

IN ZUKUNFT STREIFENFREI

GEZIELTE FLUGROUTENPLANUNG FÜR
KLIMAVERTRÄGLICHEREN LUFTVERKEHR

Weitere Themen:

- ▶ **VIelfALT IM TANK**
Antworten auf wichtige Fragen zum
Thema nachhaltige Flugkraftstoffe (SAF)
- ▶ **NEUER SCHWUNG FÜR'S GLEIS**
Ein Hightech-Schienenbus als Chance für
stillgelegte Strecken

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 54 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: Andreas Schütz (V.i.S.d.P.), Julia Heil und Stefanie Huland (Redaktionsleitung), Michael Müller

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

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten
Gestaltung: bplused agenturgruppe GmbH, Am Kabellager 11–13, 51063 Köln, bplused.de
ISSN 2190-0094

Online lesen:
[DLR.de/dlr-magazin](https://www.dlr.de/dlr-magazin)

Onlinebestellung:
[DLR.de/magazin-abo](https://www.dlr.de/magazin-abo)

Kontakt:
Magazin@dlr.de

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

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



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.



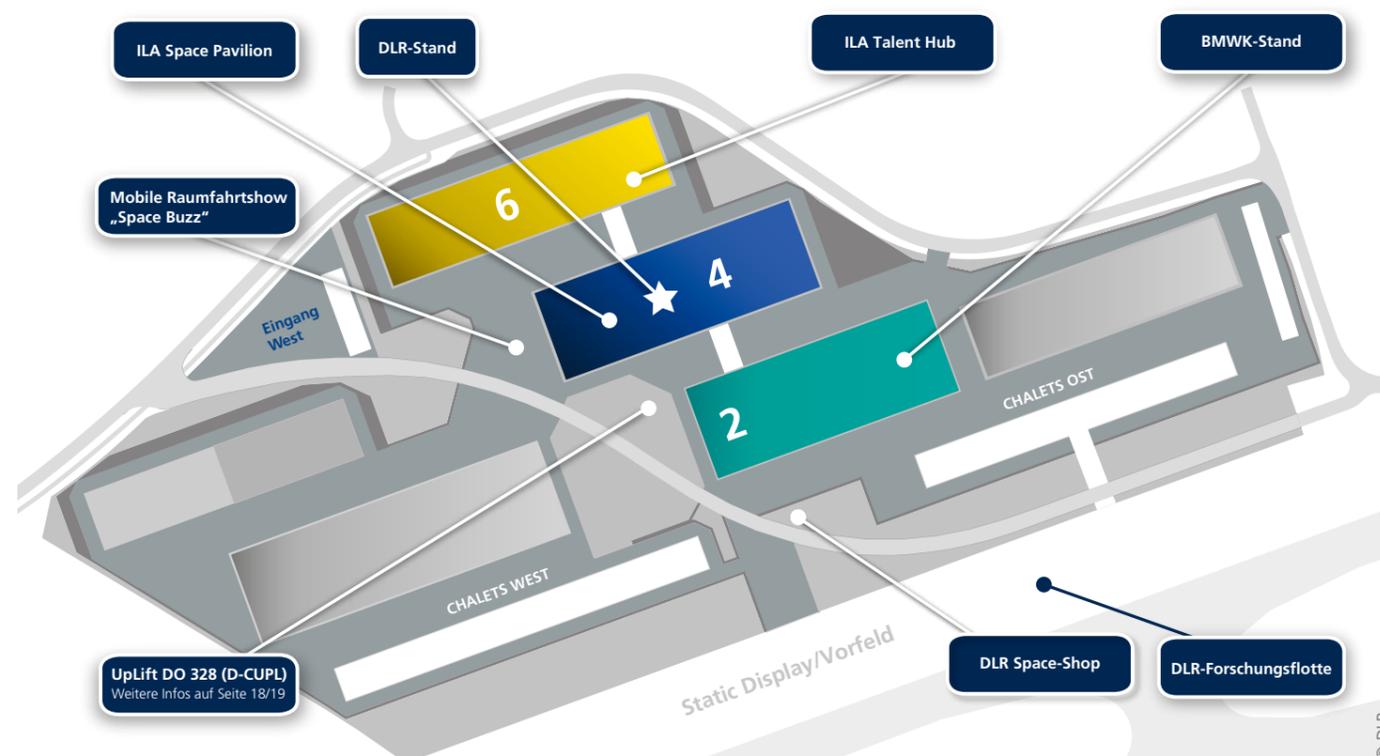
IN EIGENER SACHE

Alle zwei Jahre trifft sich die weltweite Luft- und Raumfahrt-Community im Rahmen der Internationalen Luftfahrt-Ausstellung (ILA) am Flughafen Berlin Brandenburg. Vom 5. bis zum 9. Juni 2024 ist es wieder so weit. Das DLR ist einer der größten nichtkommerziellen ILA-Aussteller: Auf über 500 Quadratmetern zeigt es in Halle 4 (Standnummer 300) seine aktuellen Highlights, darunter das Projekt ALICIA. Die Abkürzung steht für „Aviation Life Cycle and Impact Assessment“. Dabei geht es darum, die Klimawirkung, den Energiebedarf und den Wertschöpfungsaspekt eines Flugzeugs von der Herstellung bis zur Außerdienststellung digital zu bewerten. Ein Teilaspekt von ALICIA ist die Entwicklung von Cockpitdesigns, bei denen neue Konzepte des Flugverkehrsmanagements berücksichtigt werden – anhand eines Exponats am DLR-Stand wird deutlich, warum dies so wichtig ist.

Ebenfalls vertreten ist die Raumfahrt – unter anderem mit Fachleuten für den Beitrag Deutschlands zur neuen europäischen Schwerlast-Trägerrakete Ariane 6. Auch für den benachbarten Space Pavillon in Halle 4 steuert das DLR zahlreiche Exponate bei. Darüber hinaus stehen Expertinnen und Experten bereit, um Einblicke in Raumfahrtmissionen mit deutscher Beteiligung zu geben. Auf dem Vorfeld ist ein Teil der DLR-Flotte zu besichtigen, darunter erstmals das neue Forschungsflugzeug UpLift (D-CUPL). Der Flieger dient zur Weiterentwicklung umweltfreundlicher Luftfahrttechnologien.

Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

Das DLR auf der ILA 2024



Liebe Leserinnen und liebe Leser,

wussten Sie, dass die Klimawirkung des Luftverkehrs zu annähernd der Hälfte aus sogenannten Nicht-CO₂-Effekten besteht? Zu ihnen gehören auch Kondensstreifen – der einzige Effekt, der sich mit bloßem Auge am Himmel beobachten lässt. Ein Großteil der Kondensstreifen hat eine wärmende Wirkung auf das Klima. Durch geschickte Flugroutenplanung ließe sich ihre Entstehung reduzieren – mit sofortigem Effekt auf die Klimabilanz des Fliegens.

Eine flexiblere Routenplanung aber hat eine Reihe von Auswirkungen: Fluglotsinnen und -lotsen müssen ad hoc auf geänderte Bedingungen reagieren können. Neue, verbesserte Assistenzsysteme, die am DLR entwickelt werden und die Flugroutenanpassungen in Echtzeit erlauben, können dabei unterstützen. Damit die Systeme belastbare Modellierungen, etwa zu Wetter- und Klimaentwicklungen, zulassen, müssen sie mit Daten gefüttert werden. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR arbeiten an neuen Modellierungstools. DLR-Messtechnik ist außerdem seit 30 Jahren in Maschinen im regulären Passagierbetrieb verbaut und liefert wertvolle Daten über die Zusammensetzung der Atmosphäre.

Um die Klimawirkung des Luftverkehrs deutlich zu reduzieren, reicht es allerdings nicht aus, nur an einer Stellschraube zu drehen. Deshalb nehmen die DLR-Fachleute auch die fossilen Kraftstoffe in den Blick. Sie forschen an nachhaltigen Flugkraftstoffen, sogenannten Sustainable Aviation Fuels (SAF). Diese könnten sowohl die CO₂-Emissionen als auch die Kondensstreifenbildung mindern. Warum und wie die schon heute produzierte Menge an SAF bereits eine Wirkung entfalten und wie der Markthochlauf der Kraftstoffe in Zukunft aussehen könnte, erfahren Sie in unserem Beitrag zu wichtigen Fragen und Antworten rund um die Treibstoffe der Zukunft.

Und auch in der Raumfahrt gewinnen nachhaltige Treibstoffe eine immer größere Bedeutung: Die Produkte der DLR-Ausgründung InSpacePropulsion Technologies sind weniger toxisch und einfacher zu handhaben als der bisherige Standard. InSpacePropulsion Technologies ist nur ein Beispiel von vielen dafür, wie das DLR Grundlagenforschung über Technologietransfer in den Markt bringt.

Viel Freude beim Lesen wünscht

Ihre Redaktion



IN ZUKUNFT STREIFENFREI

8



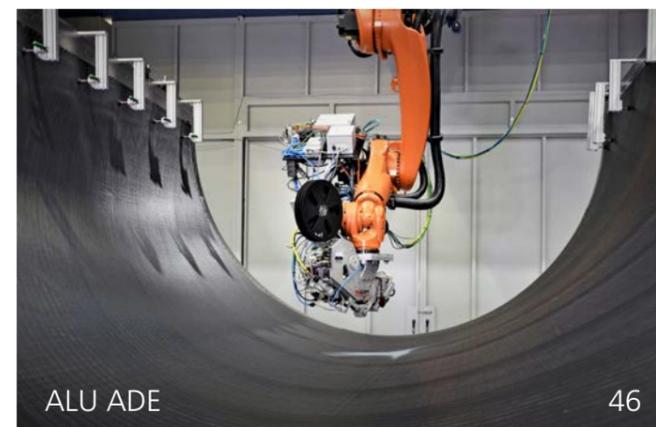
STOFF FÜR NACHHALTIGE RAUMFAHRT

42



NEUER SCHWUNG FÜRS GLEIS

24



ALU ADE

46



EIN BALANCEAKT

20



WISSENSCHAFT ERLEBEN IN AMSTERDAM

52



DES FALKEN REICHE BEUTE

32



GIBT'S DAS AUCH IN GRÜN?

30

MELDUNGEN	6
▶ IN ZUKUNFT STREIFENFREI	8
Flugroutenplanung gegen klimawirksame Kondensstreifen	
▶ VIELFALT IM TANK	14
Sustainable Aviation Fuels (SAF) als Alternative zu fossilen Flugkraftstoffen	
EINBLICK	18
Auf Kurs in Richtung Klimaverträglichkeit	
EIN BALANCEAKT	20
Fluglärmforschung – zwischen Anforderung und Machbarkeit	
INFOGRAFIK	22
Designs für die Zukunft	
▶ NEUER SCHWUNG FÜRS GLEIS	24
Ein Schienenbus für stillgelegte Strecken	
„SHRINK IT AND PINK IT“ IST NICHT GENUG	28
Gender Gap bei der Gestaltung von Verkehrsmitteln	
GIBT'S DAS AUCH IN GRÜN?	30
Dr. Lena Klaas forscht an nachhaltiger Stickstoffgewinnung	
DES FALKEN REICHE BEUTE	32
Hayabusa2 brachte Proben von Asteroid Ryugu	
BIG DATA IN DER ERDBEOBACHTUNG	38
Eine Plattform für Hochleistungsdatenanalyse	
DIE MÖGLICHMACHERIN	40
Im Gespräch mit der Leiterin der DLR-Abteilung Projektmanagementsupport	
STOFF FÜR DIE NACHHALTIGE RAUMFAHRT	42
Die DLR-Ausgründung InSpacePropulsion Technologies	
LUFTVERTEIDIGUNG DER NEUESTEN GENERATION	44
Analyse und Bewertung künftiger Kampfflugzeug-Entwürfe	
ALU ADE	46
Neue Ansätze im Flugzeuggestaltungsbau	
FLIEGENDE LABORE	48
Der DLR Projektträger fördert Atmosphärenforschung	
AUS DEM ARCHIV	50
Forschung unter alliierter Kontrolle	
WISSENSCHAFT ERLEBEN IN AMSTERDAM	52
Das NEMO Science Museum	
FEUILLETON	54



Der Sonnenofen steht auf dem Gelände des DLR in Köln.

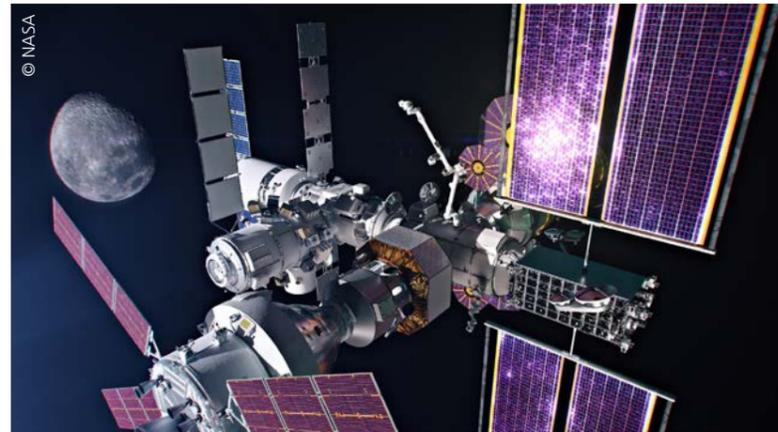
GEBÜNDELTE SONNENENERGIE

Seit 30 Jahren forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR in Köln mit dem sogenannten Sonnenofen daran, wie und wo konzentrierte Solarstrahlung eingesetzt werden kann. Die Großanlage besteht aus einem planen, beweglichen Spiegel, der sich an der Sonne ausrichtet. Die Sonnenstrahlen werden auf eine Fläche von 159 gewölbten Spiegeln reflektiert. Diese Spiegel konzentrieren das Sonnenlicht um das rund 5.000-fache und sind auf einen Punkt im Laborgebäude ausgerichtet. Dort entstehen innerhalb von Sekunden Temperaturen von mehr als 2.000 Grad Celsius und eine Leistungsdichte von fünf Megawatt pro Quadratmeter. Diese Energie wird für eine Vielzahl von experimentellen Anwendungen genutzt. Der aktuelle Fokus der Versuche liegt auf der Speicherung von solar erzeugter Energie mithilfe chemischer Energieträger wie Wasserstoff und Schwefel. So lässt sich die gespeicherte Energie der Sonne zum Beispiel als Kraftstoff weiterverwenden. Mit Solarenergie gewonnene Kraftstoffe können sowohl im Verkehrs- als auch im Wärmesektor zur Anwendung kommen und helfen, den CO₂-Verbrauch bei der Produktion zu senken.

experimentellen Anwendungen genutzt. Der aktuelle Fokus der Versuche liegt auf der Speicherung von solar erzeugter Energie mithilfe chemischer Energieträger wie Wasserstoff und Schwefel. So lässt sich die gespeicherte Energie der Sonne zum Beispiel als Kraftstoff weiterverwenden. Mit Solarenergie gewonnene Kraftstoffe können sowohl im Verkehrs- als auch im Wärmesektor zur Anwendung kommen und helfen, den CO₂-Verbrauch bei der Produktion zu senken.

OBERPFAFFENHOFEN BEKOMMT EIN MONDKONTROLLZENTRUM

Gemeinsam mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA und dem Freistaat Bayern plant das DLR ein europäisches Kontrollzentrum für zukünftige astronautische Mondmissionen. Dazu soll das Columbus-Kontrollzentrum am DLR-Standort Oberpfaffenhofen, das für den Betrieb des Weltraumlabor auf der Internationalen Raumstation ISS verantwortlich ist, zu einem Mondkontrollzentrum ausgebaut werden. Im Rahmen dessen soll auch ein neues Gebäude am Standort entstehen. Das offiziell als Human Exploration Control Center (HECC) bezeichnete Kontrollzentrum soll zukünftig astronautische Missionen zum Mond und vor allem den Betrieb der Mondorbitalstation Lunar Gateway von europäischer Seite unterstützen. Außerdem werden auch neue Betriebs- und Einsatzkonzepte für Mondmissionen entwickelt. Darüber hinaus wird es langfristig auch für astronautische Missionen in den translunaren Bereich zuständig sein, wofür KI-basierte Methoden entwickelt werden. Bei der amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA laufen derzeit mit dem Artemis-Programm die Vorbereitungen für die Rückkehr der Menschheit zum Mond in diesem Jahrzehnt.



Im Rahmen des Artemis-Programms der NASA ist die Mondorbitalstation Lunar Gateway geplant. Diese künstlerische Darstellung zeigt die Station mit angedocktem Raumschiff Orion (links unten).

