontakte, wir haben die Expertise und wir haben die Lust, dieses Segment zu stärken und auszubauen. Vorstellbar wäre zum Beispiel, dass die Fördermaßnahme in den Bildungsbereich ausstrahlt oder die schon erwähnte Vernetzung mit anderen Branchen vorantreibt. Vor allem aber könnte sie für Nachhaltigkeit sorgen, sowohl im kulturellen als auch im technischen Bereich. Unser Ziel muss es dabei gar nicht sein, den USA oder Korea den Rang streitig zu machen. Aber wir können versuchen, neue Arten des Erzählens oder innovative Ansätze in dem einen oder anderen Spezialfeld zu etablieren.

Die Fragen stellte **Thomas Kölsch**, Autor für die Unternehmenskommunikation des DLR Projektträgers.

Eine Übersicht über alle geförderten Projekte finden Sie hier:

s.dlr.de/ouCr4

ÜBER DEN DLR PROJEKTTRÄGER

Der DLR-PT engagiert sich als einer der größten Projektträger Deutschlands seit nahezu 50 Jahren als Dienstleister für einen starken Forschungs-, Bildungs- und Innovationsstandort. Zu seinen Auftraggebern gehören Bundesministerien, die Europäische Kommission, Bundesländer sowie Wissenschaftsorganisationen und Verbände. Er berät zu Strategien und Programmen, steuert begleitende Dialogprozesse, plant und übernimmt die operative Umsetzung von Förderprogrammen wie die hier genannte Computerspieleförderung des Bundes, unterstützt den Wissenstransfer und evaluiert die Wirkung von Programmen und Initiativen der Auftraggeber. Das Themenspektrum des DLR Projektträgers reicht von Bildung, Chancengleichheit, Gesundheit, Gesellschaft, Innovation, Technologie, Umwelt und Nachhaltigkeit bis hin zu europäischer und internationaler Zusammenarbeit und wird je nach Anforderung auch stets inter- und transdisziplinär angeboten. Die Kompetenzzentren Wissenschaftskommunikation, Öffentlichkeitsarbeit sowie Analyse und Evaluation runden das fachliche Angebot ab. Der DLR-PT ist eine zentrale Säule des DLR und ergänzt dessen wissenschaftliche Ausrichtung.



Das Computerspiel Utopia Tower Endgame ist eine Wirtschaftssimulation. Das Ziel: ein für die Erde und ihre Bewohner optimiertes Ökosystem zu entwerfen.

AUS DEM ARCHIV

Im Zentralen Archiv des DLR lagern über 50.000 Dokumente. Darunter sind einige Schätze vergraben. Diese Rubrik begibt sich auf Spurensuche mitten hinein in die Flut von Bildern, Schriftstücken, Urkunden und Texten, um diese zu heben. Diese Folge handelt von der DVL, eine Vorgängerorganisation des DLR mit turbulenter Geschichte.



Propellerversuchsstand in der DVL (ca. 1910er Jahre)

ZWISCHEN LUFTSCHIFF UND FLUGZEUG

Eine neue Forschungsanstalt soll 1912 die deutsche Luftfahrt konkurrenzfähig machen

von Dr. Jessika Wichner

Wer das DLR in Berlin-Adlershof besucht und zu Fuß von der S-Bahn-Haltestelle Richtung Standort geht, passiert Zeitgeschichte: Zwischen Forschungseinrichtungen, Universitätsgebäuden und Hotels lassen sich zwei außergewöhnliche Betonkonstruktionen ausmachen. Vor fast hundert Jahren wurden im großen Windkanal und im Trudelturm noch Flugzeugmodelle getestet. Damals waren die Forschungsanlagen Teil der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, einer Vorgängerorganisation des DLR. Sie wurde geschaffen, um Deutschland an die Spitze der Flugzeugentwicklung zu setzen.



Als das Flugzeug fliegen lernte: Der Flugplatz Johannisthal in unmittelbarer Nähe zur DVL.

Als die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) am 12. April 1912 gegründet wurde, steckte die Entwicklung des Flugzeugs noch in den Anfängen. In Deutschland setzte man in jener Zeit vor allem auf das Luftschiff, das von Graf Zeppelin entwickelt wurde und seit seinem Jungferntflug 1900 als vielversprechendes Transportmittel galt. Andere Länder wie Frankreich und Großbritannien hingegen konzentrierten sich auf die Weiterentwicklung des Flugzeugs und der dazugehörigen Motoren, sodass Deutschland auf diesem Gebiet ins Hintertreffen geriet. Deutsche Piloten spielten bei internationalen Flugwettbewerben kaum eine Rolle.

So regte Graf Zeppelin am 28. September 1909 auf einer Vorstandssitzung des Deutschen Museums in München an, eine große Versuchsanstalt einzurichten, in der sowohl Luftschiffe als auch Flugzeuge wissenschaftlich untersucht werden sollten. Als möglichen Standort brachte er seine Heimatstadt Friedrichshafen ins Gespräch. Er argumentierte damit, dass dort bereits seine Luftschiffwerft angesiedelt sei und der Bodensee eine ausgezeichnete Übungsfläche für Luftschiffe biete.

Die Idee nimmt Form an

Sein Anliegen fand Einzug in den Reichstag und wurde dort intensiv diskutiert. Die Mehrheit der Mitglieder sah es als notwendig an, eine übergeordnete Reichversuchsanstalt für Luftfahrt zu schaffen, doch sollten vor der endgültigen Entscheidung drei Sachverständige ihre Meinung abgeben: Hugo Hergesell, Direktor der Meteorologischen Landesanstalt Elsass-Lothringen in Straßburg, Ludwig Prandtl, der die Modellversuchsanstalt der Motorluftschiff-Studiengesellschaft (MVA) in Göttingen leitete – ebenfalls eine Vorgängerorganisation des DLR –, sowie Friedrich Bendemann, Leiter der Geschäftsstelle für Flugtechnik in Lindenberg. Alle drei kamen zu dem Schluss, dass die Einrichtung einer überregionalen Versuchsanstalt für Luftfahrt zielführend sei, um

Deutschland in der Flugzeugentwicklung wieder konkurrenzfähig zu machen. Allerdings befürchteten sie, dass eine Reichsanstalt die wissenschaftliche Freiheit einschränken könnte. Die Sachverständigen schlugen daher vor, einen eingetragenen Verein zu gründen, ganz nach dem Vorbild der MVA.

Der Reichstag folgte dieser Einschätzung. Nun musste lediglich ein geeigneter Standort gefunden werden. Friedrichshafen hatte zwar im Hinblick auf die Entwicklung des Luftschiffs unbestreitbare Vorteile, doch entschieden sich die Reichstagsmitglieder letztlich für Berlin-Adlershof, ein Gelände angrenzend an den Flugplatz Johannisthal. Der Flugplatz war 1909 eingerichtet worden. Bald danach siedelten sich dort alle großen Flugzeughersteller Deutschlands an und Johannisthal etablierte sich als Zentrum der deutschen Luftfahrtindustrie.