REGIONALMELDUNGEN:

BRAUNSCHWEIG: Was ist nötig, um eine Lok im Rangierbetrieb fernzusteuern? Wie muss ein Arbeitsplatz zum Rangieren aus der Ferne aufgebaut sein? Diese und andere Fragen untersucht das DLR im Auftrag der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB). Im Frühling präsentierten sie gemeinsam mit dem Schienenfahrzeughersteller Alstom erste Ergebnisse.

HAMBURG: Um medizinisch gut aufgestellt zu sein, verfügt der Bund deutschlandweit über 61 Medizinische Task Forces (MTF), die in Notfällen Patientinnen und Patienten sanitätsdienstlich versorgen können. Im Rahmen des Projekts EUROMED übten die Task Forces im Vorfeld der Fußball-Europameisterschaft ihre Einsatzabläufe. Das DLR unterstützte die Übung mit einem Kamerasystem, Verkehrsdaten und Piloten.

KÖLN: 60 Tage liegen, den Kopf um sechs Grad geneigt. So werden zwölf Personen ab September zu „terrestrischen Astronautinnen und Astronauten“, weil sich ihre Körperflüssigkeiten dabei ähnlich verschieben wie bei Weltraumreisen. Ziel der Studie im DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin: Maßnahmen erproben, damit es nach der Rückkehr aus der Schwerelosigkeit weniger Probleme gibt, Haltung und Bewegungen zu kontrollieren.

50 JAHRE FORSCHUNGSHUBSCHRAUBER BO105

Seit 1974 ist der fünfsitzige Hubschrauber vom Typ BO105 im Forschungseinsatz. Er gilt im internationalen Vergleich als einer der am besten vermessenen Hubschrauber – sowohl im Windkanal als auch im Flugversuch. Der DLR-Forschungshubschrauber verfügt über instrumentierte Blätter für Haupt- und Heckrotor sowie einen instrumentierten Rotorkopf und zukünftig wieder über einen demontierbaren Nasenmast. In seiner Zeit im DLR wurde er für zahlreiche Projekte eingesetzt, unter anderem zur Erforschung von optimierten An- und Abflugverfahren, zur Erprobung von Assistenzsystemen für Pilotinnen und Piloten oder zum Test autonomer Präzisionslandungen von Gleitfallschirmsystemen. Mit den Messdaten aus den Flügen konnten die DLR-Forscherinnen und -Forscher ihre Computersimulationsprogramme stetig erweitern und verbessern. Außerdem dient er als Demonstrator für Flugeigenschafts- und Performanceuntersuchungen zur Heranführung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an die Besonderheiten des Flugversuchs mit dem Hubschrauber. Die BO105 ist am DLR-Standort Braunschweig stationiert.



© DLR



Diese Illustration zeigt Konfigurationen mit verteilten Antrieben (links unten) sowie Turbo-prop- und Turbofan-Antrieben.

ERWEITERUNG DER LUFTFAHRTSTRATEGIE

Anfang 2024 hat das DLR seine Luftfahrtstrategie zum European Green Deal aktualisiert. Im Fokus der Erweiterung stehen die Nicht-CO₂-Effekte. Diese besitzen großes Potenzial, die Klimawirkung des Flugverkehrs vergleichsweise schnell zu reduzieren – insbesondere durch geeignete Flugrouten. Dazu bedarf es politischer Rahmenbedingungen sowie einer zunehmenden Automatisierung und Standardisierung im Flugzeug, im Luftverkehrsmanagement und in der Flugführung. Die neue

DLR-Luftfahrtstrategie zeichnet den Weg hin zur klimaverträglichen Luftfahrt bis zur Mitte des Jahrhunderts. Dafür forscht das DLR technologieoffen zusammen mit der nationalen und internationalen Luftfahrtindustrie und -forschung im gesamten Spektrum: von Flugzeugkonzepten und -komponenten über emissionsarme Antriebslösungen im Zusammenspiel mit nachhaltigen Energieträgern bis hin zu klimawirkungsoptimierten Flugrouten und regulativen Maßnahmen.



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)

IN ZUKUNFT STREIFENFREI

Wie eine gezielte Flugroutenplanung klimawirksame Kondensstreifen verhindern kann

von Stefanie Hulan und Michael Müller

Das DLR-Forschungsflugzeug ATRA bei Flugversuchen zur Klimawirkung von Kondensstreifen im Rahmen der ECLIF-Kampagne 2018



Mehr Verkehr am Himmel und mehr Emissionen – gleichzeitig die Notwendigkeit, insgesamt „grüner“ zu werden. Die Luftfahrt steuert auf massive Umbrüche zu. Dabei geht es nicht nur um alternative Antriebe und nachhaltigere Treibstoffe. Nicht-CO₂-Effekte wie Kondensstreifen oder Stickoxid-induziertes Ozon heizen den Klimawandel zusätzlich an. Dies durch geschickte Routenplanung zu vermeiden, könnte eine effektive Möglichkeit sein, die Klimawirkung des Luftverkehrs zu mindern.

Simulation aller Flugbewegungen weltweit innerhalb eines Tages

Im Jahr 2020 veröffentlichte die Manchester Metropolitan University zusammen mit dem DLR eine Studie. Ihr Ergebnis: Der Luftverkehr verursachte im Jahr 2011 einen Anteil von 3,5 Prozent am menschengemachten Klimawandel. Circa 1,6 Prozent davon entfielen auf das Treibhausgas CO₂. Die verbleibenden zwei Prozent wurden sogenannten Nicht-CO₂-Effekten zugerechnet. Zu diesen zählen unter anderem Stickoxide, Aerosole, Ozon, aber auch Kondensstreifen.

Kondensstreifen entstehen, wenn der im Abgas enthaltene Wasserdampf im Kontakt mit der kalten Umgebungsluft gesättigt oder übersättigt wird und dann an den im Abgas enthaltenen Rußpartikeln Wassertröpfchen kondensieren. Diese gefrieren unmittelbar in der kalten Umgebung. Ist die Umgebung auch noch genügend feucht (eisübersättigt), so bleiben die Kondensstreifen über Stunden bestehen und beeinflussen das Klima. Besonders abends oder nachts haben sie eine wärmende Wirkung. In ähnlicher Weise führen Stickoxide aus dem Luftverkehr dazu, dass Ozon gebildet und Methan abgebaut wird. Da es sich bei beiden um Treibhausgase handelt, werden wiederum die Strahlungsbilanz und damit das Klima beeinflusst. Mitunter können diese Nicht-CO₂-Effekte Tage, Wochen, Monate oder Jahre anhalten – abhängig von den atmosphärischen Verhältnissen und ausgelösten Prozessen. So stehen sie in direktem Zusammenhang mit der Flugroute.

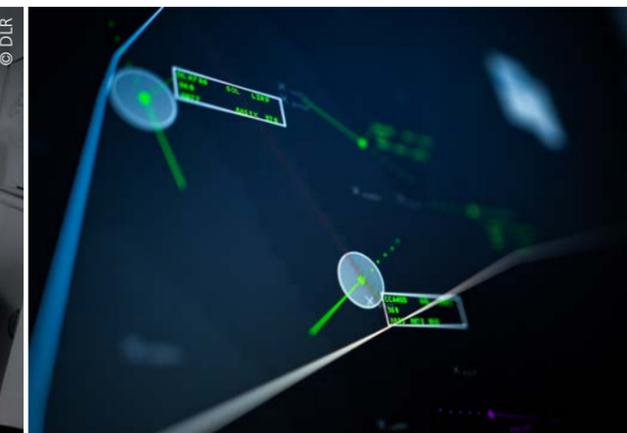
D-KULT DEMONSTRATOR KLIMA- UND UMWELTFREUNDLICHER LUFTRANSPORT

D-KULT erprobt Verfahren, mit denen die Klimawirkung des Luftverkehrs gemindert werden soll. Dabei sollten gleichzeitig CO₂-, Nicht-CO₂-Effekte sowie Lärm und die operativen Betriebskosten möglichst gering gehalten werden. Ein wichtiges Ziel ist es, durch eine gezielte Planung von Flugrouten klimawirksame Kondensstreifen zu vermeiden – sowohl in der Simulation als auch anhand realer Flüge.

Das DLR fungiert als Koordinator und ist mit insgesamt fünf Instituten an dem Projekt beteiligt: Institut für die Physik der Atmosphäre (Koordination), Institut für Flugsystemtechnik, Institut für Luftverkehr, Institut für Flugführung und Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin.

Weitere Beteiligte: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, DWD Deutscher Wetterdienst, Jeppesen GmbH, PACE GmbH, Deutsche Lufthansa AG und Lufthansa Systems GmbH. Assoziierte Partner sind Airbus Operations GmbH, European Air Transport Leipzig GmbH (DHL), Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft e. V. (BDL) und EUROCONTROL MUAC.

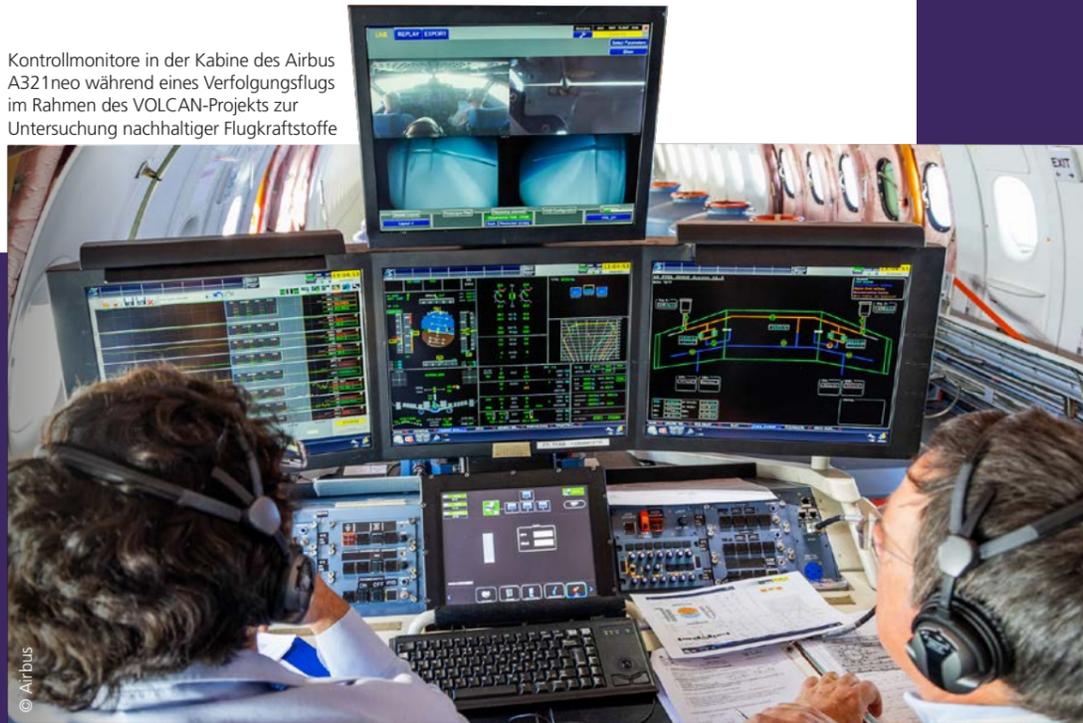
Zusammen mit Lotsinnen und Lotsen untersuchten Forschende des DLR-Instituts für Flugführung in Braunschweig im Radarsimulator ATMOS, welche Werkzeuge bei der Arbeit unterstützen und entlasten können.



Wetterlage beeinflusst Flugzeugemissionen

Wenn Fluggesellschaften Routen für ihre Linienflugzeuge planen und der zuständigen Flugsicherung zur Genehmigung schicken, sind die wichtigsten Aspekte ein niedriger Kerosinverbrauch, eine kurze Flugstrecke sowie geringe Fluggebühren. Die Route mit dem niedrigsten Kerosinverbrauch ist allerdings nicht unbedingt die klimafreundlichste. Parameter wie die Umweltverträglichkeit des Luftverkehrs und hier insbesondere Nicht-CO₂-Effekte spielen aktuell noch keine große Rolle, denn deren Klimawirkung variiert stark mit der aktuellen Wetterlage. Beispielsweise bilden sich langlebige Kondensstreifen nur in eisübersättigten Regionen. Hier setzt das Forschungsprojekt D-KULT an (siehe Infokasten, S.9). Es werden Methoden und Tools entwickelt, mit denen die Nicht-CO₂-Effekte eines Fluges reduziert werden können.

Kontrollmonitore in der Kabine des Airbus A321neo während eines Verfolgungsflugs im Rahmen des VOLCAN-Projekts zur Untersuchung nachhaltiger Flugkraftstoffe



© Airbus

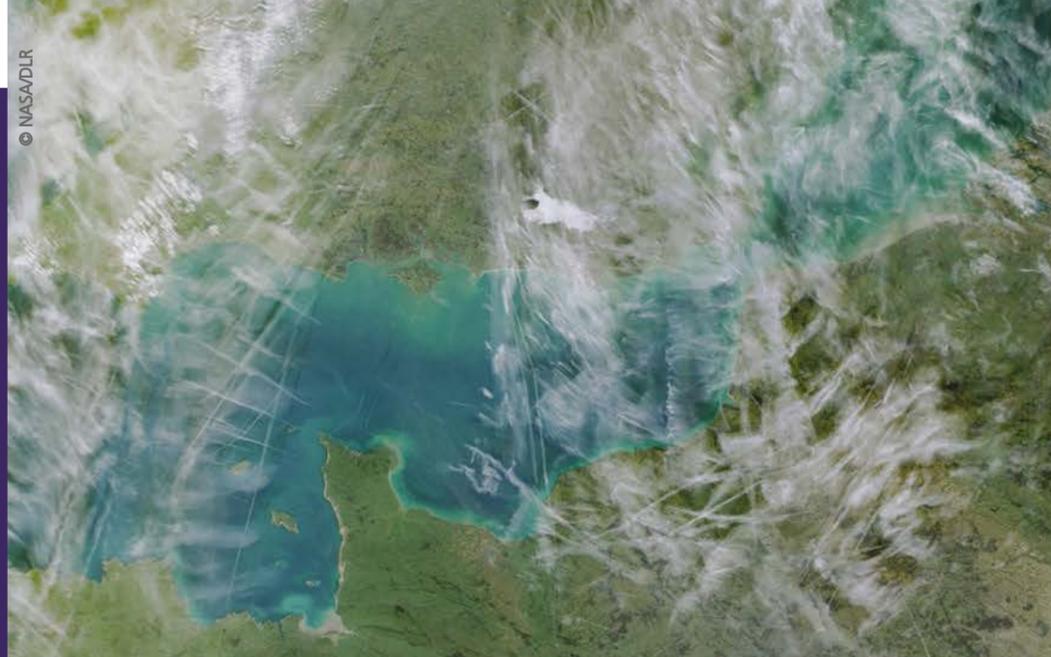
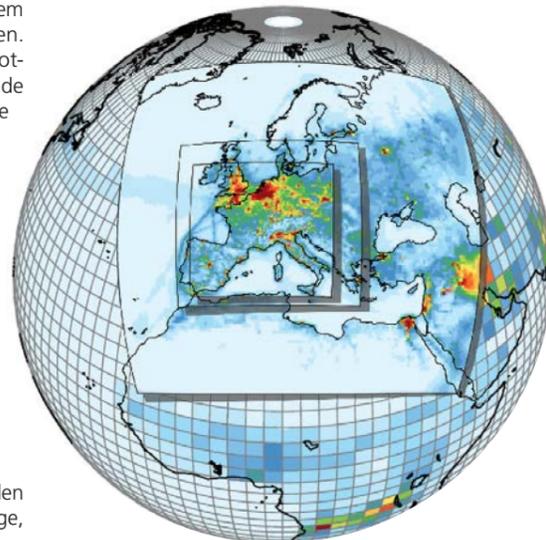
Nach dem Start sind die Lotsinnen und Lotsen gefragt

Die Flugrouten kommen von den Airlines, werden von der Flugsicherung freigegeben und den Pilotinnen und Piloten kurz vor dem Start mitgeteilt. Sie berücksichtigen den Treibstoffverbrauch, aber auch die Wetterlage. Trotzdem kommt es nach dem Start recht häufig noch zu kurzfristigen Änderungen. Mögliche Gründe sind – neben unvorhersehbaren Wetterereignissen – Notfälle an Bord, die eine außerplanmäßige Landung erfordern, oder drohende gefährliche Situationen, wenn die Flugbahnen zweier Flugzeuge notwendige Sicherheitsabstände unterschreiten würden. Lotsinnen und Lotsen sehen entstehende Konflikte in dem von ihnen kontrollierten Luftraumbereich frühzeitig und reagieren, indem sie Kurskorrekturen vorgeben. Diese können die Flughöhe, die Richtung oder die Geschwindigkeit betreffen. Wie die Flugroutenplanung und -optimierung unter Betrachtung von Wetterphänomenen und Klimaaspekten zukünftig umgesetzt und die verantwortlichen Personen unterstützt werden können, ist Gegenstand des Forschungsprojekts DIAL (siehe Infokasten, S.12). Die beteiligten DLR-Fachleute betrachten alle maßgeblichen Einflussfaktoren für die Routenplanung im zivilen Luftverkehr und entwickeln hierfür Algorithmen und Assistenzsysteme.

Klimawirkung reduzieren, Kondensstreifen vermeiden

Flugrouten sollen künftig so geplant werden können, dass Gebiete vermieden werden, in denen zum Zeitpunkt der Durchquerung wahrscheinlich langlebige,

Modellergebnisse von Stickoxidkonzentrationen über Europa. Die Kästen zeigen verschiedene Detailgrade.



© NASADLR

Von Flugzeugen verursachte Kondensstreifen über dem Ärmelkanal, aufgenommen von den NASA-Satelliten Terra und Aqua. Die Prozessierung erfolgte am Earth Observation Center des DLR.



© DLR

WIR HABEN DAS ZIEL IM BLICK

Drei Fragen an Dr. Sigrun Matthes. Sie arbeitet als Physikerin in der Abteilung Erdsystemmodellierung für Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre und leitet das Projekt D-KULT.

Warum spielen Kondensstreifen eine so wichtige Rolle in Ihrer Forschung?

■ Kondensstreifen gehören zu den wesentlichen Nicht-CO₂-Klimaeffekten des Luftverkehrs. Sie sind der einzige Effekt, den man mit bloßem Auge am Himmel sehen kann. Je nachdem, wo sie entstehen, haben sie eine kühlende oder eine wärmende Wirkung – wobei im globalen Mittel die wärmende Wirkung überwiegt. Um Erfahrung mit der Implementierung klimaoptimierter Flugrouten zu sammeln, haben wir uns entschlossen, Flugrouten zu identifizieren, auf denen Kondensstreifen vermieden werden. Ob unsere Planung erfolgreich war, können wir direkt anhand von Satellitenaufnahmen sehen. Solche klimaoptimierten Flugrouten bieten hohes Potenzial, die Klimawirkung des Luftverkehrs zu mindern, da sie mit der heutigen Flotte an Flugzeugen geflogen werden könnten.

2020 wollten Sie die Machbarkeit von Maßnahmen zur Verringerung von Nicht-CO₂-Effekten untersuchen. Wo stehen wir heute?

■ Damals waren wir weit davon entfernt, solche klimaoptimierten Routen zu fliegen. Heute sind wir an der Erprobung von taktischen und strategischen operativen Maßnahmen beteiligt. Wir versuchen, im realen Luftverkehr Gebiete mit hohen Nicht-CO₂-Effekten zu meiden. Das Potenzial einer alternativen Routenplanung haben auch die Luftfahrtunternehmen und die Politik erkannt. Dementsprechend herrscht gerade Aufbruchsstimmung.

Wie schätzen Sie diese Stimmung ein?

■ Aktuell sind wir in D-KULT dabei, in verschiedenen Demoexperimenten gezielt Strategien für klimaoptimierte Flugrouten im realen Betrieb zu erproben. Zum einen unterstützt uns die Deutsche Flugsicherung dabei, den Luftverkehr in Sektoren, in denen sich Kondensstreifen bilden könnten, alternativ zu führen. Zum anderen werden auch reale Systeme für die strategische Flugroutenplanung erweitert, sodass den Fluggesellschaften tagesaktuell klimaoptimierte Flugrouten vorgeschlagen werden können. Wir haben uns bereits 2010 gemeinsam auf den Weg gemacht. Aber wir brauchen weiter einen langen Atem. Wesentliche Ziele für einen klimaverträglichen Luftverkehr sind, die Vorgänge in der Atmosphäre genauer zu verstehen und verlässliche Abschätzungen der Klimaeffekte zu liefern. Dieses Ziel haben wir fest im Blick und wir gehen Schritt für Schritt darauf zu.

„Für klimaoptimierte Flugrouten ist es wichtig, die verringerte Klimawirkung aller Effekte verlässlich nachzuweisen.“

Dr. Sigrun Matthes
Abteilung Erdsystemmodellierung im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre,
Leitung D-KULT

stark wärmende Kondensstreifen entstehen. Dabei sollen die „Kosten“ dieser Umwege im akzeptablen Bereich bleiben. Gleichzeitig soll nicht aufgrund höherer CO₂-Emissionen klimaschädlicher geflogen werden. Also muss die optimale Kombination von Kosten, geringem Kerosinverbrauch und klimaverträglicher Route auf Basis aller Emissionstypen gefunden werden. Eine zentrale Herausforderung für die Forschenden besteht darin, zuverlässig vorherzusagen, ob in einem bestimmten Gebiet zu einer bestimmten Zeit tatsächlich Kondensstreifen entstehen. Zu diesem Zweck werden numerische Modelle der Wettervorhersage weiterentwickelt und mit Beobachtungen verglichen. Beobachtungsdaten von Linienflugzeugen können nicht nur für die Modellevaluation genutzt werden, sie sind auch nötig, um das in den Modellen simulierte Wetter nah an der Realität zu halten. Somit kann der atmosphärische Anfangszustand der numerischen Simulation, also „das Wetter von gestern“, realistischer beschrieben werden.

Die Grenzen der Modellierung

Die Herausforderung liegt nun darin, diese numerischen Wettervorhersagemodelle so zu erweitern, dass sie die Nicht-CO₂-Klimaeffekte so genau wie möglich abschätzen können. Hierfür fließen Ergebnisse zur



Im Projekt VOLCAN (VOL avec Carburants Alternatifs Nouveaux) flog im Februar/ März 2023 ein Airbus A321neo erstmals mit reinem SAF in beiden Triebwerken, verfolgt vom DLR-Forschungsflugzeug Falcon 20E.

© DLR

Das DLR-Forschungsflugzeug Falcon flog im Rahmen der ECLIF-Kampagne im Abgasstrahl einer NASA DC-8, die mit verschiedenen Kraftstoffmischungen unterwegs war.

DIAL DER INDIVIDUELLE UND AUTOMATISIERTE LUFTVERKEHR

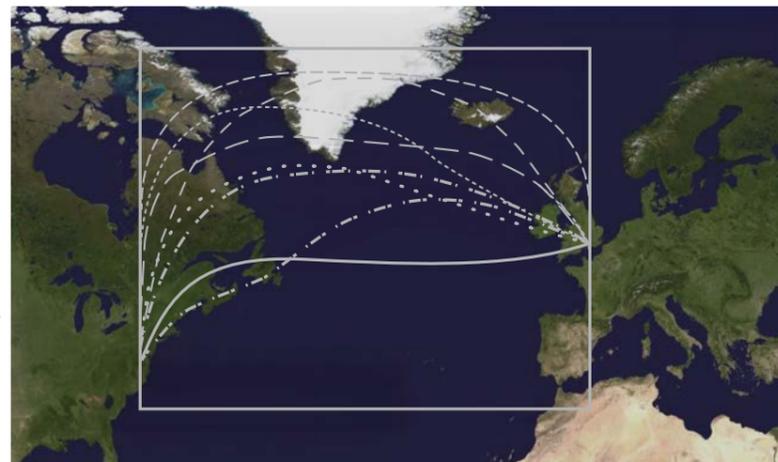
Ziel von DIAL ist es, Technologien und Konzepte zu liefern, die die Kapazität im Luftraum bei gleichbleibender Sicherheit erhöhen. Neuartige meteorologische Dienste für Sicherheit und Klima sollen mit Assistenzsystemen gekoppelt werden, um die Lotsinnen und Lotsen in den Kontrollzentren zu entlasten. Auf diese Weise gewinnen sie Zeit, um Pilotinnen und Piloten klimaschonende Routen bereitzustellen. Dazu betrachten die beteiligten Fachleute alle maßgeblichen Einflussfaktoren für die Routenplanung im zivilen Luftverkehr. Das reicht von generellen Flugführungskonzepten über Weltraumwetter und den Einfluss der Betriebsbedingungen auf die Emissionen von Triebwerken bis hin zur Entwicklung neuester Berechnungsmethoden für die Erstellung von Flugtrajektorien. Das Projekt wird geleitet vom DLR-Institut für Flugführung. Weiterhin sind die DLR-Institute für Physik der Atmosphäre, für Verbrennungstechnik, für Luft- und Raumfahrtmedizin, für Luftverkehr sowie für Kommunikation und Navigation an DIAL beteiligt.

Klimawirkung von Emissionen aus der Klimamodellierung in die Wettervorhersagemodelle ein. Die Wirkung von Emissionen in der Atmosphäre ist äußerst komplex und hängt stark von der aktuellen meteorologischen Situation ab. Daher lässt sich die Klimawirkung der Nicht-CO₂-Effekte heute noch nicht zuverlässig abschätzen. Es ist wichtig, die unterschiedlichen Quellen der Unsicherheiten zu identifizieren und diese systematisch zu beschreiben. Denn letztlich müssen die Klimaeffekte mit hinreichender Genauigkeit bekannt sein, damit eine robuste Entscheidung bei der jeweiligen Routenwahl getroffen werden kann. Wie gut die Vorhersage funktioniert und wie stark der Effekt dieser neuen Routenberechnungen auf die Klimawirkung des Luftverkehrs ist, wird in D-KULT untersucht. Wetterdienst, Flugsicherung, Fluggesellschaften und Wissenschaft müssen eng zusammenarbeiten, um die gegenwärtigen Planungssysteme so weiterzuentwickeln, dass sie Routen mit niedrigerer Gesamtklimawirkung identifizieren und gleichzeitig dieser Unsicherheit Rechnung tragen.

Starre Luftraumstruktur macht die Planung komplexer

Um das volle Klimapotenzial der Flugroutenoptimierung auszuschöpfen, müsste man idealerweise fliegen können, wo man will. Am Himmel aber

Nicht immer ist die kürzeste Route auch die mit der geringsten Klimawirkung. Die DLR-Forschenden ermitteln die beste Option unter Berücksichtigung verschiedenster Faktoren wie Wettervorhersage oder Streckenlänge. Aufgrund der gewählten Kartenprojektion (Mercator) erscheinen die polnahen Routen deutlich länger als in der Realität.



Der Luftraum über Europa ist stark frequentiert. Laut EUROCONTROL wurden 2023 durchschnittlich rund 28.000 Flüge täglich durchgeführt.



„Assistenzsysteme werden mehr und mehr Freiräume schaffen, um individuelle und klimaoptimierte Flugrouten umsetzen zu können.“

Dr. Maik Friedrich

Abteilung Systemergonomie im DLR-Institut für Flugführung, Leitung DIAL-Projekt



Maik Friedrich testete gemeinsam mit Projektbeteiligten Tools zur Automatisierung des Flugverkehrsmanagements. Hier eine Blickbewegungsmessung.

ist es voll – und es wird noch voller. Prognosen besagen, dass sich die Anzahl der Passagierflüge bis 2050 verdreifachen könnte. Damit gefährliche Situationen vermieden werden, ist der Luftraum größtenteils in eine starre Struktur unterteilt, ähnlich einem Hochhaus mit Stockwerken. Flugzeuge dürfen immer nur in einem bestimmten Stockwerk fliegen – über dem Nordatlantik beispielsweise gilt die Regel, dass in einer Höhe hin- und in der benachbarten Höhe zurückgeflogen wird. Wer beispielsweise aufgrund eines klimasensitiven Gebiets tiefer fliegen wollte, müsste gleich zwei Stockwerke nach unten ausweichen. Da der Wechsel der Flughöhe Treibstoff und in der Regel auch Zeit kostet, ist es das Sparsamste, trotz der erwartenden Kondensstreifenbildung einfach durchzufliegen. Der Mehrverbrauch an Kerosin stünde in keinem Verhältnis zur eingesparten Klimawirkung.

100-Flüge-Programm geht an den Start

In Europa wird es für die Luftfahrt jetzt konkret: Pünktlich zur Internationalen Luft- und Raumfahrtausstellung ILA in Berlin startet am 5. Juni das im Rahmen des „Arbeitskreises klimafreundliche Luftfahrt“ konzipierte 100-Flüge-Programm, in dem die Vermeidung von Kondensstreifen im konkreten Flugbetrieb untersucht werden soll. Die Auswertung dieser Flugversuche obliegt dem D-KULT-Projekt. Und auch DIAL geht in die Zielgerade der vierjährigen Förderung: Nächster Schritt ist eine größere Validierung, ebenfalls in Form einer Simulation. Diese soll zeigen, dass alle Komponenten zusammenspielen und eine fortlaufende Optimierung stattfindet. Für die Abschätzung des jeweiligen Klimaeffekts wird ein sogenanntes Klima-Response-Modell eingesetzt. Als „Futter“ für die kommende Simulation dienen reale Flugverkehrstage vor und nach der COVID-19-Pandemie. Die zentrale Fragestellung lautet, welches der konkrete Nutzen der Zusammenschaltung aller Routeninformationen für die Optimierung ist, genauer gesagt: Wie viel Treibstoff hätte sich im Vergleich zum Flug ohne Optimierung einsparen lassen? Wie viel CO₂ wäre weniger ausgestoßen worden? Und wie stark ließe sich die Klimaerwärmung durch das Umfliegen sensibler Gebiete reduzieren?

Stefanie Huland und **Michael Müller** sind Redaktionsmitglieder in der DLR-Kommunikation.



BESTMÖGLICH UNTERSTÜTZT

Drei Fragen an Dr. Maik Friedrich vom DLR-Institut für Flugführung. Er arbeitet in der Abteilung Systemergonomie und koordiniert das Projekt DIAL.

Wie könnte sich die Arbeit von Lotsinnen und Lotsen in Zukunft ändern?

Assistenzsysteme werden mehr und mehr Einzug in die Arbeit halten, um sie zu entlasten. Das schafft Freiräume, in denen sie individuelle und klimaoptimierte Routen umsetzen können. Um die Luftraumkontrolle stärker zu automatisieren, untersuchen wir in DIAL die „Single Controller Operations“ und die „sektorlose Flugverkehrskontrolle“. Bei Ersterem ist lediglich ein Lotse oder eine Lotsin pro Sektor im Einsatz, unterstützt von Assistenzsystemen. Die Systeme übernehmen im Wesentlichen die Aufgaben der Routenplanung. In der gewonnenen Zeit können Klimaaspekte bei der Routenführung berücksichtigt werden. Bei unseren letzten DIAL-Versuchen haben wir zusammen mit Lotsinnen und Lotsen acht vom DLR entwickelte Assistenzsysteme in unseren Simulatoren getestet. Zwei davon sind besonders vielversprechend.

Welche Vorteile für das Klima hätte eine sektorlose Luftraumkontrolle?

Dies ist ein neuer Ansatz. Anstatt verschiedener Sektoren gibt es nur einen großen Luftraum. Die Lotsinnen und Lotsen sind dann für eine bestimmte Anzahl an Flugzeugen vom Start bis zum Ziel zuständig anstatt für einen Sektor. Sie können Flugzeuge auf direkteren Strecken zwischen Start- und Landeflughafen führen, insbesondere in großen, grenzüberschreitenden Lufträumen. So erreichen wir eine höhere Luftraumkapazität. Das kommt dem Klimaschutz zugute, da die zusätzliche Kapazität für die Durchführung möglichst vieler „klimaoptimierter“ Flüge genutzt werden kann. Je größer ein sektorloser Luftraum ist, desto größer sind auch die umweltschonenden Vorteile. Konzepte wie direkte Routen oder erhöhte Automation können die positiven Effekte des sektorlosen Konzepts außerdem noch deutlich steigern.

Wie greifen optimierte Flugroutenplanung und Luftraumstruktur ineinander?

Ein weiterer Fokus im DIAL-Projekt ist die Verbindung von aktuellen Klimazielen in der Luftfahrt mit deren größten Einflussfaktoren. Die Einflussfaktoren des Klimas werden in realistischen Simulationen abgebildet und ihre Klimawirkung wird analysiert. Die Simulationen werden verbessert, indem neuartige meteorologische Dienste mit einbezogen werden. Mit ihnen können dann Wetterrisiken und disruptive Ereignisse entlang von Flugstrecken identifiziert und die Klimawirkung der Strecke berechnet werden. Besonders gut lassen sich die Simulationen dazu verwenden, Flugroutenplanung und Luftraumstrukturen systematisch zu variieren und deren Einflüsse auf den Flugverkehr und auf deren Klimawirkung realistisch zu untersuchen. So können wir schon heute die Entscheidungsträger in der Luftfahrt besser unterstützen.