Ein Kaiserpreis als Ansporn

Um die Entwicklung der deutschen Luftfahrt zu fördern, wurde am 27. Januar 1912, dem Geburtstag Kaiser Wilhelms II., der „Wettbewerb um den Kaiserpreis für den besten deutschen Flugmotor“ ausgeschrieben. Den Auftrag für die Durchführung erhielt die im April 1912 gegründete DVL. Da die Ergebnisse bis zum darauffolgenden Geburtstag des Kaisers vorliegen sollten, wirkte der Preis als Katalysator für den Aufbau der DVL: Bis Oktober 1912 wurden in Adlershof fünf Motorenprüfstände errichtet, um die eingereichten Flugmotoren dort zu testen. Sieger des mit einem Preisgeld von 50.000 Mark ausgeschrieben Wettbewerbs wurde der Vierzylinder-Benz-FX-Motor der Mannheimer Firma Benz & Cie., heute bekannt als Daimler AG.

Bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs entwickelt sich die DVL zur größten Luftfahrtforschungsanstalt in Deutschland. Nach Kriegsende wurde sie von der russischen Besatzungsmacht geschlossen. Ein Großteil der Forschungsanlagen wurde demontiert und in die Sowjetunion verfrachtet. Teile der DVL waren während des Kriegs von Berlin nach Süddeutschland verlegt worden und befanden sich daher nach Kriegsende in der amerikanischen Besatzungszone. 1949 entließ sie die Besatzungsmacht aus der amerikanischen Vermögenskontrolle. Da die Alliierten die DVL als eingetragenen Verein nicht liquidiert hatten, stand ihrem Wiederaufbau in Westdeutschland nichts mehr im Wege. Er begann in den 1950er Jahren in Essen-Mülheim.

So ist eine Reise an den DLR-Standort in Adlershof nicht nur mit der Forschung für morgen, sondern auch mit dem Wissen von gestern verbunden.

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



Das Gelände der DVL in Berlin-Adlershof (ca. 1910er Jahre)

Bilder: Zentrales Archiv DLR



Schon die Fassade des Futuriums stimmt auf das Thema Zukunft ein. Für die dynamische Skulptur vor dem Eingang berechnete das Systems and Control Innovation Lab des DLR, wie stark die einzelnen Elemente bei Wind belastet werden können.



Drinnen geht es um die Zukunft und darum, wie wir leben wollen, draußen wartet das Berlin der Gegenwart.

WIE WOLLEN WIR LEBEN?

Ein Besuch im Futurium

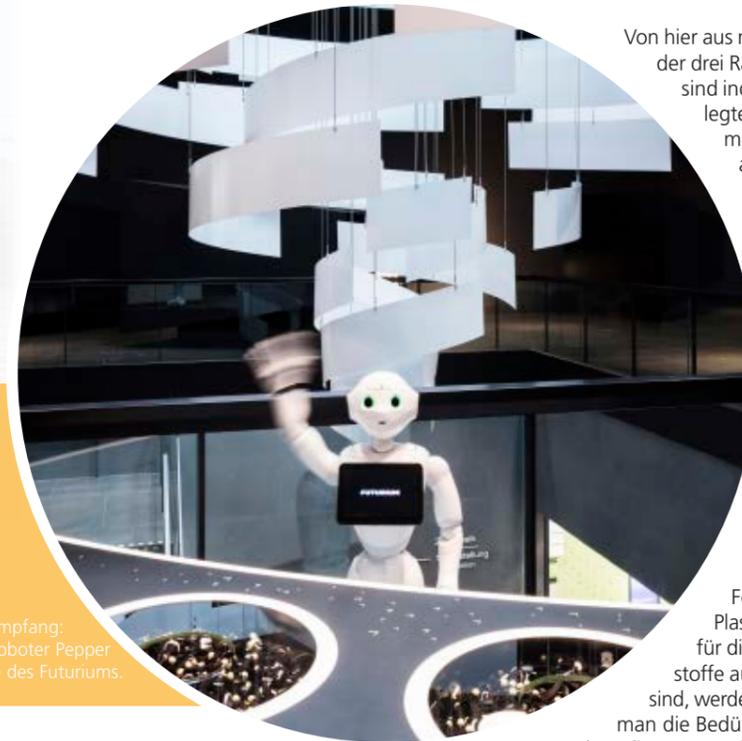
von Anja Philipp

Wer das Futurium betritt und erwartet, von Dr. Emmett Brown begrüßt zu werden, der an seinem DeLorean herumwerkelt, um damit in die Zukunft reisen zu können, wird enttäuscht. Es ist auch nicht möglich, sich hier die eigene Zukunft voraussagen zu lassen. Nein, es ist besser. Das Berliner „Haus der Zukünfte“ zeigt unterschiedliche Szenarien, wie eine Welt von morgen aussehen könnte.

Das Gebäude liegt direkt an der Spree, unweit des Regierungsviertels und des Hauptbahnhofs. Schon von außen beeindruckt es mit seinen riesigen Panoramafenstern, die eine Verbindung schaffen zwischen der Gegenwart auf der Straße und der Zukunft im Innern. Sofort fällt die Fassade ins Auge, die sich aus etwa 9.000 Kassetten zusammensetzt. Für sie wurden gefaltete Edelstahl-Reflektoren und keramisch bedrucktes Gussglas kombiniert. Dies hat den Effekt, dass sich die

Fassade abhängig von den Lichtverhältnissen stetig ändert und die Außenwelt mit dem Gebäude durch die Spiegelung verschmilzt. Schon beim Betreten fällt die Metaldecke im Foyer ins Auge, die indirekt von hinten beleuchtet und wie ein Gitter aufgebaut ist. In dieser futuristischen Atmosphäre startet die Führung, die einen Einblick in mögliche Zukünfte geben wird.

Ein freundlicher Empfang: Der humanoide Roboter Pepper begrüßt die Gäste des Futuriums.



Von hier aus muss man sich nun entscheiden, in welchem der drei Räume der Rundgang starten soll. Die Räume sind individuell gestaltet und es gibt keinen festgelegten Weg durch die Ausstellung. Wir beginnen mit der „großen Beschleunigung“. Hier wird aufgezeigt, wie wir zu unserem heutigen Wohlstand und den Lebensbedingungen gekommen sind. Schon der Beginn regt zum Nachdenken an. Der ständige und immer mögliche Konsum, die Digitalisierung und die Globalisierung haben auch negative Entwicklungen befördert wie den Klimawandel. Der Mensch möchte sich seinen Standard sichern und greift immer stärker in die Natur ein. Doch wird dies auch in Zukunft in diesem Ausmaß geschehen?