VIELFALT IM TANK

Sustainable Aviation Fuels (SAF) als Alternative zu fossilen Flugkraftstoffen
von Anja Tröster

Was haben Ölabfälle, Grünpflanzen, Wasserstoff und Klärschlamm gemeinsam? Aus all diesen Stoffen lassen sich nachhaltige Kraftstoffe herstellen, mit denen die Flugzeuge der Zukunft angetrieben werden könnten. Der Begriff SAF – Sustainable Aviation Fuels oder nachhaltige Kraftstoffe – hat in den letzten Jahren in der Luftfahrt mehr und mehr an Bedeutung gewonnen. Doch was steckt eigentlich dahinter? Was unterscheidet SAF von klassischem Kerosin? Welche Rolle spielen nachhaltige Kraftstoffe bei der Dekarbonisierung der Luftfahrt? Auf welchem Stand ist die aktuelle Forschung? Und welche Vorteile bringen diese potenziellen Nachfolger des klassischen Kerosins mit sich? Dieser Artikel beantwortet wichtige Fragen rund um das Thema SAF.

Was sind SAF?

Die Abkürzung Sustainable Aviation Fuels (SAF) steht für eine Vielzahl an nachhaltigen Flugzeugkraftstoffen aus höchst unterschiedlichen Ausgangsstoffen. Alle haben zwei Dinge gemeinsam: Sie sind chemisch nahezu identisch mit Kerosin, basieren aber nicht auf fossilen Rohstoffen, und sie haben über ihren gesamten Lebenszyklus (von der Quelle bis zur Verbrennung) einen deutlich geringeren CO₂-Fußabdruck als Kerosin. SAF sollen fossile Kraftstoffe in der Luftfahrt auf Mittel- und Langstrecken ersetzen. Das sind die Bereiche, die schwierig zu elektrifizieren sind. Der erste halbsynthetische SAF der südafrikanischen Firma Sasol wurde im Jahr 1998 zugelassen.

Zum Vergleich: Woraus besteht Kerosin?

Herkömmlicher Treibstoff für Flugzeuge ist ein Gemisch, das durch Destillation und Raffination aus Rohöl gewonnen wird. Bei der Raffination werden im gleichen Durchlauf neben Kerosin auch noch Diesel und Benzin gewonnen. Kerosin enthält verschiedene Kohlenwasserstoffe wie Paraffine, Cycloparaffine und Aromaten. Die Gruppe der Aromaten ist beispielsweise wichtig, um Dichtungen elastisch zu halten. Allerdings entstehen aus ihnen im Verbrennungsprozess auch Rußpartikel, die später zur Bildung klimawirksamer Kondensstreifen führen. Kerosin werden oft noch weitere Verbindungen zugesetzt, die für den sicheren Betrieb eines Flugzeugs wichtig sind. Dazu gehören unter anderem Antistatistikmittel, Vereisungshemmer, Korrosionshemmer und Stoffe, welche die thermische Stabilität verbessern. Die Spezifikationen schreiben nicht vor, wie der Treibstoff zusammengesetzt sein soll, sondern definieren die physikalischen Eigenschaften, die er aufweisen muss.

Warum gelten SAF und vor allem synthetische Treibstoffe als klimaverträglichere Alternativen zu Kerosin?

Fossile Brennstoffe setzen während des Verbrennungsprozesses den Kohlenstoff frei, den sie bei ihrer Entstehung über einen langen Zeitraum gebunden haben. Auf diese Weise reichern sie CO₂ in der Atmosphäre weiter an und tragen so zur globalen Erwärmung bei. Das bei der Verbrennung von Sustainable Aviation Fuels freigesetzte CO₂ wurde zuvor aus nachhaltigen Quellen dem Kreislauf entzogen, sodass die Netto-CO₂-Emissionen deutlich reduziert sind. Das zeigt die Analyse ihres Lebenszyklus. Außerdem können viele dieser neuartigen Treibstoffe so designt werden, dass sie so gut wie keinen Ruß produzieren und deshalb weniger Kondensstreifen verursachen. Bei der Herstellung synthetischer, also strombasierter Kraftstoffe werden weniger Wasser und Land verbraucht als bei der Produktion biomassebasierter Kraftstoffe, die aus organischen Stoffen gewonnen werden. Wenn diese strombasierten Kraftstoffe mit erneuerbarer Energie und CO₂ aus der Atmosphäre produziert werden, können sie fast vollständig kohlenstoffneutral sein. Allerdings ist es bis dahin noch ein weiter Weg. Die große Hürde ist, dass der Verbrauch an Energie in der Produktion sehr groß ist. Die notwendigen Kapazitäten müssen erst noch geschaffen werden.

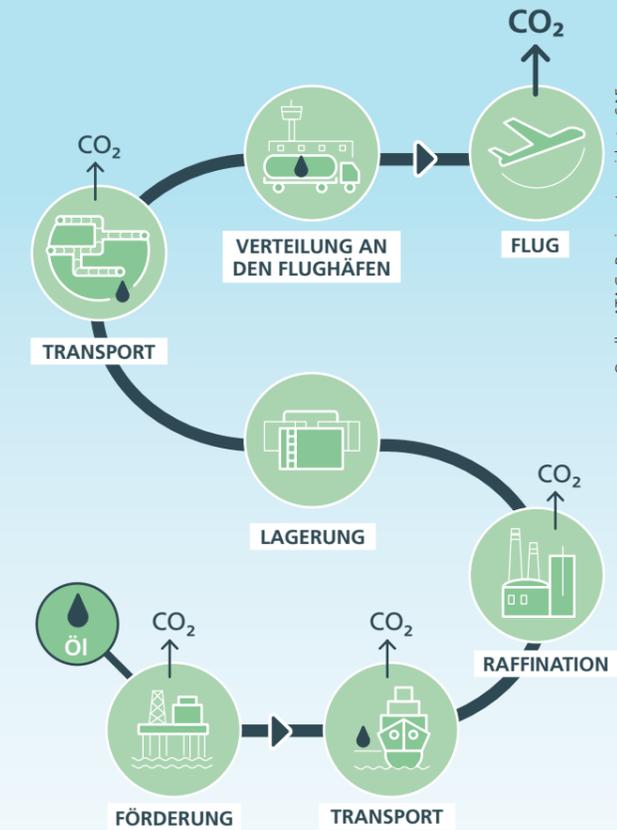
Wie werden SAF heute produziert?

Aktuell gibt es acht zugelassene Herstellungsverfahren. Die mit Abstand größte Menge wird aktuell nach dem HEFA-Verfahren (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) hergestellt. Ausgangsstoffe sind hier sowohl pflanzliche als auch tierische (Alt-)Öle und (Alt-)Fette, zum Beispiel gebrauchtes Fett aus Fritteusen. Die Fette und Öle werden zunächst hydriert. Das so entstandene Öl kann ähnlich dem Rohöl zu Kerosin raffiniert werden. Dieses Verfahren ist allerdings nicht unbegrenzt skalierbar. Deshalb wird an Alternativen gearbeitet. Vielversprechend erscheint vor allem Methanol.

Die Vielzahl der Namen ist verwirrend – welche sollte man sich für die Zukunft merken?

Der Begriff Sustainable Aviation Fuels ist Jahrzehnte alt – er wurde geprägt, als man nach Alternativen zu Kerosin zu suchen begann. Inzwischen gibt es so viele nichtfossile Kraftstoffe, dass man von drei Generationen spricht: Die erste waren Kraftstoffe aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen. Die zweite setzt auf Reststoffe biologischen Ursprungs. Zu dieser Gruppe zählen die HEFA-Kraftstoffe. Nachhaltig skalieren lässt sich nach heutiger Auffassung nur die dritte Generation der strombasierten Kraftstoffe, auch E-Fuels genannt. Deshalb konzentriert sich das DLR auf die Erforschung, Erprobung und Optimierung dieser chemischen Energieträger. In Jülich wird im solarthermischen Versuchskraftwerk das Sun-to-Liquid-Verfahren erforscht. Im Chemiepark Leuna baut das DLR eine Technologieplattform für Power-to-Liquid-Kraftstoffe (TPP) in semiindustriellem Maßstab auf, die den Markthochlauf der strombasierten Kraftstoffe beschleunigen soll.

KOHLENSTOFFKREISLAUF: FOSSILE TREIBSTOFFE

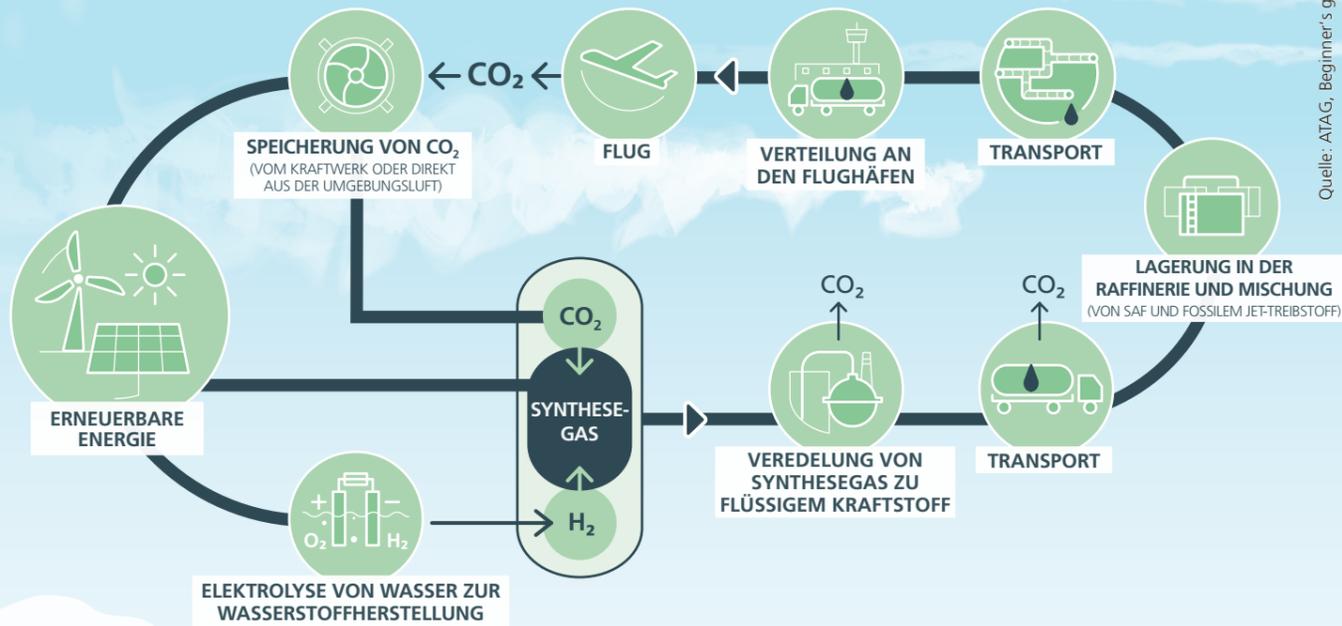


An welchen Innovationen wird sonst noch gearbeitet?

Der österreichische Öl- und Gaskonzern OMV hat ein patentiertes Verfahren zur Gewinnung von Rohöl aus Plastikabfällen entwickelt, die ReOil-Methode. Aus dem Endprodukt kann in einem zweiten Schritt dann ebenfalls ein SAF raffiniert werden. Den wohl ungewöhnlichsten Ausgangsstoff bearbeitet das britische Start-up Firefly: Es will menschliche Exkremente nutzen. Den Berechnungen von Firefly-Gründer James Hygate zufolge produziert jeder Mensch pro Jahr genug, damit daraus vier bis fünf Liter SAF hergestellt werden können. Würde Großbritannien diese Mengen komplett nutzen, könnte das immerhin fünf Prozent des nationalen Treibstoffbedarfs decken.

KOHLENSTOFFKREISLAUF:

DIE SAF-PRODUKTION MIT DEM POWER-TO-LIQUID-PROZESS (PTL)



Quelle: ATAG, Beginner's guide to SAF



Verursachen SAF nur während des Flugs weniger Ruß, oder gilt das auch an den Flughäfen?

Auch an Flughäfen wird sich die lokale Luftqualität verbessern, wenn Kerosin nach und nach durch SAF ersetzt wird. Darauf deuten erste Messergebnisse im Rahmen eines EU-Forschungsprojekts am Flughafen Kopenhagen hin. Dort hat ein DLR-Team über mehrere Wochen die Emissionen einer Maschine gemessen, die eine Mischung mit 35 Prozent SAF getankt hatte. Die Daten zeigen eine Reduktion der Partikel in der Größenordnung von 30 Prozent.

Was ist mit den Bezeichnungen drop-in/non drop-in gemeint?

Drop-in-fähige Kraftstoffe sind Kraftstoffe, die sofort in der kompletten Flotte eingesetzt werden können, ohne dass Anpassungen an den Flugzeugen notwendig sind. Diese Kraftstoffe sind also mit allen heute üblichen Triebwerken kompatibel, auch den Triebwerken älterer Flugzeuge. Bei Non-drop-in-Kraftstoffen handelt es sich um Kraftstoffe, die gewisse Anpassungen erfordern, zum Beispiel bei Dichtungen. Sie sind bisher noch nicht zugelassen.

Wenn die Energiewende in diesem Bereich gelingt, wer wird davon profitieren?

Eine Welt, in der klimaverträgliches Fliegen Realität ist, geht auch mit einer anderen Struktur am Boden einher. Das hat mehrere Gründe: Da es so viele verschiedene Möglichkeiten gibt, nichtfossile Kraftstoffe zu produzieren, wird es regional unterschiedliche Lösungen geben. Heute konzentriert sich die Öl- und Gasindustrie auf 22 Länder, die 90 Prozent aller fossilen Ausgangsstoffe liefern. Die Hälfte der geförderten Menge kommt sogar aus nur fünf Ländern. Um die notwendigen Mengen an SAF zu produzieren, werden Schätzungen aus der DEPA2050-Studie zufolge 5.000 bis 7.000 Raffinerien weltweit gebraucht. Wir werden künftig also keine Monopole mehr sehen, sondern eine regional diverse Produktion. Dabei könnten rund um die Produktion 14 Millionen Jobs entstehen – nicht nur in Europa, sondern weltweit.

Können SAF mit normalem Kerosin gemischt werden?

Im Augenblick dürfen SAF in der kommerziellen Luftfahrt nur gemischt mit Kerosin eingesetzt werden. Erlaubt ist zurzeit eine Beimischung von maximal 50 Prozent. Weil bisher nur geringe Mengen am Markt erhältlich sind, liegt der Anteil der tatsächlichen Beimischung aber im Bereich von weniger als einem Prozent. Ab 2025 ist eine Beimischung von zunächst zwei Prozent SAF für alle Flüge, die innerhalb Europas starten, gesetzlich vorgeschrieben. Dieser Anteil steigt dann auf fünf Prozent im Jahr 2030. Der Anteil soll bis 2050 auf 63 Prozent steigen – ein wichtiger Schritt hin zur klimaverträglichen Luftfahrt.

Was ist der größte Vorteil von SAF?

SAF können im Labor gezielt für eine emissionsarme Verbrennung designt werden, sodass in den Flugzeugturbinen wenig bis keine Rußpartikel entstehen. DLR-Studien zeigen, dass bei Verwendung von reinem SAF im Vergleich zu Kerosin bis zu 80 Prozent weniger Ruß in die Atmosphäre gelangt. Es entstehen dementsprechend weniger Kondensstreifen. Damit lässt sich durch diese Treibstoffe die Klimawirkung weit über die CO_2 -Emissionen hinaus reduzieren.

Können wir mit der Menge an SAF, die wir heute produzieren, schon einen positiven Klimaeffekt erzielen?

Tatsächlich müssen wir nicht auf eine flächendeckende Verfügbarkeit warten, sondern können schon jetzt etwas tun: Forschende des DLR haben gezeigt, dass ein gezielter Einsatz von SAF in Regionen mit viel Kondensstreifenbildung eine deutlich größere Wirkung hat als eine Beimischung über alle Flüge hinweg. Der Grund: Kondensstreifen entstehen nicht überall in gleichem Maß, es gibt vielmehr gewisse Hot Spots. Dazu zählen auch einige vielbeflogene Regionen über Europa. Deshalb tüfteln DLR-Forschende an Konzepten für einen „smarten Einsatz“ von SAF – beispielsweise gezielt an diesen Hot Spots. Das setzt allerdings eine andere Infrastruktur am Boden voraus.

Der Marktanteil von SAF beträgt heute weniger als ein Prozent. Wie gelingt der Markthochlauf?

Die Entwicklung hat bereits begonnen, ausgelöst durch zwei wichtige politische Entscheidungen: Die USA haben im Jahr 2021 mit der „SAF Grand Challenge“ ein Förderprogramm für die heimische Produktion von biogenem SAF aufgelegt. Bis zum Jahr 2030 sollen pro Jahr mehr als elf Milliarden Liter produziert werden. Die EU hat einen anderen Weg gewählt und im Frühjahr 2023 Quoten festgelegt. Beide Maßnahmen haben Planungssicherheit für Produzenten geschaffen – es zeigt sich, dass jetzt sowohl Start-ups als auch große Konzerne in die Entstehung einer neuen Branche zu investieren beginnen.

Anja Tröster ist für die Öffentlichkeitsarbeit am DLR-Institut für Verbrennungstechnik verantwortlich.

AUF KURS IN RICHTUNG KLIMAVERTRÄGLICHKEIT

Der neueste Zugang der DLR-Forschungsflotte, unterwegs über Bad Tölz an der Isar: Noch deutet nur die Lackierung des Fliegers auf seine zukünftigen Aufgaben hin. Bis Ende 2025 wird das Turboprop-Passagierflugzeug vom Typ Dornier 328 zu einem UpLift-Flugversuchsträger für umweltverträgliche Technologien umgebaut. UpLift soll die Weiterentwicklung aller Technologien unterstützen, die zur Erhöhung der Nachhaltigkeit der Luftfahrt führen. In diesem Rahmen steht das Flugzeug als offene Versuchsplattform zur Verfügung. Dazu werden unter anderem die Turbinen so modifiziert, dass sie mit vollsynthetischen Kraftstoffen (SAF) betrieben werden können.

Zum ersten Mal werden Forschende die Luftchemie und die Kondensstreifenbildung eines Turboprop-Flugzeuges, das zu 100 Prozent mit aromatenfreiem SAF betrieben wird, im realen Betrieb analysieren. Aromaten – zyklische Kohlenwasserstoffe – sind ein wesentlicher Bestandteil

von Flugzeugtreibstoffen: Sie lassen zum Beispiel die Polymerdichtungen von Tanks aufquellen, um Treibstofflecks zu verhindern. Allerdings sind Aromaten maßgeblich für die Rußbildung bei der Kraftstoffverbrennung im Triebwerk verantwortlich. Folglich verringert aromatenfreies SAF die Rußbildung und damit auch die Bildung von Kondensstreifen. Bei der Internationalen Luftfahrtausstellung ILA in Berlin vom 5. bis zum 9. Juni 2024 kann UpLift zum ersten Mal besichtigt werden.

Hauptzielgruppe für die Nutzung des UpLift-Flugversuchsträgers mit der Kennung D-CUPL ist die deutsche Luftfahrtindustrie – speziell kleine und mittelständische Unternehmen, die über keine eigenen Forschungsflugzeuge verfügen. Bei dem momentan laufenden Um- und Ausbau von D-CUPL zu einem fliegenden Versuchsstand kooperiert das DLR mit der Deutschen Aircraft GmbH. Stationiert wird D-CUPL bei der DLR-Einrichtung Flugexperimente in Braunschweig.



EIN BALANCEAKT

Fluglärmforschung – zwischen Anforderung und Machbarkeit

Gespräch mit Dr. Michael Möbner



Modell eines A320 mit Lärminderungsmaßnahmen im Niedergeschwindigkeits-Windkanal in Braunschweig

Die Anforderungen an den Luftverkehr der Zukunft sind hoch, die Herausforderungen für die Forschung groß: Laut Europäischer Union soll der Lärm von Flugzeugen bis 2050 um 65 Prozent sinken. Gleichzeitig soll die Luftfahrt klimafreundlicher werden. Kann das funktionieren? Dr. Michael Möbner ist Lärmforscher im Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Braunschweig. Gemeinsam mit seinen Kolleginnen und Kollegen stellt er sich diesen Herausforderungen.

Wie viele Menschen sind eigentlich von Fluglärm betroffen?

In Deutschland wohnt rund ein Prozent der Bevölkerung in direkter Nähe eines Flughafens. Wir sprechen hier also von circa 820.000 Menschen, die täglich einem Lärmpegel von mehr als 55 Dezibel ausgesetzt sind. Hier müssen wir schnell für Entlastung sorgen. Wollen wir in den von der WHO empfohlenen Bereich kommen, müssen wir den Lärm um mindestens 15 Dezibel senken. Bei unserer Forschung beziehen wir uns vor allem auf Lärm an Flugzeugen und rund um Flughäfen.

Welche Maßnahmen können ein Flugzeug denn leiser machen?

In unserem Projekt SIAM (Schall-Immissions-Armes Mittelstreckenflugzeug) haben wir verschiedene Möglichkeiten auf die Probe gestellt: andere Flugrouten, höheres Anfliegen oder bauliche Änderungen am Flugzeug, um nur einige zu nennen. Beim Flugzeug gehören beispielsweise die Triebwerke in vielen Flugphasen zu den lautesten Elementen. Hier geht der Trend hin zu größeren Triebwerken.

Größere Triebwerke klingen erstmal nach mehr Lärm ...

Aber das Gegenteil ist der Fall. Bei gleichbleibendem Schub strömt die Luft langsamer durch das Triebwerk und macht es dadurch leiser. Mit sogenannten Linern, einer Art Dämpfungsmatte mit kleinen Löchern, können wir zusätzlich Schall direkt im Triebwerk absorbieren. Am effektivsten für Anwohnende ist es aber, den Triebwerkslärm nach unten hin abzuschatten, indem man die Triebwerke auf die Tragflächen setzt. So kann der Schall nicht ungehindert nach unten abstrahlen. Die Anwohnenden sind dann quasi im Schallschatten des Triebwerks.

So ein Flugzeug stelle ich mir optisch ziemlich exotisch vor.

Das ist es auch. In SIAM haben wir genau so ein revolutionär leises Flugzeug virtuell entworfen, das die eben genannten und noch weitere Lärminderungsaspekte erfüllt. Das Ergebnis ist ein Kompromiss zwischen der Machbarkeit und dem Maximum an Lärminderung. Auch aerodynamisch und strukturell haben wir aufwändige Detailuntersuchungen vorgenommen, um in möglichst vielen Bereichen belastbare Aussagen treffen zu können. Aber: Neue Lösungsansätze gehen oft auf Kosten der Effizienz und damit der Klimaverträglichkeit.

Lärmarm und klimaverträglich gleichzeitig ist also gar nicht so einfach. Woran liegt das?

Zum Beispiel ist das aus Sicherheitsgründen notwendige T-Leitwerk schwer: Es vergrößert die Oberfläche, erhöht den Flugwiderstand und kostet am Ende Treibstoff. Das ist eine große Herausforderung

für unsere Forschung – die optimale Kombination von Technologien, Flugzeugkonfigurationen und Flugverfahren zu identifizieren und dabei den Anforderungen der Politik gerecht zu werden.

Das klingt nach einem Dilemma. Was macht ihr jetzt mit dieser Erkenntnis?

Klimaverträglichkeit steht zu Recht im Fokus und erlaubt keine kompromisslosen leisen Flugzeuge wie unseres. Die Neuentwicklung und die Marktdurchdringung benötigen oft Jahrzehnte. Für eine schnelle und kostengünstige Lösung setzen wir auf Umbauten wie die Abdeckung verschiedener Fahrwerksteile an bereits bestehenden Flugzeugen. Deswegen haben wir neben dem futuristischen Flugzeugentwurf in SIAM auch Windkanalversuche mit einem Airbus-A320-Halbmodell durchgeführt, an das wir Lärminderungsmaßnahmen aus dem Vorgängerprojekt Low Noise ATRA (LNATRA) angebaut haben. Bereits vor einigen Jahren haben wir Flugversuche mit solchen Umbauten an einem A320 durchgeführt, mit sehr guten und brauchbaren Ergebnissen. Das alles fließt jetzt in unser Folgeprojekt LU(FT)² 2030 mit ein. Da Versuche mit Anbauten an einem echten Flugzeug jedoch extrem teuer und aufwändig sind, bringen wir die Ergebnisse aus LNATRA in eine virtuelle Umgebung. Mit zusätzlichen Windkanalexperimenten und Flugsimulator-Tests wollen wir dann unsere numerischen Verfahren zuverlässiger machen, um damit Maßnahmen zur Lärminderung an konventionellen und künftigen Flugzeugen zu verbessern.

Um einen Blick in die Glaskugel zu werfen: Werden wir die Forderungen der EU bis 2050 erfüllen können?

Würden wir die Klimaverträglichkeit außer Acht lassen, hätten wir mit unserem SIAM-Entwurf die Erwartungen bis dahin weitestgehend erfüllt. Allerdings müssten dann ganze Flugzeugflotten erneuert werden, was Jahrzehnte dauern würde. So lange können wir nicht warten. Wir möchten zeitnah, nämlich bis 2030, Lärminderungsmaßnahmen an bestehenden Flugzeugen erreichen.

Die Fragen stellte Vera Koopmann. Sie arbeitet im Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik im Bereich Öffentlichkeitsarbeit.

LÄRM UND LÄRMBELASTUNG

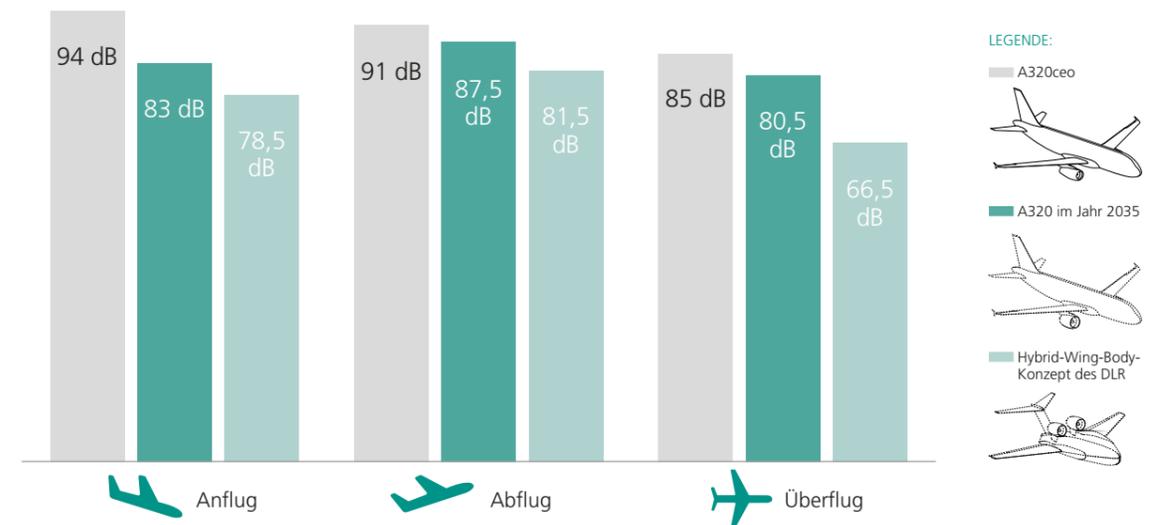
Ab wann ein Geräusch als Lärm gilt, hängt von vielen Faktoren ab. Vor allem sind Dauer und Lautstärke entscheidend. Fluglärm ist kein konstantes Geräusch und wird deshalb im Vergleich zu gleichbleibenden Geräuschen in der Regel als belastender empfunden. Um die Lärmbelastung insgesamt realistisch einschätzen und vergleichen zu können, wird ein spezieller Wert errechnet, der auf einen bestimmten Zeitraum bezogen ist. Er nennt sich äquivalenter Dauerschallpegel (LAeq) und wird in dB(A) angegeben. Die WHO empfiehlt in ihren „Night Noise Guidelines“ (NNGl) für Nachtlärm einen Richtwert für Außenlärm von 40 dB(A). Ab einem Wert von über 33 dB steigt die Wahrscheinlichkeit, aufzuwachen. Eine Studie des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin zeigte, dass Schlafstörungen bereits ab einem Wert von 35 dB im Innenraum auftreten.



Michael Möbner leitet das Projekt SIAM.

DAS GEHT DOCH LEISER

Der effektiv wahrgenommene Lärmpegel in Dezibel (dB) des Hybrid-Wing-Body-Konzepts im Vergleich zu einem zukünftigen A320. Als Referenz dient ein A320ceo aus dem Jahr 2000.



IDEEN FÜR DIE ZUKUNFT

Neue Flugzeugkonzepte für eine klimaverträgliche Luftfahrt

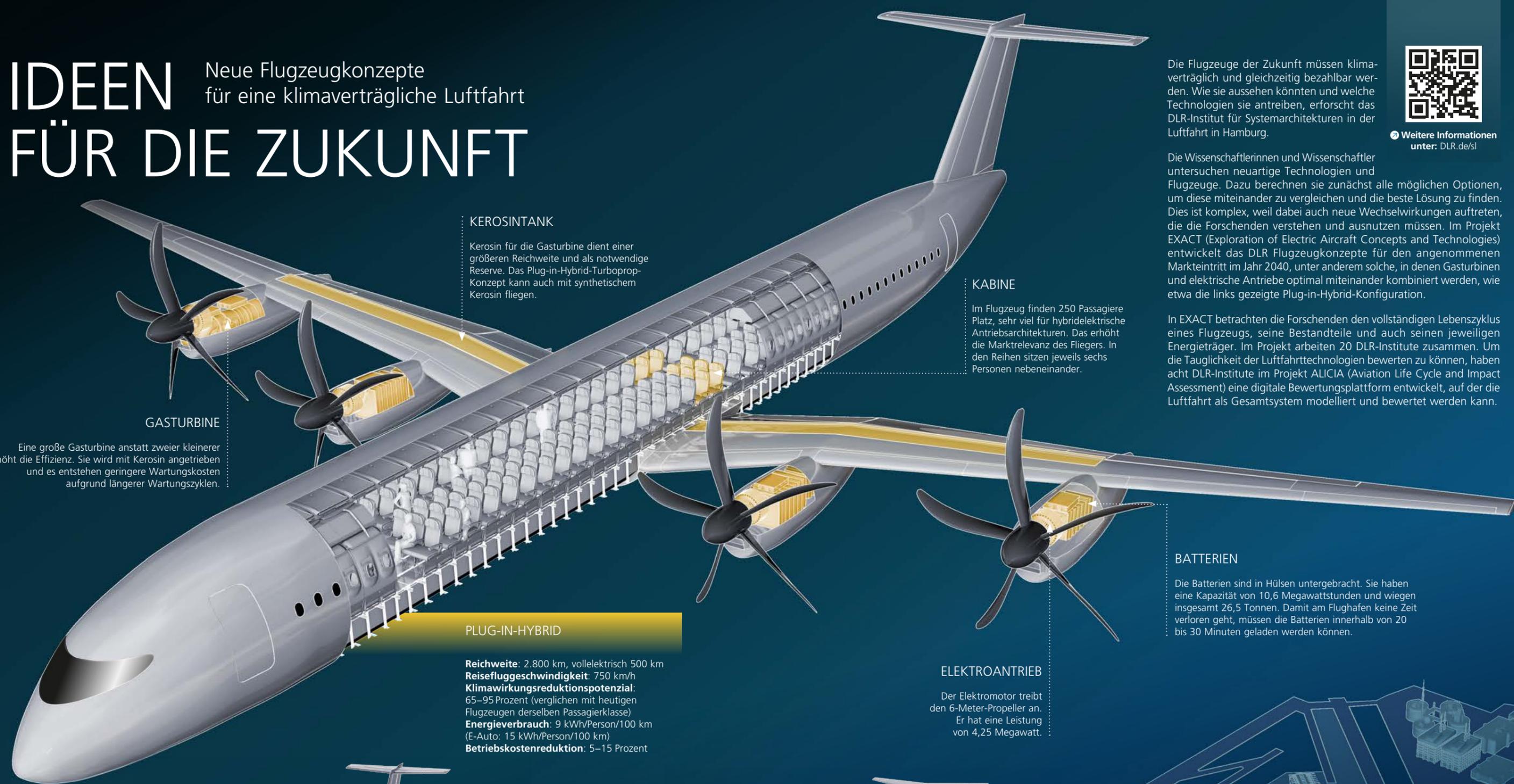


Weitere Informationen unter: [DLR.de/sl](https://www.dlr.de/sl)

Die Flugzeuge der Zukunft müssen klimaverträglich und gleichzeitig bezahlbar werden. Wie sie aussehen könnten und welche Technologien sie antreiben, erforscht das DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt in Hamburg.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchen neuartige Technologien und Flugzeuge. Dazu berechnen sie zunächst alle möglichen Optionen, um diese miteinander zu vergleichen und die beste Lösung zu finden. Dies ist komplex, weil dabei auch neue Wechselwirkungen auftreten, die die Forschenden verstehen und ausnutzen müssen. Im Projekt EXACT (Exploration of Electric Aircraft Concepts and Technologies) entwickelt das DLR Flugzeugkonzepte für den angenommenen Markteintritt im Jahr 2040, unter anderem solche, in denen Gasturbinen und elektrische Antriebe optimal miteinander kombiniert werden, wie etwa die links gezeigte Plug-in-Hybrid-Konfiguration.