Leben mit der Natur

Im Denkraum „Natur“ wird schnell klar, dass hier umweltfreundliche Alternativen im Fokus stehen. Mittlerweile ist bekannt, dass Plastikmüll und Mikroplastik ein riesiges Problem für die Umwelt darstellen. Und obwohl die Kunststoffe aus unserem Leben nicht mehr wegzudenken sind, werden im Futurium Möglichkeiten vorgestellt, wie man die Bedürfnisse der Menschen erfüllen kann, jedoch ohne die Natur weiter zu belasten.

Es geht los

Gleich zu Beginn der Ausstellung werden die Besucherinnen und Besucher von dem humanoide Roboter Pepper begrüßt. Der freundliche Mitarbeiter weist darauf hin, dass man sich gern ein Armband nehmen könne, um es während des Aufenthalts an verschiedene Objekte zu halten. So werden Zukunftsthemen darauf gesammelt. Zuhause kann man sich mit dem Code auf dem Armband auf der Website des Futuriums einloggen und kleine Artikel mit weiterführenden Grafiken und Videos aufrufen.

Fischernetze aus Algen könnten verhindern, dass Geisternetze aus Plastik in den Meeren treiben, in denen sich Tiere verfangen. Neue Badelatschen könnten aus biologisch abbaubarem Schaumstoff produziert werden, hitzebeständiges Material aus Orangenschalen. Es wird deutlich, dass all diese vermeintlich futuristischen Technologien heute schon realisierbar wären und schon konkret daran geforscht wird. Zwingend stellt sich die Frage, warum diese vielversprechenden Alternativen nicht schon im Einsatz sind. Die Antwort liegt scheinbar nahe: „Die Produktion ist zu teuer“, sagt ein Teilnehmer, „wegen der Beständigkeit der Materialien“, fügt ein anderer Besucher hinzu. Die eine Antwort wird es dazu nicht geben. Grübelnd setzen wir unseren Weg fort.

Bilder in diesem Artikel: David von Becker (sofern nicht anders angegeben)

Studierende der Technischen Universität München (TUM) forschen am Hyperloop, einem Transportsystem, das sich dank seines berührungslosen Schweb- und Antriebssystems extrem schnell bewegen kann.

berlin-event-foto.de



Nicht nur neue Alternativen für Kunststoffe werden benötigt. Eine andere Form der Nachhaltigkeit ist Beständigkeit. Wer hat es nicht schon einmal erlebt, dass etwas kurz nach Ablauf der Garantie kaputtgeht? Ist es zwingend notwendig, ständig neue Geräte zu kaufen, oder kann vielleicht auch deren Langlebigkeit verbessert werden? Auch hier spielen wieder mehrere Faktoren eine Rolle. Die Futurium-Mitarbeiterin, die uns durch die Ausstellung führt, hebt die Rolle der Politik hervor, die entsprechende gesetzliche Vorgaben auf den Weg bringen könnte.

Bei der Station „Naturtalente“ erfahren wir, wo die Natur als Vorbild fungieren kann. Die innere Röhrenknochenstruktur übertragen auf den Flugzeugbau kann zu robusteren Komponenten führen. Mittels 3D-Druck könnten die Bauteile hergestellt werden, sofern größere und schnellere Drucker entwickelt werden.

Aber das Futurium beschäftigt sich auch damit, wie wir leben und was wir essen werden. Beispielsweise werden ungewöhnliche Materialien gezeigt, die zum Bau neuer Gebäude genutzt werden könnten: So wären Bambus oder sogar bestimmte Pilzarten Alternativen, um Beton oder Stahl abzulösen. In Visionen einer urbanen Welt leben Mensch und Natur miteinander – ohne Autos und dafür mit gut ausgebautem ÖPNV. Das Gemüse wächst auf Dächern und das Leben wäre grüner, wenn die grauen Betonflächen neu gedacht werden. Auf die Frage, ob wir uns vorstellen könnten, Insekten statt Fleisch essen zu wollen, reagiert die

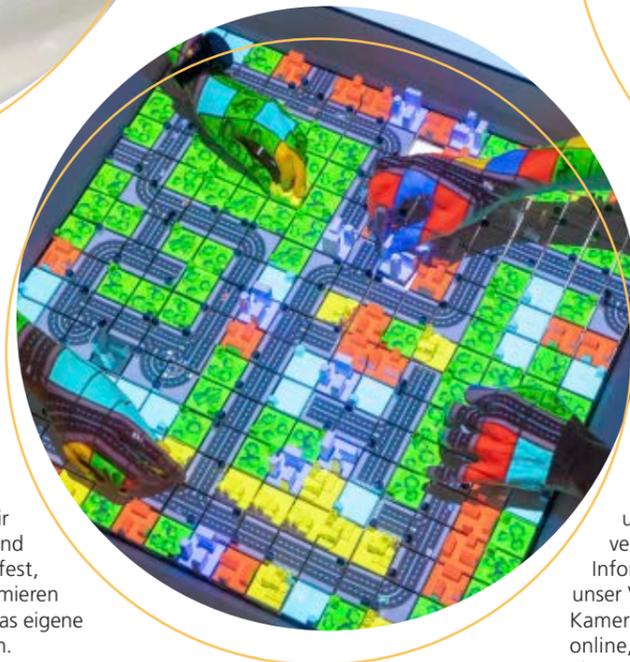
Gruppe verhalten. Die Meinungen sind gespalten, obwohl das in vielen Teilen der Welt keine Besonderheit ist. Für die wachsende Weltbevölkerung wäre deren Zucht und Verzehr deutlich klimafreundlicher. Warum tun wir uns mit dem Gedanken schwer und halten an unserer Gewohnheit fest, Fleisch immer und überall konsumieren zu können? Nachdenklich über das eigene Verhalten wechseln wir den Raum.

Welche Auswirkungen haben neue Technologien?

Häufig prägen auch Filme unsere Vorstellung von Zukunft: Ob es das Hoverboard ist, mit dem Marty McFly über den Boden schwebt, oder die Möglichkeit, sich von Scotty auf einen Planeten beamen zu lassen. Natürlich gehören diese Technologien ins Reich der Science-Fiction, jedoch wird das Leben immer schneller und die Technik trägt ihren Teil dazu bei.

Dass Maschinen immer mehr Aufgaben von Menschen übernehmen, lässt sich kaum bestreiten. Sie bauen Autos zusammen oder führen Operationen durch. Allerdings stößt dieser Fortschritt auch auf Kritik. Nicht immer ist absehbar, wie groß die Auswirkungen auf unser Leben sein werden. Gerade die Arbeitswelt befindet sich durch die Digitalisierung in stetigem Wandel. Sie bietet jedoch auch großes Potenzial, besonders im Pflegebereich, wie der Denkraum „Technik“ im Futurium zeigt: Roboter könnten die durch Fachkräftemangel entstandene Lücke füllen zwischen dem Bedarf der alternden Gesellschaft und dem vorhandenen Pflegeangebot. Sie könnten Tätigkeiten ausüben, um den Alltag von hilfsbedürftigen Menschen zu vereinfachen. Nur stellt sich die Frage, wie weit der persönliche Kontakt eingeschränkt werden kann. Werden wir den Menschen irgendwann auch in der Partnerschaft ersetzen und einen humanoiden Roboter lieben, so wie es im Film „Ich bin dein Mensch“ von Maria Schrader dargestellt wird? Auch hier ist die Gruppe in ihrer Meinung wieder gespalten.

Die Skulptur Noosphere reagiert auf Bewegung mit Tönen, Licht und Vibration.



In der Welt von morgen werden immer mehr Daten gesammelt. Es ist Teil der Gegenwart, dass wir online einkaufen. Uns werden Produkte vorgeschlagen, die uns interessieren könnten. Um uns zum Konsumieren anzuregen, werden große Datenmengen verarbeitet. Doch wo verläuft die Grenze? Welche persönlichen Informationen sollen künstliche Intelligenzen nutzen dürfen, um unser Verhalten zu analysieren? Es gibt erste Supermärkte, in denen Kameras und Sensoren den Einkauf dokumentieren – bezahlt wird online, Kassen gibt es nicht mehr. Auch wenn der Datenschutz an oberster Stelle steht, werden die Einkaufenden stetig von den Kameras beobachtet und erhalten den Kassensbon digital. So wachsen unsere digitalen Fußspuren.

Der Mensch und sein Konsum

Der Raum, in dem die Führung endet, ist wie ein kleines Dorf aufgebaut. Zwölf Häuschen widmen sich verschiedenen Themen, auf dem Dorfplatz können sich die Besucherinnen und Besucher austauschen oder schaukeln gehen. Bei Letzterem ist die Nachfrage erwartungsgemäß hoch.

In einem der Häuser dreht sich alles um unseren steigenden Verbrauch. Viele Produkte haben einen langen Weg hinter sich – Kleidung aus Indien, Schuhe aus China oder Taschen aus Bangladesch. Das ist wenig klimafreundlich, von den häufig prekären Arbeitsverhältnissen abgesehen. Wer das Klima schützen möchte, kann auf faire Kleidung setzen, die zudem qualitativ hochwertiger und somit langlebiger ist. Auch Geräte können repariert statt weggeworfen werden. Der hohe Verbrauch an Ressourcen könnte so gemindert und das Klima geschützt werden.



Verschiedene Zukunftsperspektiven regen zum Nachdenken und Diskutieren an.

DAS FUTURIUM IN BERLIN

Alexanderufer 2, 10117 Berlin

Preis:
Der Besuch ist kostenfrei.

Öffnungszeiten:
Mo, Mi, Fr, Sa, So: 10:00–18:00 Uhr
Do: 10:00–20:00 Uhr

[Futurium.de](https://www.futurium.de)

Währenddessen kann man sich im Nachbarhaus überlegen, worauf man für ein umweltverträgliches Leben verzichten könnte. Dazu sind verschiedene Bilder an einer Wand angebracht. Mit gelben Klebepunkten können die Besucherinnen und Besucher markieren, auf was sie in ihrem Alltag verzichten könnten. Muss ich unbedingt ein Flugzeug nutzen? Brauche ich wirklich ein Auto? Oder ein Handy? Und wie wichtig ist eigentlich Fast Food? – letztendlich verkörpern alle diese Dinge einen Luxus.

Entdecken, ausprobieren und diskutieren – Das Futurium lädt zum Mitmachen ein. „Wie wollen wir leben?“ ist die Leitfrage, die sich durch die Ausstellung zieht. Es werden Möglichkeiten der Forschung und Innovationen gezeigt, die zum Nachdenken und Diskutieren anregen. Sie laden dazu ein, das eigene Verhalten zu reflektieren und das „Große Ganze“ zu hinterfragen. Der Klimawandel, der hohe Ressourcenverbrauch und die steigende Bevölkerungsanzahl sind die zentralen Themen der Ausstellung. Durch die Medien bleiben sie auch nach dem Besuch im Gedächtnis, jedoch mit dem Wissen, dass es diverse Alternativen gibt, mit denen die Herausforderungen bewältigt werden können. Die Zeit wird zeigen, welche „Zukunftsszenarien“ den Weg in die Gegenwart finden. Denn wie Dr. Emmett Brown schon sagte: „Die Zukunft ist noch nicht geschrieben. Sie kann verändert werden.“ Und er hat recht!

Anja Philipp arbeitet im Bereich Kommunikation für die DLR-Standorte Berlin, Neustrelitz, Jena, Dresden, Cottbus und Zittau.

Auch die kleinen Besucherinnen und Besucher können im Futurium allerhand ausprobieren.





BEWEGTE LUFT

Wie umströmt Luft ein Flugzeug? Und wie kann festgestellt werden, was dabei passiert? Am fliegenden Objekt ist das selbstverständlich schwer möglich. Doch was, wenn sich nicht das Objekt durch die Luft bewegt, sondern die Luft um das Objekt herum bewegt wird? Dies ist die Grundidee des Windkanals.

Erste aerodynamische Untersuchungen gab es wohl bereits im 15. Jahrhundert und auch die Erkenntnis, dass, egal ob sich ein Körper durch die Luft oder das Wasser bewegt, dessen Form den Widerstand beeinflusst. Mitte des 17. Jahrhunderts wurden solche Erkenntnisse anhand hydrodynamischer Untersuchungen auf eine breitere wissenschaftliche Basis gestellt. Es sollte aber noch bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts dauern, bis in Großbritannien der erste brauchbare Windkanal entstand. Treiber der Entwicklung war die Luftfahrt. Aber auch bei der Entwicklung von Schienen-, Straßen- und Wasserfahrzeugen oder auch beim Entwurf von Brücken und Gebäuden spielten die aerodynamischen Eigenschaften eine immer wichtigere Rolle. So entstanden vor dem Ersten Weltkrieg an vielen Orten der Welt unzählige Windkanäle. Bis in die 1950er und 1960er Jahre wurden die Anlagen immer größer, erreichten dann aber ihre Leistungsgrenze.



Seitdem entstehen zunehmend Hochgeschwindigkeitswindkanäle und spezialisierte Anlagen, in denen beispielsweise der Einfluss der Luftströmung auf die akustischen oder klimatischen Eigenschaften von Körpern untersucht wird. Hinzu kommt, dass die Messtechnik immer weiter verfeinert und mehr und mehr digitale Modelle zu den Strömungseigenschaften von Körpern entwickelt werden. Doch trotz digital gewonnener Erkenntnisse sind Windkanäle bis heute unerlässlich bei der Entwicklung aller Arten von Fahrzeugen, Bauwerken und sogar Sportgeräten.