In EXACT betrachten die Forschenden den vollständigen Lebenszyklus eines Flugzeugs, seine Bestandteile und auch seinen jeweiligen Energieträger. Im Projekt arbeiten 20 DLR-Institute zusammen. Um die Tauglichkeit der Luftfahrttechnologien bewerten zu können, haben acht DLR-Institute im Projekt ALICIA (Aviation Life Cycle and Impact Assessment) eine digitale Bewertungsplattform entwickelt, auf der die Luftfahrt als Gesamtsystem modelliert und bewertet werden kann.



KEROSINTANK

Kerosin für die Gasturbine dient einer größeren Reichweite und als notwendige Reserve. Das Plug-in-Hybrid-Turboprop-Konzept kann auch mit synthetischem Kerosin fliegen.

KABINE

Im Flugzeug finden 250 Passagiere Platz, sehr viel für hybridelektrische Antriebsarchitekturen. Das erhöht die Marktrelevanz des Fliegers. In den Reihen sitzen jeweils sechs Personen nebeneinander.

GASTURBINE

Eine große Gasturbine anstatt zweier kleinerer erhöht die Effizienz. Sie wird mit Kerosin angetrieben und es entstehen geringere Wartungskosten aufgrund längerer Wartungszyklen.

PLUG-IN-HYBRID

Reichweite: 2.800 km, vollelektrisch 500 km
Reisefluggeschwindigkeit: 750 km/h
Klimawirkungsreduktionspotenzial: 65–95 Prozent (verglichen mit heutigen Flugzeugen derselben Passagierklasse)
Energieverbrauch: 9 kWh/Person/100 km (E-Auto: 15 kWh/Person/100 km)
Betriebskostenreduktion: 5–15 Prozent

ELEKTROANTRIEB

Der Elektromotor treibt den 6-Meter-Propeller an. Er hat eine Leistung von 4,25 Megawatt.

BATTERIEN

Die Batterien sind in Hüllen untergebracht. Sie haben eine Kapazität von 10,6 Megawattstunden und wiegen insgesamt 26,5 Tonnen. Damit am Flughafen keine Zeit verloren geht, müssen die Batterien innerhalb von 20 bis 30 Minuten geladen werden können.

TURBOPROP-KONFIGURATION

Dieses Flugzeug sieht von außen altertümlich aus, ist aber eine der technisch besten Lösungen: Der Turboprop-Antrieb mit großen Rotoren ist besonders energieeffizient, funktioniert aber nur bei etwas geringeren Fluggeschwindigkeiten. Das DLR erforscht auch, wie die Propeller ausgelegt werden müssen, um Lärm am Boden und in der Kabine zu vermeiden. Für fast alle Konfigurationen ist der Betrieb mit Wasserstoff eine wichtige Option.



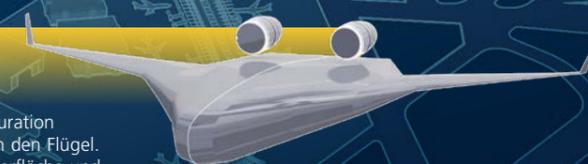
TRUSS-BRACED WING

Flügel mit sehr großer Spannweite verringern den aerodynamischen Widerstand und damit den Energieverbrauch. Die Abstreber verhindern, dass die Flügel viel schwerer werden als herkömmliche Modelle. Hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen Strebe und Flügel besteht Forschungsbedarf. Außerdem untersuchen die Forschenden Klappflügel, die den Platzbedarf auf dem Flughafen nicht vergrößern.



BLENDED-WING-BODY

Die Blended-Wing-Body-Konfiguration integriert den Rumpf fließend in den Flügel. Dadurch reduzieren sich die Oberfläche und damit der Widerstand, was den Energieverbrauch senkt. Das DLR erforscht, wie die Druckkabine für die Passagiere ausgelegt sein muss, ohne dass sich die Masse erhöht, und wie die Steuerbarkeit gewährleistet werden kann, ohne dass sich der Widerstand vergrößert.





NEUER SCHWUNG FÜRS GLEIS

Ein Hightech-Schienenbus als Chance für stillgelegte Strecken

von Denise Nüssle

Mit dem NGT-TAXI entwickelt das DLR ein kleines, leichtes und effizientes Schienenfahrzeug. In Zukunft soll es automatisiert und vor allem auf Nebenstrecken unterwegs sein – und so auch im ländlichen Raum für eine schnelle und flexible Anbindung sorgen.

Der Schienenverkehr gehört zu den Hoffnungsträgern der Mobilitätswende. Im Vergleich zu anderen motorisierten Verkehrsmitteln ist die Bahn schon jetzt klimaverträglich und energieeffizient unterwegs. Gleichzeitig ist der Zug das sicherste Verkehrsmittel. Das Comeback der Schiene ist großangelegt: Die Bundesregierung will die Verkehrsleistung im Personenverkehr bis 2030 verdoppeln und die Schiene günstiger machen. Innovative Antriebe sollen integriert sowie Fahrzeuge und Infrastruktur digitalisiert werden. Das Streckennetz soll erweitert, stillgelegte Abschnitte wieder in Betrieb genommen und das Angebot besonders im ländlichen Raum verbessert werden.

Hier setzt das NGT-TAXI an. Die Abkürzung NGT steht für Next Generation Train. Darunter fallen im DLR Konzepte und Technologien für den Schienenverkehr der Zukunft. In das Projekt fließt Know-how aus den Bereichen alternative Antriebe, Leichtbau, nachhaltige Werkstoffe, Fahrwerk, Klimatisierung, Automatisierung sowie Steuerung und Regelung. „Das NGT-TAXI beinhaltet nicht nur das Fahrzeug, also den Zug selbst, sondern auch ein neuartiges Betriebskonzept sowie die Zugleit- und Sicherungstechnik bei der Infrastruktur“, erklärt Dr. Jens König vom DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte. Dort koordiniert er die Aktivitäten zum NGT-TAXI-Fahrzeug.

Strecken wiederbeleben – mit neuem Ansatz

Seit den 1950er Jahren sind nach und nach rund 30 Prozent des deutschen Schienennetzes stillgelegt worden. Hier schlummert Potenzial: Häufig ist die Reaktivierung dieser Strecken möglich und vor allem im Vergleich zum Neubau oftmals deutlich weniger aufwändig.



Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) und die Interessenvertretung Allianz pro Schiene schlagen die Wiederinbetriebnahme von fast 300 Strecken mit einer Länge von mehr als 4.500 Kilometern vor. Mehr als 300 Städte und Gemeinden – und damit 3,4 Millionen Menschen – könnten so wieder Anschluss ans Bahnnetz erhalten.

„Die Wiederinbetriebnahme muss sich auch wirtschaftlich lohnen. Es braucht neue Ideen. Was wir entwickeln, ähnelt den Schienenbussen, wie sie Eisenbahnfans aus den 1950er und 1960er Jahren kennen. Das NGT-TAXI ist eine hochmoderne Variante davon und bringt den Ansatz zurück in die Zukunft“, beschreibt Bahnexperte Jens König. Die DLR-Forschenden wollen nicht große, schwere und lange Züge einsetzen. Denn für sie müssten die Strecken wieder voll ausgebaut und umfassend mit Leit- und Sicherungstechnik ausgestattet werden. Stattdessen setzt das Team auf kleine, leichte und automatisiert fahrende Züge mit alternativen Antrieben. Das Design soll barrierefrei sein und viel Platz bieten, um Gepäck, Fahrräder und Kinderwagen unterzubringen.

Leicht, alternativ angetrieben und modular aufgebaut

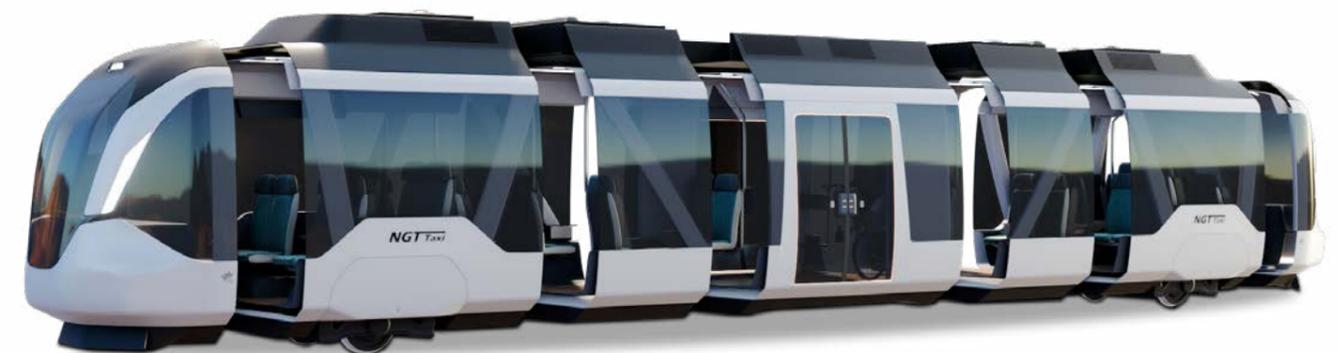
Was die Auslegung des Wagenkastens, das Crashverhalten sowie die Leit- und Sicherheitstechnik betrifft, orientiert sich das NGT-TAXI auch am Straßenbahnsektor und an den dort existierenden Vorgaben und Zulassungsprozessen. Unter einem Wagenkasten versteht man die „Karosserie“ eines Zugs. Sie besteht aus Außenwänden, Boden, Dach und Stirnwänden. Um diese leicht zu gestalten, berechnen die Forschenden mittels Topologieoptimierung eine optimale Tragstruktur. Es wird nur dort steifes und schwereres Material eingesetzt, wo es aufgrund der statischen und dynamischen Belastungen, die auf den Wagenkasten wirken, erforderlich ist.

Angetrieben wird der futuristische Schienenbus klimaverträglich und lokal emissionsfrei mit Batterien oder Brennstoffzellen. Denn Nebenstrecken und stillgelegte Strecken haben meist keine Oberleitungen. Bis zu einer Reichweite von circa 100 Kilometern könnten Batterien ausreichen. Für längere Distanzen setzt das DLR auf Brennstoffzellen in Kombination mit kleineren Batterien. Letztere liefern die notwendige Energie für das Beschleunigen und speichern die beim Bremsen zurückgewonnene Energie. Für das Antriebskonzept sollen standardisierte Powerpacks entworfen werden. Abhängig von Fahrzeuggröße, Streckenprofil und Reichweite stecken dann eine oder mehrere dieser Antriebseinheiten im Zug.

Ein weiteres Merkmal des NGT-TAXIs: Fahrzeugstruktur und Antriebskonzept sind modular aufgebaut und lassen sich flexibel an die Gegebenheiten anpassen. Die kürzeste Variante des Zugs ist etwas über zehn Meter lang und verfügt über zwölf Sitzplätze. Die längste misst 17 Meter und hat 54 Sitzplätze. Möglich machen das miteinander kombinierbare Wagenmodule, die in größerer Stückzahl und damit kosteneffizient produziert werden können.



Barrierefrei und mit viel Stauraum: Der Innenraum des NGT-TAXIs ist nah an den Anforderungen der Nutzenden im Regionalverkehr.



Durch die modulare Bauweise lassen sich Länge und damit Kapazität des NGT-TAXIs flexibel an die Erfordernisse anpassen.

Automatisiert unterwegs

Ein wichtiger Bestandteil des NGT-TAXIs ist sein automatisierter Betrieb. Die dafür notwendigen Systeme, Sensoren und Kameras sollen weitgehend ins Fahrzeug integriert werden, damit dieses so weit wie möglich unabhängig von der jeweiligen Schieneninfrastruktur ist. Aktuell sucht die Deutsche Bahn mehr als tausend Lokführerinnen und Lokführer. Soll wieder mehr Verkehr auf die Schiene zurückverlagert werden, wird sich dieser Mangel verschärfen. In Zeiten, zu denen Züge gering ausgelastet sind, ist der Mensch im Führerstand ein erheblicher Kostenfaktor. Automatisiertes Fahren bietet in beiderlei Hinsicht neue Möglichkeiten für die Schiene.

Schon längere Zeit fahren U-Bahnen in abgeschlossenen Netzen automatisiert. Weitere Beispiele finden sich im Güterzugbereich. Was es noch nicht gibt, sind automatisierte Züge, die im Mischbetrieb unterwegs sind – also sich Strecken mit konventionell gesteuerten Fahrzeugen teilen. Denn automatisierte Züge müssen umfassend und eigenständig mit anderen Zügen, der Infrastruktur, dem Umfeld und den Fahrgästen interagieren. Zwar gibt es schon Kamera- und Fahrerassistenzsysteme, aber noch nichts, was einen sicheren, vollautomatisierten Betrieb ermöglichen würde. „Was notwendig sein wird, ist ein Remote-Arbeitsplatz in einer Leitstelle“, sagt Dr. Michael Meyer zu Hörste vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik. Er verantwortet die Arbeitspakete, die für den Betrieb des NGT-TAXIs wichtig sind. Dazu gehören die Automatisierung sowie die Leit- und Sicherungstechnik. „In außergewöhnlichen Situationen greift geschultes Personal ein, wenn die Automatisierung nicht mehr weiterweiß. Das wird ein komplett neues Arbeitsfeld sein, das erst entwickelt und erprobt werden muss.“

Flexibel und nach Bedarf im Einsatz

Eine Bedingung für die Wiederinbetriebnahme von Bahnstrecken ist die Wirtschaftlichkeit. Ebenso muss der Anschluss an bestehende Verbindungen gut koordiniert sein. Obwohl Machbarkeitsstudien in 75 Prozent der Fälle zu einem positiven Ergebnis gekommen sind, wurden in den letzten beiden Jahren weniger als zehn Kilometer reaktiviert – so eine Auswertung der Allianz pro Schiene und des VDV. Neue Betriebskonzepte, wie beim NGT-TAXI, können helfen, hier schneller voranzukommen. Sogar neue Strecken könnten erschlossen werden, die nach dem bisherigen Bewertungsverfahren im Betrieb unrentabel sind.

Bislang sind Züge nach einem festen Fahrplan unterwegs. „Für das NGT-TAXI entwickeln wir unterschiedliche Betriebskonzepte, beispielsweise für einen tageszeitabhängigen Taktbetrieb oder einen On-

Demand-Betrieb, der vom tatsächlichen Fahrgastaufkommen abhängt. Aufgrund des automatisierten Betriebs ist das Fahrzeug rund um die Uhr einsatzbereit. Es fährt dann, wenn es benötigt wird, je nach Zahl der Fahrgäste in der entsprechenden Größe. So lassen sich Leerfahrten vermeiden, die Kosten für Betrieb und Instandhaltung senken und generell Ressourcen schonen“, erklärt Jens König. Bisher gibt es On-Demand-Angebote im Straßenverkehr vor allem als Zubringer, Ersatz oder Ergänzung zum öffentlichen Nahverkehr.



Prototyp als großer Schritt

Erstmals im Rahmen der NGT-Forschungsprojekte plant das DLR, einen fahrfähigen Prototyp zu bauen und im Betrieb zu erproben. In der institutionellen Bahnforschung sind solche Demonstratoren im Realmaßstab selten. „Aus unseren Erfahrungen im Automotive-Bereich wissen wir, wie wichtig Prototypen für Forschung, Industrie und Öffentlichkeit sind. Denn ein Konzept wie das NGT-TAXI wird nur Erfolg haben, wenn

„Bei NGT-TAXI profitieren wir von den Stärken des DLR: unserer interdisziplinären Kompetenz in den Ingenieurwissenschaften, der fachlich breiten Aufstellung und unserer Praxisnähe.“

Prof. Tjark Siefkes

Direktor DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte

die Menschen es auch nutzen wollen. Prototypen bieten hier die Möglichkeit zum Anfassen, Ausprobieren und Mitfahren“, fasst Prof. Tjark Siefkes, Direktor des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte, zusammen.