Obwohl sie zu den wichtigsten größten Forschungswerkzeugen gehören, sind die Anlagen hingegen meist wichtig und ihr Zweck von außen kaum zu erkennen. Den hochkarätigen Autorinnen und Autoren des Buchs **Windkanäle – Der Orkan in der Röhre (Sutton)** gelingt es jedoch bereits mit dem Coverfoto (wie auch dem Untertitel), Interesse zu wecken. Nach einem kurzen historischen Überblick über die internationale Entwicklung folgt eine Darstellung der aerodynamischen Forschung in Deutschland, dem sich ein Kapitel über Bauarten und Komponenten von Windkanälen anschließt. Im Hauptteil werden ausführlich die einzelnen Anlagen und Forschungsprojekte in Deutschland bis 1945 vorgestellt.



Im letzten Kapitel steht die Entwicklung in Deutschland in der Nachkriegszeit im Mittelpunkt. Neben den Anlagen, die an Traditionsstandorten in Westdeutschland betrieben werden, wird auch auf die einzige in Ostdeutschland errichtete Anlage eingegangen, die während der kurzen Phase des Flugzeugbaus von 1955 bis 1961 entstand. Ein kurzer Ausblick rundet die Darstellung ab. Die ausgezeichneten historischen Aufnahmen ergänzt der fundiert recherchierte Text hervorragend. Einzig zu bemängeln ist die Qualität einiger neuerer Fotos, die mit den historischen nicht mithalten können.

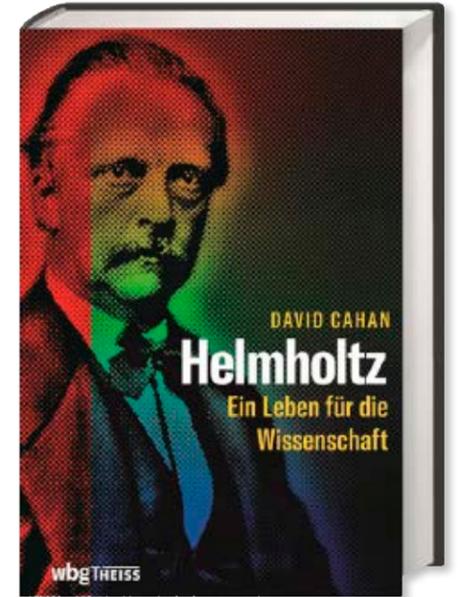
Heiko Triesch

DAS UNIVERSALGENIE VON ALLEN SEITEN

2018 publizierte der Historiker David Cahan eine umfangreiche Biografie zu Hermann von Helmholtz (1821–1894). Pünktlich zum 200. Geburtstag des Forschers wurde sie ins Deutsche übersetzt und erschien 2021 unter dem Titel **Helmholtz. Ein Leben für die Wissenschaft (wbg Theiss)**. Wer das Buch mit den 992 Seiten in der Hand hält, kann sich denken, welche Arbeit dahintergesteckt hat, das Werk zu übersetzen. Cahan hat sich zum Ziel gesetzt, Helmholtz in all seinen Facetten darzustellen. Er hat daher akribisch sämtliche Dokumente, die zu dem bekannten Forscher existieren, gesichtet und ausgewertet. Das Ergebnis ist eine solide, äußerst umfangreiche und sehr gut lesbare biografische Darstellung. Als geschichtswissenschaftliches Werk ist es eine Abhandlung, die die bisherige Standardbiografie zu Helmholtz von Leo Koenigsberger ablösen wird – jene ist immerhin über hundert Jahre alt. In Cahans Werk werden sowohl die wichtigen Erfindungen von Helmholtz aufgeführt, wie der Augenspiegel oder seine Beschäftigung mit dem Thema Energieerhaltung, als auch der Privatmann detailliert skizziert. Präzise erläutert der Autor das kulturelle, soziale und geistesgeschichtliche Umfeld, in dem Hermann von Helmholtz lebte. Ein fast 200-seitiger Anhang aus Anmerkungen und bibliografischen Angaben runden die Publikation ab.

Wer Cahans Biografie als Nachschlagewerk benutzen oder sich einen schnellen Überblick über Helmholtz' Leben und Werk verschaffen möchte, sollte jedoch besser auf eine kürzere Darstellung zurückgreifen. Das Werk eignet sich nicht als „Strandlektüre“. Für lange, kalte Winterabende ist das Buch hingegen ein Gewinn und lohnt sich!

Jessika Wichner



PANORAMA EINER VERWUNDETEN STADT

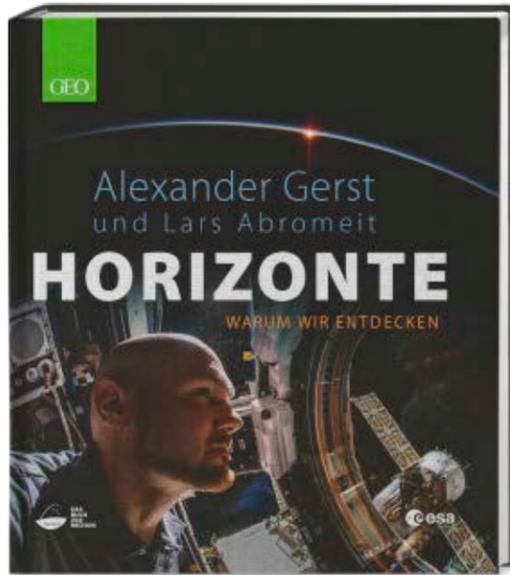
Am Anfang ist da eine Wasserlache in ihrer Küche, dann lässt die Autorin den Blick schweifen zum Landwehrkanal vorm Haus, beschreibt das Gelände um den Anhalter Bahnhof. Stadtgeschichten folgen, Menschengeschichten. Autobiografisches, Historisches, am Ende gar eine Spurensuche mit einer Familientherapeutin – Was ist das für ein Buch, das sich in keine Kategorie einfügen lässt?

Kirsty Bell, englische Kunstkritikerin, nähert sich der Stadt Berlin, in der sie seit 2001 lebt, auf eine gänzlich neue Weise: Leicht und tiefgründig zugleich, mit Empathie und historisch gründlich, warmherzig und mit analytischem Verstand schuf sie mit **Gezeiten der Stadt – Eine Geschichte Berlins (Kanon Verlag)** ein Buch, das, egal, wieviel man über Berlin zu wissen glaubt, Neues, Überraschendes, Bewegendes erzählt. Bell beleuchtet das Schicksal von Rosa Luxemburg, die 1919 quasi vor der Haustür der Autorin von Anhängern eines rechten Freikorps bewusstlos geschlagen, erschossen und in den Landwehrkanal geworfen wurde. Ein Artikel über Theodor Fontane mit dem Titel „Sich treiben lassen“ treibt Bell zu dessen wohl berühmtester Romanheldin Effi Briest und zum Wohnort des Schriftstellers. Die Autorin verschafft uns Begegnungen mit Stadtarchitekten, Politikern oder Künstlerinnen. Walter Benjamin, Christa Wolf, Fassbinder und weitere Gäste Berlins begleiten uns ein Stück durch die Lektüre, bleiben zurück angesichts neuer Begegnungen und tauchen wieder auf, weil es noch etwas zu sagen gibt. So entsteht ein vielschichtiges, spannendes und anregendes Bild der immer wieder aus dem Takt geratenen Metropole.

Für die Irrungen und Wirrungen, für Neuanfänge und geplatze Träume steht die Geschichte der Familie Sala, die 1845 in dem heute von Kirsty Bell bewohnten Gebäude am Tempelhofer Ufer einen Spielerverlag gründete. Auf deren Spurensuche stößt Bell auf Melitta, die 1942 im Alter von acht Jahren von Charlotte und Bruno Sala adoptiert worden war. Die Autorin sucht hartnäckig nach Informationen über die Sala-Erbin, findet heraus, dass diese das Gründerzeithaus 1988 verkaufte und 2013 in Berlin-Steglitz starb. Doch es bleibt bei solchen biografischen Fragmenten. Von Melitta gibt es kein klares Bild. So wie es von der Stadt, in der sie lebte, keine einfache Version gibt. Ein kluges, inspirierendes Buch.

Cordula Teegen





DIE TIEFE SEHNSUCHT ZU ENTDECKEN

„Mond und Mars sind die neuen Kontinente unserer Zeit“, wird Alexander Gerst in seinem neuen Buch **Horizonte – Warum wir entdecken (GEO)** zitiert, und weiter: „Sie sind für uns etwa ebenso schwer zu erkunden, wie es vor nur einem Jahrhundert die inneren Eisfelder der Antarktis oder Korallenriffe der Tropen waren.“ Gemeinsam mit dem GEO-Autoren Lars Abromeit begibt sich der deutsche ESA-Astronaut in dem bildgewaltigen Werk zu seiner zweiten ISS-Mission „horizons“ auf die Suche nach dem Wesen von Expeditionen, dem Aufbruch ins Unbekannte. Was treibt Neugierige auf der Erde und im All an? Wo gibt es Parallelen, wo Unterschiede? Wie können uns die Erkenntnisse dieser Reisen ins Unbekannte auch im Alltag helfen? Woher kommen die Neugier und die Motivation, bislang bekannte Horizonte hinter uns zu lassen? Heute sind Forschungsstationen in der Antarktis normal, ebenso, mit Pressluftflaschen an Riffen zu tauchen. Forscherinnen und Forscher haben seit jeher über das jeweils aktuelle Weltbild hinausgedacht, neue Perspektiven eröffnet. Gerst und Abromeit nehmen die Leserinnen und Leser in sehr persönlichen Zwiegesprächen mit auf eine Entdeckungsreise – zu den extremsten und wunderbarsten Regionen unserer Erde wie hinauf ins All. Teamgeist, Neugier, eine Forschungsfrage, eine gute Vorbereitung auch auf mögliche Gefahren und Risiken, das Haushalten mit eng begrenzten Ressourcen und der bewusste Einsatz von Technik sind die wichtigsten „Zutaten“ für jede erfolgreiche Expedition – im All wie auf der Erde. Expeditionen waren und sind anstrengend und entbehrungsreich; doch auch überaus inspirierend und sinnstiftend. Das stellte schon die ebenfalls im Buch zitierte Pippi Langstrumpf fest: „Das haben wir noch nie probiert, also geht es sicher gut“.

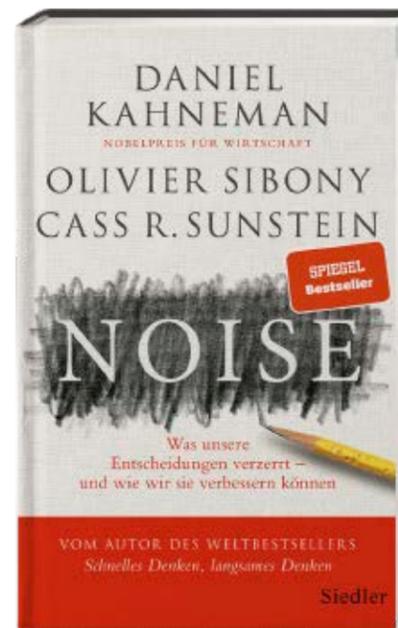
Elisabeth Mittelbach

HINTER DEN KULISSEN EINER ENTSCHEIDUNG

Bias und Noise sind zwei Arten von Entscheidungsfehlern. Beim Bias, der Verzerrung, irren wir uns alle, aber unsere Urteile liegen in gleicher Art und Weise daneben. So systematisch können Fehler bei Entscheidungen auf Basis einseitiger Informationen passieren, beispielsweise wenn man sich innerhalb einer Filterblase in den sozialen Medien bewegt, wo Themen nur unter einem bestimmten Blickwinkel beleuchtet werden. Bei Noise hingegen, dem Rauschen, irrt sich jeder anders. Es ist zufällig. Ausschlaggebend können neben individuellem Kontextwissen auch das Wetter, Hunger oder das Abschneiden der heimischen Sportmannschaft am Wochenende sein. In der Urteilsfindung eines Gerichts, bei medizinischen Interpretationen von Krankheitssymptomen oder in der Kriminaltechnik bei der Personenidentifikation per Fingerabdruck – die verschiedensten und sensibelsten Lebensbereiche können durch ungewollte Zufallsstreuung betroffen sein.

Daniel Kahneman ist ein bedeutender Kognitionspsychologe. Aufmerksamkeit erregte er 2002 mit seinem Buch „Schnelles Denken, langsames Denken“, für das er als erster Nicht-Ökonom den Wirtschaftsnobelpreis erhielt. Wie schon der Vorgänger, so ist auch **NOISE (Siedler Verlag)** eine Leseempfehlung für alle, die sich für Psychologie interessieren und neben dem systematischen Bias auch den „Star der Show“, den Noise-Effekt, verstehen wollen. Die Zufallsstreuung und ihr Ausmaß sind auf der Bühne der Wissenschaft bislang „hinter den Kulissen“ geblieben. Kahneman und seine Co-Autoren Sibony und Sunstein haben untersucht, wo sich Noise zeigt, wie es entsteht und sie haben Methoden entwickelt, wie wir zu besseren Urteilen gelangen können.

Philipp Burtscheidt



EINE WELTZEITREISE

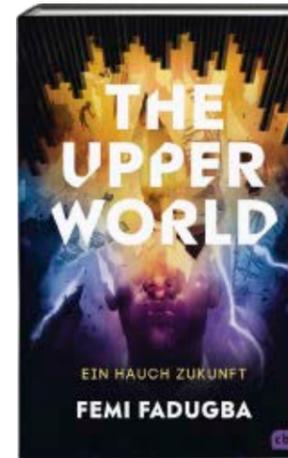


werden hier für die kleinen Erst- und Mitleser behandelt. Das Ganze mit Blick auf Forschung und Wissenschaft. Forscherinnen und Forscher werden vorgestellt, Experimente zum Mitmachen angeboten und für besonders Neugierige gibt es weiterführende Texte. In der Schule würde das unter MINT-Bildung fallen.