WILLKOMMEN IN DER NGT-FAMILIE

Unter dem Leitkonzept „Next Generation Train (NGT)“ entwickelt das DLR seine Vision, wie der Schienenverkehr der Zukunft als wesentlicher Teil einer auf Nachhaltigkeit und Kapazitätssteigerung ausgerichteten Mobilität aussehen könnte. Entstanden ist eine ganze Zugfamilie: Der NGT-HST (High-Speed Train) ist ein doppelstöckiger Hochgeschwindigkeits-Triebwagenzug mit Geschwindigkeiten von bis zu 400 Kilometern pro Stunde. Der NGT-LINK ist ein doppelstöckiger, interregionaler Zubringerzug. Er soll Städte untereinander und mit Ballungszentren verbinden. Der NGT-CARGO ist ein schneller, leiser und automatisiert fahrender Güterzug, der je nach Bedarf aus Einzelwagen und Triebköpfen zusammengestellt wird. So können Güter flexibel, ressourcenschonend, schnell und zuverlässig befördert werden. Das Leitkonzept NGT wächst weiter: mit Konzepten für zukunftsweisende Bahnhöfe und Logistikterminals sowie aktuell den Arbeiten für das NGT-TAXI.



Von links: Dr. Gerhard Kopp, Dr. Jens König und Dr. Marco Münster beraten im Concept Lab des Instituts für Fahrzeugkonzepte über neue Ideen für das NGT-TAXI.

Konzepte wie das NGT-TAXI sind aufgrund von Größe, Gewicht und Kosten ideal und relativ überschaubar. Vor allem angesichts der im Bahnbereich sonst üblichen Dimensionen: Ein ICE 4, wie er bei der Deutschen Bahn seit einigen Jahren eingesetzt wird, kostet mehr als 30 Millionen Euro, ist fast 400 Meter lang und hat eine Leermasse von rund 750 Tonnen. „Der Wissenszuwachs beim Aufbau und Testbetrieb eines solchen Prototyps ist enorm. Denn Technologien und Entwicklungen in diesem Fahrzeug zusammenzubringen und als Gesamtes zu erproben, das ist nochmal etwas ganz anderes als die Arbeit an einzelnen Komponenten oder die Simulation am Computer“, blickt DLR-Wissenschaftler Siefkes in die Zukunft und ergänzt: „Bei solchen Vorhaben profitieren wir von den Stärken des DLR: unserer interdisziplinären Kompetenz in den Ingenieurwissenschaften, der fachlich breiten Aufstellung und unserer Praxisnähe.“

Realisieren will das DLR-Team die kürzeste Variante des NGT-TAXIs mit einer Länge von knapp unter zehn Metern und einem Leergewicht zwischen 15 und 20 Tonnen. Die erste Version des NGT-TAXIs soll gleichzeitig als Versuchsträger dienen. Das heißt, es können Komponenten eingebaut oder getauscht werden, um weitere wissenschaftliche Projekte beim Transfer in die Praxis zu unterstützen. Dazu arbeiten Gruppen aus neun DLR-Instituten Hand in Hand. Weiteres Know-how und Feedback erhält das DLR aus der Zusammenarbeit mit 21 Projektbeteiligten aus Forschung und Industrie im „EU-Rail-Projekt FP6 – FutuRe“. Erste Unternehmen haben Interesse signalisiert, den Bau des Prototyps mit dem DLR voranzutreiben. „Unser großes Ziel wäre ein Forschungsbetrieb über einen längeren Zeitraum“, sagt Tjark Siefkes. Schon jetzt ist das Team dazu mit unterschiedlichen Regionen in Europa im Austausch und diskutiert geeignete Strecken.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin in der DLR-Kommunikation.

DLR-Forscher vom Institut für Fahrzeugkonzepte montieren ein Rad an ein Fahrwerk.



Ein Stück Zukunft in der Hand: Dr. Jens König mit einem Modell des NGT-TAXIs





„SHRINK IT AND PINK IT“ IST NICHT GENUG

Studie zeigt Gender Gap bei der Gestaltung von Verkehrsmitteln
von Stefanie Hulan

Wussten Sie, dass Frauen in einem vergleichbaren Verkehrsunfall eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit haben, verletzt zu werden, als Männer? Oder dass sie mit öffentlichen Verkehrsmitteln länderübergreifend unzufriedener sind als ihre männlichen Mitreisenden? In der wissenschaftlichen Literatur belegte Beobachtungen wie diese waren es, die die DLR-Forscherinnen Dr. Laura Gebhardt und Sophie Nägele vom Institut für Verkehrsforschung sowie Mascha Brost vom Institut für Fahrzeugkonzepte veranlasst haben, genauer hinzuschauen.

Fehlende Gleichstellung von Männern und Frauen, allgemein als Gender Gap bezeichnet, begegnet uns im Alltag an vielen Stellen. Die bekannteste dieser Lücken ist wohl das Gender Pay Gap, die inzwischen statistisch gut belegte Beobachtung, dass Frauen in vergleichbaren beruflichen Positionen im Schnitt nach wie vor weniger verdienen als ihre männlichen Kollegen. Dank wissenschaftlicher Untersuchungen und Beobachtungen können solche Lücken festgestellt und gemessen werden. In ihrer Studie „Please Mind the Gap“ zeigen die DLR-Forscherinnen Dr. Laura Gebhardt, Sophie Nägele und Mascha Brost, dass es eine solche geschlechterspezifische Lücke auch in Hinblick auf die Gestaltung von Verkehrsmitteln gibt.

Unterschiedliche Aufgaben, unterschiedliche Bedürfnisse

Ein Großteil der Männer arbeitet in Vollzeit und fährt morgens zur Arbeit und abends wieder nach Hause. Frauen dagegen, die statistisch häufiger in Teilzeit arbeiten und mehr Sorgearbeit leisten, haben durch die Kombination aus Lohn- und Sorgearbeit kleinteiligere und komplexere Wegeketten. Aus den verschiedenen Rollen resultieren unterschiedliche Anforderungen an die genutzten Verkehrsmittel. Wenn in

Bussen und Bahnen weder Platz für Kinderwagen und Rollstühle noch ausreichend Stauraum für Taschen und Gepäck vorhanden ist, sind es in erster Linie die weiblichen Fahrgäste, für die das Konsequenzen hat: Fehlen solche Elemente, wird die Nutzung dieser Verkehrsmittel erschwert oder sogar verhindert.

„Aus Daten und Studien wissen wir, dass der öffentliche Verkehr häufiger von Frauen genutzt wird. Auch steht Frauen im Vergleich zu Männern seltener ein Auto zur Verfügung und sie sind eher bereit, auf Autofahren zu verzichten“, sagt Gebhardt. „Um diese Hauptnutzungsgruppe zu adressieren, gilt es, die Bedürfnisse und Anforderungen von Frauen bei der Gestaltung von Mobilitätsangeboten zu berücksichtigen. Dabei reicht es nicht, ihnen mit dem Motto ‚shrink it and pink it‘ – verkleinere es und male es rosa an – zu begegnen.“

Vergleichbare Untersuchungen im Bereich der Softwaregestaltung zeigen, dass sich die Benutzbarkeit für alle verbessert, wenn die Bedürfnisse von Frauen berücksichtigt werden. Sophie Nägele: „Es ist naheliegend, dass dies auch für die Gestaltung von Verkehrsmitteln gilt.“ Der Effekt ist offensichtlich: Was das Einsteigen für Frauen mit

Kinderwagen erleichtert, hilft allen Personen dabei, einen Bus einfacher betreten zu können, und in gut ausgeleuchteten Unterführungen fühlen sich alle sicherer.

Sicher für alle?

Rückhaltesysteme wie Airbags werden in Europa fast ausschließlich mit einem Crashtest-Dummy getestet, der der männlichen Physiognomie entspricht. Die Systeme werden also daraufhin geprüft, wie sie im Falle eines Unfalls einen männlichen Insassen schützen. In Anbetracht der körperlichen Unterschiede, etwa im Hinblick auf die Muskel- und Fettverteilung bei Männern und Frauen, ein nicht zu unterschätzendes Sicherheitsrisiko – für Frauen!

Auch im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) gibt es Optimierungspotenzial, beispielsweise hinsichtlich der Sicherheit bei Unfällen und abrupten Fahrmanövern. Eine Richtlinie des Europäischen Rats sieht vor, dass in Fahrzeugen, die mehr als neun Personen befördern, Halteoptionen im Bereich zwischen 80 und 190 Zentimetern angebracht sein müssen. Eine durchschnittliche deutsche Frau ist 1,65 Meter groß und kann Haltegriffe in 1,90 Meter Höhe nicht gut erreichen. Deswegen stabilisieren sich viele Frauen mit niedrigeren Festhaltemöglichkeiten, zum Beispiel Sitzlehnen oder anderen niedrigeren Objekten, die ursprünglich nicht als Festhaltemöglichkeit verbaut wurden. Dadurch stehen sie im Schnitt weniger stabil. Ihr Verletzungsrisiko bei Brems- oder Beschleunigungsmanövern steigt.

Nicht berücksichtigte Geschlechterunterschiede können mitunter sogar zu einem geplant ungesunden Verhalten führen. In einer Studie aus dem Jahr 2011 gaben 41 Prozent der befragten Frauen an, dass sie – auch wenn sie Durst haben – auf ihren Bahnreisen das Trinken vermeiden oder vermindern. Sie wollten damit verhindern, die zur Verfügung stehenden öffentlichen Toiletten aufsuchen zu müssen. Der Grund: mangelhafte hygienische Zustände.

Die nächsten Schritte: von der Beobachtung zum Handeln

„Ich wünsche mir, dass möglichst viele Menschen beim Lesen unserer Studie die Aha-Momente haben werden, die wir auch hatten“, sagt Laura Gebhardt. Verkehrsmittel und -infrastruktur seien aktuell vornehmlich von und für Männer geplant und umgesetzt, so Gebhardt

weiter. Das führe dazu, dass die Anforderungen von Frauen in Bezug auf ihre Sicherheit, Funktionalität und auch sanitären Bedarfe in der Planung und tatsächlichen Gestaltung von Verkehrsmitteln und -systemen nicht hinreichend berücksichtigt werden. Die von Gebhardt, Nägele und Brost aufgesetzte Studie richte sich deswegen als Impuls besonders an die Politik sowie an diejenigen, die sich mit dem Design von Verkehrsmitteln beschäftigen.

„Wir brauchen mehr geschlechterspezifische Datenerhebungen, die blinde Flecken sichtbar machen.“

Dr. Laura Gebhardt

DLR-Institut für Verkehrsforschung

„Wir reden schließlich von einer Gruppe, die die Hälfte der Bevölkerung ausmacht, nicht von einer kleinen Minderheit“, sagt Brost. Gebhardts Wunsch für die Zukunft: „Wir brauchen mehr geschlechterspezifische Datenerhebungen, die solche blinde Flecken sichtbar machen. Auf dieser Wissensbasis kann und sollte aufgebaut werden, um die fehlende Gleichstellung aufzulösen.“

Stefanie Hulan ist Redakteurin in der DLR-Kommunikation.



© Mirko Goletz

Dr. Laura Gebhardt ist Geografin und Soziologin. Sie leitet die Forschungsgruppe Bedarfsorientierte Gestaltung von Verkehrsmitteln am DLR-Institut für Verkehrsforschung. Zu den Schwerpunkten ihrer Forschung gehören die Untersuchung von Mobilitätsanforderungen unterschiedlicher Personengruppen sowie die Ableitung von Gestaltungsimplicationen für Verkehrsmittel.



© DLR

Sophie Nägele ist Psychologin und ihr Forschungsschwerpunkt liegt bei den Anforderungen unterschiedlicher Nutzungsgruppen an die Gestaltung von Verkehrsmitteln. Sie arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin am DLR-Institut für Verkehrsforschung.

Mascha Brost ist Ingenieurin. Ein Schwerpunkt ihrer Forschung liegt auf der Konzeption von Fahrzeugen für eine nachhaltigere Mobilität. Sie ist Gruppenleiterin der Gruppe Straßenfahrzeuge und Digitale Systeme am DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte.



© DLR

GIBT'S DAS AUCH IN GRÜN?

Lena Klaas forscht an nachhaltiger Stickstoffgewinnung

Interview mit Dr. Lena Klaas



Synthetische Stickstoffdünger sind aus der modernen Landwirtschaft nicht wegzudenken. Sie steigern die Erträge der Ernte und sind relativ kostengünstig herzustellen. Das Problem: Sowohl die Gewinnung des Stickstoffes als auch die anschließende Weiterverarbeitung sind nicht gerade umweltfreundliche Prozesse. DLR-Forscherin Dr. Lena Klaas vom Institut für Future Fuels möchte das ändern. Im Team arbeitet die promovierte Physikerin im Projekt SESAM an einem neuen Verfahren für die sogenannte Luftzerlegung.

Reiner Stickstoff ist ein wichtiger Rohstoff für die chemische Industrie, zum Beispiel für die Herstellung von Düngemittel. In Zukunft könnte er auch für die Dekarbonisierung der Schifffahrt interessant werden. Wie wird Stickstoff klassischerweise gewonnen?

Luft besteht zu 78 Prozent aus Stickstoff, zu 21 Prozent aus Sauerstoff und zu einem Prozent aus weiteren Stoffen. Wenn wir den Sauerstoff aus der Luft entnehmen, bleibt quasi Stickstoff zurück. Das Verfahren nennt sich Luftzerlegung. Aktuell nutzt man hauptsächlich die kryogene Luftzerlegung. Dabei wird die Luft verflüssigt und langsam wieder erhitzt. Weil jedes Gas einen unterschiedlichen Siedepunkt besitzt, kann man die Gase so voneinander trennen.

Sie und Ihr Team haben im Projekt SESAM ein thermochemisches Verfahren entwickelt, um hochreinen Stickstoff zu gewinnen. Wie gehen Sie vor?

Kernstück von SESAM ist der von uns entwickelte Reaktor, in dem die Luftzerlegung stattfindet. Darin befindet sich ein Reaktionsmaterial, das Sauerstoff aufnehmen und wieder abgeben kann, ohne dass sich seine Struktur verändert. Wenn wir es erhitzen, gibt es Sauerstoff ab wie ein Schwamm, den man trocknet. Wenn unser „Schwamm“

trocken ist, kühlen wir ihn ab. Jetzt leiten wir Luft in den Reaktor. Das Reaktionsmaterial – der trockene Schwamm – nimmt daraus den Sauerstoff und zurück bleibt Stickstoff, den wir aus dem Reaktor ableiten. Dann erhitzen wir unser Material erneut, es wird wieder Sauerstoff freigesetzt und der Prozess beginnt von vorn.

Das klingt nach einem besonderen Material ...

Absolut! Die Materialfamilie nennt sich Perovskite. Dabei handelt es sich um Keramiken, die alle denselben Bauplan haben, aber äußerst vielfältig sind. Um uns für eines zu entscheiden, haben wir zunächst eine computerbasierte Vorauswahl getroffen. Neben physikalischen



Das Team vom DLR-Institut für Future Fuels designte und baute den Reaktor für die Luftzerlegung.



Im Rahmen ihrer Doktorarbeit untersuchte Dr. Lena Klaas Perovskite mit verschiedensten Zusammensetzungen. Rechts: Nahaufnahme des Perovskit-Granulats.

und chemischen Parametern war uns auch wichtig, dass das Material ungiftig und preiswert ist. Außerdem sollte es nicht unter menschenunwürdigen Bedingungen abgebaut werden, wie es bei Kobalt häufig der Fall ist. Die Materialien, die sich als vielversprechend herausstellten, habe ich dann im Labor getestet. Wir haben uns letztendlich für ein Perovskit-Granulat aus Calcium, Strontium und Mangan entschieden.

„Ein entscheidender Vorteil ist, dass wir kleinskaliger produzieren können. Idealerweise könnte der Dünger dann in Zukunft direkt an den Orten hergestellt werden, wo er gebraucht wird.“

Dr. Lena Klaas

Forscherin am DLR-Institut für Future Fuels

Im Grunde führen Sie mit SESAM also ein neues Verfahren zur Luftzerlegung ein. Was sind dessen Vorteile?

Ein entscheidender Vorteil ist, dass wir kleinskaliger produzieren können. Idealerweise könnte der Dünger dann in Zukunft direkt an den Orten hergestellt werden, wo er gebraucht wird, und zwar von Anfang bis Ende. Damit würden Emissionen und Verluste wegfallen, die momentan noch während des Transports von Ammoniak oder Dünger entstehen. Ökonomisch ist unser thermochemischer Prozess wahrscheinlich aktuell noch teurer, weil er noch nicht etabliert ist und wir ähnlich viel Energie brauchen wie die kryogene Luftzerlegung.



Video: mit Sonnenenergie hochreinen Stickstoff herstellen
[s.dlr.de/video-sesam](https://www.dlr.de/video-sesam)

Theoretisch wäre es natürlich möglich, aus nachhaltigen Quellen produzierten Strom auch für die kryogene Luftzerlegung zu verwenden – momentan passiert das aber nicht überall.

Die Weiterverarbeitung von Stickstoff zu Ammoniak und schließlich Düngemittel ist ein sehr energieintensiver Prozess. Ließe sich dieser auch grüner gestalten?