Doch Schule im herkömmlichen Sinne will das Buch eben nicht sein. Der Autor Dr. Kratzenberg-Annie verantwortet im DLR die Nachwuchsförderung und hat es wie kaum ein anderer verstanden, dass Wissenschaftsvermittlung auch mit Spaß und Emotionen zu tun haben darf. Muss. Das Buch ist in kurze Abschnitte gegliedert, die die jungen Leserinnen und Leser nicht überfordern, bietet viel Raum für Interaktion durch Rätsel, Gedanken- sowie Mitmach-Experimente und ist durchgängig mit Illustrationen und Bildern gestaltet. Der Verlag gibt die Altersempfehlung mit acht Jahren und aufwärts an. Die 144 Seiten starke Reise durch Raum und Zeit ist ein großer Lesespaß für neugierige Kinder und ihre Eltern. Und ja, frühe MINT-Bildung ist es natürlich auch.

Janos Burghardt

EIN FENSTER FÜR RAUM UND ZEIT



Das Debütwerk von Femi Fadugba **The Upper World – Ein Hauch Zukunft (cbj Verlag)** ist ein Parcoursritt durch die Quantenphysik – verpackt als actiongeladener SciFi-Zeitreisethriller in einer rauen Nachbarschaft Londons mit seinen Bandenkriegen. Der 16-jährige Esso entdeckt bei einem schweren Autounfall seine Fähigkeit, in die Zukunft zu sehen. Dort „sieht“ er Projektionen künftiger Erfahrungen und gibt alles dafür, den Weg einer Kugel doch noch umleiten zu können und so sowohl sein Schicksal als auch das des jungen Fußballtalents Rhia zum Guten zu wenden. Das Problem: Rhia lebt 15 Jahre später als der „junge“ Esso. Essos Weg führt demnach in die Zukunft, wo er Rhias' ungewöhnliches Talent für Physik erst

noch kultivieren muss. Seine kongenial einfachen Erklärungen reißen Rhia wie auch die Leserschaft gleichermaßen mit.

Klingt kompliziert? Femi Fadugba, mit einem Master für Quantenphysik in Oxford, möchte die Welt der Quantenphysik für alle verständlicher machen. Physik = Mathematik + Metaphern. Er verwebt das komplexe Thema in einer berührenden Story, gespickt mit viel Humor und einem lässigen Schreibstil. Rund um Themen wie Verlust, Trauer und Hoffnung erwächst die „energiegeladene“ persönliche Entwicklung von Esso und Rhia. Der freie Wille als Weg aus dem Dilemma im Kampf um die (Um-)Gestaltung der eigenen Zukunft. Ein starker Auftritt für Chancen- und Bildungsgleichheit.

Tim Suckau

LINKTIPPS

ZU BESUCH BEI DEN ROBOTERN

[rmc.dlr.de/360](https://www.rmc.dlr.de/360)

Wer sich für Roboter interessiert, wird vielleicht schon einmal etwas von Toro, Rollin' Justin, David oder Bert gehört haben. In diesem besonderen Rundgang kann man ihnen nahe kommen, ohne dafür nach Oberpfaffenhofen reisen zu müssen. Die virtuelle 360°-Tour durch das Robotik und Mechatronik Zentrum des DLR bietet aber nicht nur Einblicke in die dortige Robotikforschung, sondern auch in dessen spannende Forschungslabore.

GESCHICHTEN ÜBER DAS ALL

[sternengeschichten.podigee.io](https://www.sternengeschichten.podigee.io)

Kann man Weltraum-Themen kurzweilig und auf den Punkt erzählen? Der Astronom Florian Freistetter beweist das Woche für Woche in seinem Podcast Sternengeschichten. Dabei macht er sich eine Tatsache zunutze: Das Weltall ist riesig und ural. Und je größer und älter etwas ist, desto mehr Potenzial für Geschichten birgt es. Die kurzweiligen Folgen zwischen 10 und 20 Minuten Länge behandeln jede Woche ein neues Thema.

DIGITALES LERNEN IM DLR

[s.dlr.de/xbuyb](https://www.s.dlr.de/xbuyb)

Normalerweise besuchen rund 40.000 Schülerinnen und Schüler pro Jahr die DLR_School_Labs und gewinnen dort Einblicke in die Welt der Wissenschaft. Weil dies während des Lockdowns nicht möglich war, wandelten sich diese zu digitalen Laboren. In professionell betreuten Online-Workshops werden Themen wie Mikroskopie, Raketenantriebe und Weltraumwetter vermittelt. So können Angebote verschiedener DLR-Standorte in ganz Deutschland wahrgenommen werden.

SCIENCE ODER FICTION?

[s.dlr.de/6AuFu](https://www.s.dlr.de/6AuFu)

Auf diesem unterhaltsamen youtube-Kanal des Mitteldeutschen Rundfunks geht der MDR-Wissensreporter Jack Pop der Frage auf den Grund, welche wissenschaftlichen Phänomene oder Technologien aus bekannten Filmen, Serien und Spielen frei erfunden sind oder was tatsächlich funktioniert. Wer also schon immer einmal wissen wollte, was passieren würde, wenn der Mond auf die Erde fällt, findet hier die Antwort.

LERNEN ÜBER LUFTFAHRT

[luftfahrt-der-zukunft.de](https://www.luftfahrt-der-zukunft.de)

Eine Podiumsdiskussion über nachhaltige Flugzeugtriebwerke, Exkursionen zum DLR-Standort Göttingen oder zu den Elbe Flugzeugwerken bis hin zu einem Vortrag über die Flugreisenden der Zukunft – diese Veranstaltungsreihe widmet sich in verschiedenen Formaten, die das ganze Jahr über sowohl online als auch in Präsenz stattfinden, den Entwicklungen im Bereich Luftfahrt.

DIE MISSION ZUM NACHHÖREN

[DLR.de/Cosmickiss](https://www.DLR.de/Cosmickiss)

Mittlerweile ist der ESA-Astronaut Matthias Maurer wieder sicher auf der Erde gelandet. Dieser Podcast hat seine sechsmontatige Mission Cosmic Kiss begleitet. Radiomoderator Daniel Finger hat mit Maurer und den Astronauten, die vor ihm kamen, gesprochen. Außerdem kommt das wissenschaftliche Team zu Wort, das Matthias Maurer während der Mission zur Seite stand.



MEHR ALS 20 JAHRE FORSCHUNG IM FREIEN FALL | MORE THAN 20 YEARS OF RESEARCH IN MICROGRAVITY

Die Internationale Raumstation ISS ist ein fliegendes Labor mit exzellenten Möglichkeiten für anwendungsnahe und Grundlagen-Forschung. In Schwerelosigkeit gewinnen wir einzigartige Erkenntnisse von Astrophysik über Materialforschung bis hin zu Psychologie und Medizin. Auch astronautische Explorationsmissionen werden hier vorbereitet. Nicht zuletzt ist die ISS ein Innovationsmotor für neue Technologien wie Laserkommunikation, Robotik oder Sensorik. Seit dem Jahr 1998 umrundet sie unsere Erde in 400 Kilometern Höhe mit einer Geschwindigkeit von etwa 28.000 Kilometern pro Stunde. Aktuell hat sie eine Masse von rund 420 Tonnen. Die Crew an Bord hat mit rund 1.000 Kubikmetern etwa so viel Platz wie in einer Boeing 747.

The International Space Station ISS is an orbiting laboratory that offers excellent opportunities to conduct fundamental and applied research. In microgravity, we gain unique insights, from astrophysics and materials research to psychology and medicine. In addition, preparations for future crewed exploration missions are conducted here. The ISS also drives innovation for new technologies such as laser communications, robotics and sensor systems. The ISS has been orbiting Earth since 1998 at an altitude of 400 kilometres at a speed of about 28,000 kilometres per hour. In its current form it has a total mass of around 420 tonnes. Its residents live in a space of around 1000 cubic metres, about as much room as on a Boeing 747.



Aufbau der ISS | Development of the ISS

Stand März 2022 | As of March 2022

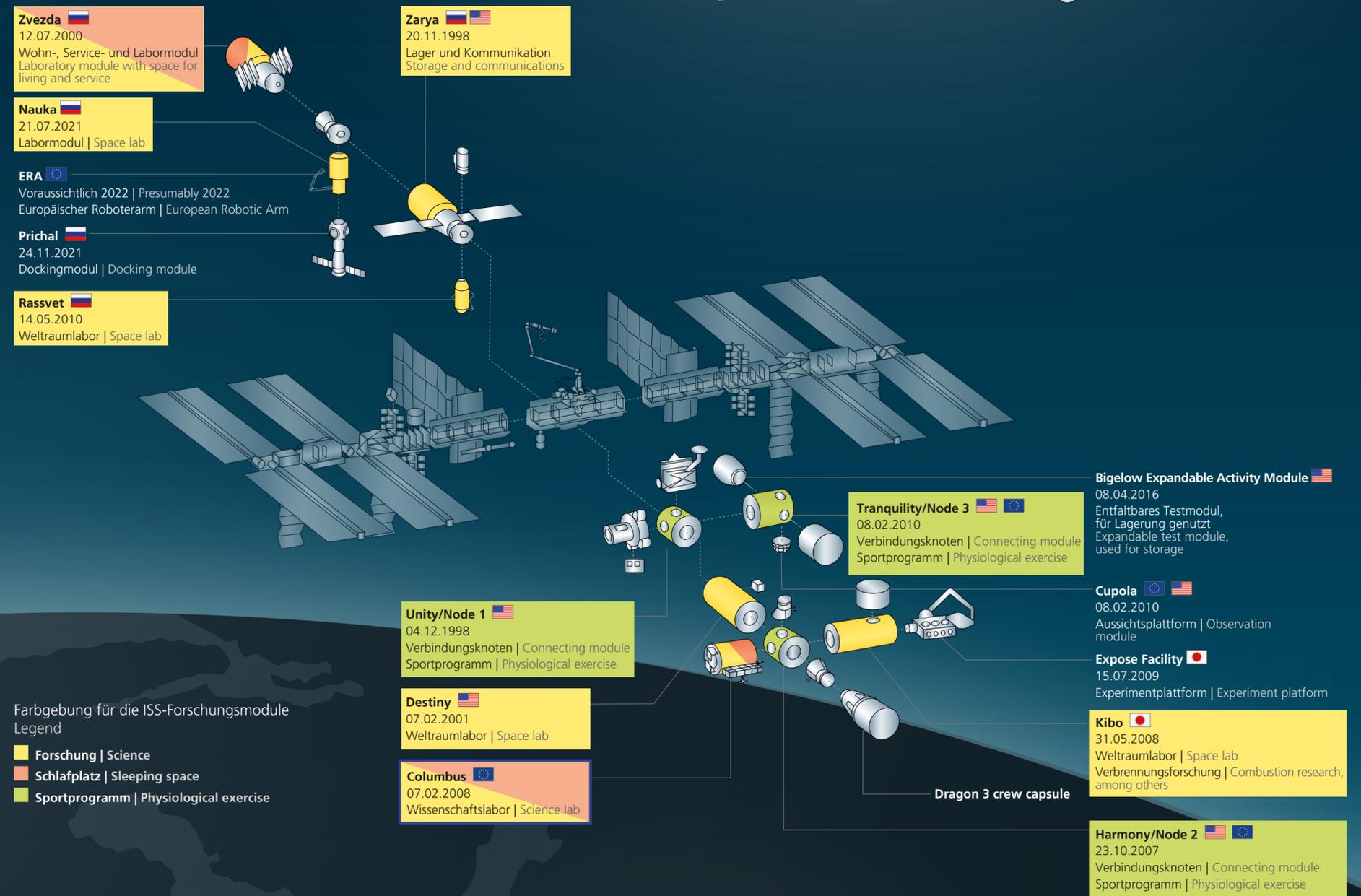


Bild Vorderseite: Der deutsche ESA-Astronaut Matthias Maurer bei seinem Außeninsatz am 23. März 2022. Zusammen mit seinem NASA-Kollegen Raja Chari reparierte er das Kühlsystem der Raumstation. Zudem tauschte Maurer eine Kamera an der großen Auslegerstruktur der Station. Abschließend machte er die kommerzielle Außenplattform Bartolomeo am Columbus-Modul der ESA betriebsbereit.

Front image: German ESA astronaut Matthias Maurer during his extravehicular activity on 23 March 2022. Together with his NASA colleague Raja Chari he repaired the space station's cooling system. Maurer also replaced a camera on the station's large boom structure. Finally, he made the Bartolomeo commercial external platform on ESA's Columbus module ready for operation.

Titelbild

Das Triebwerk ist das Herzstück des Flugzeugantriebs. Im DLR wird es auf Herz und Nieren getestet: digital auf dem Rechner und real auf Prüfständen wie hier auf dem M2VP (Mehrstufen-Zweiwellen-Axialverdichter-Prüfstand) des Instituts für Antriebstechnik in Köln. Wie in vielen Bereichen steigt auch in der Forschung die Bedeutung von Simulationen. Für die Luftfahrt entwickeln die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler beispielweise eine Plattform, auf der sie neue Konzepte und Ideen für virtuelle Triebwerke erproben.