Das Ziel ist es natürlich, das komplette Verfahren CO₂-frei zu bekommen, also sowohl die Luftzerlegung als auch die sich anschließenden Verfahren zur Herstellung von Ammoniak und zur Gewinnung von Salpetersäure. Beides wird für die Herstellung von Dünger gebraucht. Wir haben uns zunächst mit dem Beginn dieser Kette beschäftigt. Für unseren Prozess werden Temperaturen von bis zu 900 Grad Celsius benötigt. Wenn ich diese Wärme mit Sonnenenergie gewinne, kann ich schon mehrere Tonnen CO₂ einsparen.

Solarenergie ist in Deutschland ja nur eingeschränkt verfügbar. Gibt es hier für Alternativen?

Mitarbeitende von Thyssenkrupp, die mit uns im Projekt SESAM zusammengearbeitet haben, kamen auf die Idee, statt Solarenergie beispielsweise Industrieabwärme zu nutzen. Daraufhin haben wir unser Reaktordesign so angepasst, dass wir Luft als Heizmedium nutzen.

Gab es etwas im Projekt, das Sie überrascht hat?

Ja, wir waren die Ersten, die gezeigt haben, dass ein solcher thermochemischer Prozess kleinindustriell funktionieren kann. Für die Ammoniakherstellung wird hochreiner Stickstoff mit einem Luftanteil von unter 10 ppm benötigt, also zehn Sauerstoffteilchen auf eine Millionen Stickstoffteilchen. Wir haben die Luft vorgereinigt und dann durch unseren Reaktor laufen lassen. Herausgekommen sind wir bei 1 ppm, also zehnmal besser als unsere Erwartungen.

Und wie geht es jetzt weiter?

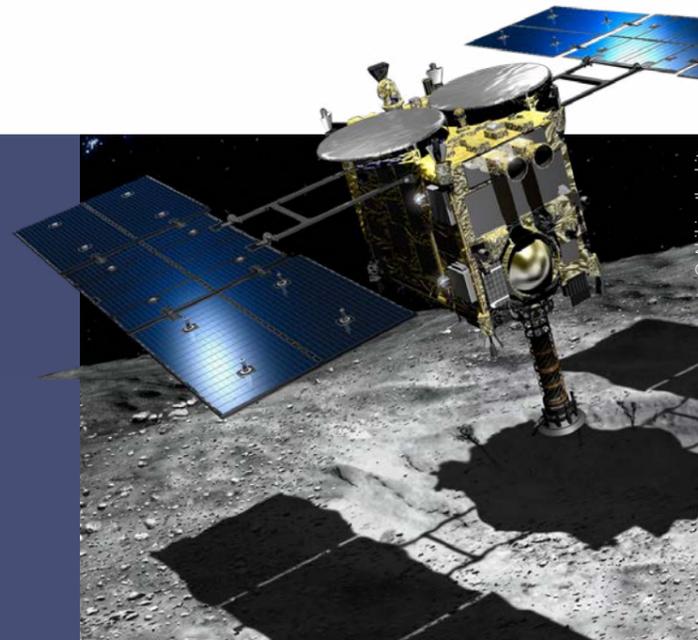
Ganz aktuell ist unser nächstes Projekt gestartet: Wir nehmen unseren thermochemischen Prozess noch einmal unter die Lupe und weiten das Materialscreening aus. Vielleicht finden wir ja ein Material, das sich noch besser eignet. Hierfür arbeiten wir mit dem DLR-Spin-off ExoMatter zusammen. Thyssenkrupp ist auch wieder dabei. Für dieses Projekt konnten wir das Unternehmen FGK gewinnen. Außerdem haben wir die Solarwärme bislang nur simuliert. Jetzt wollen wir den Prozess in unserem kleinen Sonnenofen laufen lassen. Darauf freue ich mich sehr.

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



DES FALKEN REICHE BEUTE

Die Mission Hayabusa2 brachte Proben vom Asteroiden Ryugu zur Erde
von Ulrich Köhler



HAYABUSA2 UND MASCOT

Mit der Mission Hayabusa2 hat die japanische Weltraumorganisation JAXA zum zweiten Mal einen Asteroiden als Ziel gewählt. Mit der Vorläufermission Hayabusa (2003–2010) wurden erstmals Proben von solch einem Körper zur Erde gebracht. Hayabusa2 startete am 3. Dezember 2014 mit dem Asteroiden Ryugu als Ziel. Am 27. Juni 2018 erreichte die Sonde ihre „Home“-Position 20 Kilometer über dem Asteroiden. Am 21. September 2018 wurden zwei Mikrorover abgesetzt. Am 3. Oktober 2018 wurde das vom DLR und von der französischen Raumfahrtagentur CNES entwickelte Landemodul MASCOT abgetrennt und landete nach sechs Minuten auf Ryugu. MASCOT hatte vier Experimente an Bord: ein Radiometer (DLR), eine Kamera (DLR), ein Magnetometer (Universität Braunschweig) und ein Infrarot-Spektromikroskop (Universität Paris Süd). Am 21. Februar 2019 nahm Hayabusa2 eine Probe auf der von äußeren Einflüssen veränderten Oberfläche Ryugus. Am 11. Juli 2019 nahm sie dann auf dem Grund eines zuvor durch einen Einschlagskörper ausgehobenen Kraters nicht oder kaum verändertes Material auf. Am 5. Dezember 2020 landeten die Proben unversehrt in Australien.

Es ist der 25. August 2022. Im Labortrakt des DLR-Instituts für Planetenforschung ist eine gewisse Nervosität mit Händen zu greifen. Post wird erwartet! Aber keine gewöhnliche. Für den heutigen Tag ist die Ankunft eines Staubkorns angekündigt, das Milliarden von Jahren alt ist. Und dann kommt es – ganz profan mit der Paketpost. Kein Sicherheitstransporter. Eine Unterschrift nur, dann halten Giulia Alemanno und Alessandro Maturilli den stickstoffbefüllten Probenbehälter aus Edelstahl und Plexiglas in den Händen. Inzwischen haben sie „A0112“ genauestens analysiert. Proben, die von Sonden gesammelt wurden und aus dem All auf die Erde kommen, sind extrem wertvoll für die Wissenschaft, denn sie erzählen Geschichten über die Ursprünge unserer Planeten und unseres Sonnensystems.

Besagte Probe stammt von der japanischen Mission Hayabusa2. Ihr Ziel war der Asteroid Ryugu. Hayabusa bedeutet im Japanischen Wanderfalken. 2020 brachte die Mission Proben des Asteroiden zur Erde. Über fünf Gramm, viel mehr, als man sich erhofft hatte, enthielt der hermetisch versiegelte Probenbehälter. Bei den heute möglichen Analysetechniken ist das quasi eine riesige Kiste voll und deshalb von unschätzbarem wissenschaftlichem Wert. Diese Proben sind über viereinhalb Milliarden Jahre alt, fast so alt wie das Sonnensystem.

Sample Return – die Königsklasse der Raumfahrt

Proben von einem anderen Himmelskörper auf der Erde untersuchen zu können, macht einen gewaltigen Unterschied im Erkenntnisgewinn. Freilich sind die Fähigkeiten heutiger Instrumente, die man aus der Distanz auf ihre Zielobjekte richtet, ganz enorm. Angefangen bei hoch aufgelösten Aufnahmen der Oberflächen dieser Körper über die Untersuchung der stofflichen Zusammensetzung mit verschiedenen Spektrografen bis zur Messung vieler physikalischer Parameter bekommt die Wissenschaft ein schon sehr umfängliches Bild der Planeten, Monde oder eben auch der kleinen Körper des Sonnensystems. Noch besser ist es aber, wenn von diesen Körpern gezielt, von einer vorher genau beobachteten und in ihrem geologischen Kontext bekannten Stelle, Proben genommen werden, die dann in die Labore auf der Erde gebracht werden. Dort können sie von Hunderten von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit leistungsfähigen Geräten monatelang, und vor allem auch noch in Jahrzehnten, untersucht werden.

Auch ein viereinhalb Milliarden Jahre altes Staubkorn benötigt für seine Reise von Japan nach Berlin-Adlershof einen banalen Lieferschein.

Nach knapp sieben Jahrzehnten Raumfahrt sind heute hochkomplexe und vor Jahren noch für undenkbar gehaltene robotische Probenahmen und ihre „Rückführung“ möglich geworden. Im Englischen nutzt man den Begriff Sample Return, was aber die Rückkehr einer Probenkapsel beschreibt und nicht die „Rückkehr“ von Probenmaterial, das eben nicht von der Erde stammt.

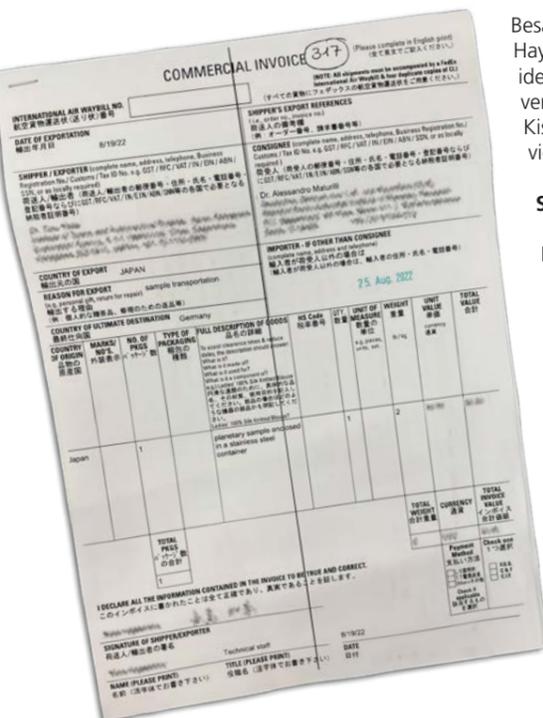
Knapp vierhundert Kilogramm Mondgestein wurden zur Erde gebracht

Angefangen hat diese „Königsdisziplin“ der Raumfahrt jedoch geologisch-traditionell auf dem Mond. Dort sammelten die Astronauten der Apollo-Missionen, ausgestattet mit klassischen Geologenhämmern, Gesteinsbrocken von Hand. Insgesamt brachten sie 2.415 Einzelproben

mit einem Gewicht von 382 Kilogramm zur Erde. Für immer und ewig der „Heilige Gral“ der Planetenforschung. Zwischen 1970 und 1976 demonstrierte die damals sowjetische Raumfahrt, dass das auch automatisiert geht. Die Sonden 16, 20 und 24 der Luna-Serie kehrten mit insgesamt 321 Gramm erbohrtem Mondstaub zur Erde zurück. Auch China brachte Proben zur Erde: Die Landesonde Chang'e 5 setzte 2020 nahe des vergleichsweise jungen Vulkans Mons Rümker auf, nahm 1.731 Gramm Proben und schickte sie zur Erde. Ihre Untersuchung bestätigte, dass Mons Rümker noch vor weniger als zwei Milliarden Jahren aktiv war. Für 2024 kündigte China eine weitere Sample-Return-Mission zum Mond an. Dieses Mal sind sogar Landung und Probenahme auf der Mondrückseite geplant.



Zweimal Maßarbeit: Die Probenbehälter der beiden Asteroidenmissionen Hayabusa2 und OSIRIS-REx landeten an den vorab berechneten Punkten in Australien (links) und in der Großen Salzwüste in Utah.





Seit September 2021 bohrt der Rover Perseverance Proben aus unterschiedlichen Gesteinen im Krater Jezero, in dem einst ein von Flüssen gespeister See stand. In den 2030er Jahren soll eine Mission die insgesamt 38 Proben auf dem Mars abholen und zur Erde bringen.

Vom Mars sowie von den anderen Planeten unseres Sonnensystems, samt ihrer zahlreichen Trabanten, gibt es bislang keine gezielt genommenen Proben. Das ist heute noch zu aufwändig. Aber: Der Rover Perseverance ist seit 2021 auf unserem Nachbarplaneten Mars und nimmt Probe um Probe in einem einst mit Wasser angefüllten Krater namens Jezero. Perseverance versiegelt die Proben und deponiert sie entlang seines Weges. In etwa zehn Jahren soll die gemeinsam von NASA und ESA vorbereitete Mission Mars Sample Return (MSR) sie auf dem Mars auf sammeln, dann erst in die Umlaufbahn und schließlich zur Erde bringen.

Vielleicht schon 2029 wird die japanische Mission MMX (Martian Moons eXploration) auf dem größeren der beiden Marsmonde, Phobos, landen, Proben nehmen und sie zur Erde schießen. Da auf Phobos mit großer Wahrscheinlichkeit auch Mars-Material verstreut sein dürfte, das durch Asteroideneinschläge auf dem 6.000 Kilometer entfernten Planeten dorthin gelangte, wäre auch in diesen Proben „Mars“ enthalten. An beiden Projekten ist das DLR umfangreich wissenschaftlich, organisatorisch und mit Hardware beteiligt.

Die erste Hayabusa-Mission war 2003 auch zu einem Asteroiden geschickt worden, (25143) Itokawa, den sie 2005 erreichte und auf dem sie Staub einsammelte. Beim Rückflug zur Erde gab es einige technische Probleme, doch die JAXA schaffte es mit Geduld und großem Einfallsreichtum, die Kapsel mit den – leider nur wenigen – Staubkörnchen am 13. Juni 2010 zur Erde zu bringen. Sehr spektakulär war im

So könnte die gemeinsam von NASA und ESA geplante Reise der Marsproben zur Erde stattfinden: Das „Mars Ascent Vehicle“ bringt den fußballgroßen Probencontainer zu einem Orbiter, übergibt die wertvolle Fracht und die Rückreise zur Erde beginnt.



vergangenen Jahr auch die Rückkehr der Probenkapsel der NASA-Mission OSIRIS-REx (Origins Spectral Interpretation Resource Identification Security – Regolith Explorer) mit der bisher größten Ausbeute von einem Asteroiden. Die Sonde sammelte 2020 auf dem 500 Meter großen (101955) Bennu 122 Gramm Urmaterie des Sonnensystems ein und lieferte die wertvolle Fracht am 24. September 2023 an einem Fallschirm pendelnd in der Salzwüste von Utah ab.

Was beim Bau des Sonnensystems übrig blieb

„Urmaterie“ ist das Stichwort für die wissenschaftliche Relevanz dieser unter großem Aufwand gewonnenen Proben aus den Tiefen des Sonnensystems. Als sich die Planeten nach dem Zusammenballen der Sonne und dem Beginn der Kernfusion vor 4,567 Milliarden Jahren aus Gasen und Staub bildeten, blieb eine kleine Menge dieser Stoffe übrig. Jupiter, der mit weitem Abstand massereichste Planet, verhinderte mit seiner Schwerkraft, dass diese sich zu einem weiteren Planeten formen konnte. So umkreisen in der Folge Abermillionen steiniger, oft kohlenstoffreicher Körper in einem breiten Band



Apollo-Proben vom Mond werden im Johnson Space Center in Houston untersucht.

zwischen Mars und Jupiter die Sonne. Die meisten von ihnen sind längst verschwunden – sie sind miteinander zusammengestoßen, wurden dabei zertrümmert oder sind mit den jungen Planeten kollidiert. Auf dem Mond sehen wir in den Zehntausenden von Kratern die Spuren dieser unruhigen ersten Milliarde Jahre des Sonnensystems.

Bis auf wenige, zu größeren „Fast-Planeten“ herangewachsene und mehr oder weniger „differenzierte“ Körper wie den Zwergplaneten Ceres oder den Asteroiden Vesta, die einen ähnlichen Schalenbau wie die Planeten aufweisen, sind all diese kleine Körper kaum ver-



Probennahme von Apollo-12-Astronaut Al Bean 1969 auf dem Mond

änderte Zeugen der frühesten Zeit des Sonnensystems. Sie können uns deshalb die Geschichte der Planetenentstehung und der frühen Entwicklung erzählen, vor allem der vier erdähnlichen Planeten. Mehr noch: Jüngere Untersuchungen an den rund 50.000 Meteoriten in den Sammlungen der Erde sowie spektrale Beobachtungen mit den großen Teleskopen auf der Erde oder im All zeigten, dass Asteroiden auch Wasser in Form von Eis enthalten. Je weiter sie von der Sonne entfernt entstanden sind, desto mehr. Und organische Verbindungen sind auch dabei, das macht es gleich doppelt spannend.

Das volle Programm

Zurück zum Institut für Planetenforschung und zur Probe A0112. Zunächst wurde das 5,1 Milligramm schwere und 3.046 mal 1.823 Mikrometer große Körnchen per Augenschein begutachtet. Um die „Berliner Probe“ vor Verunreinigung oder Oxidation zu schützen, erfolgten die ersten Messungen noch im verschlossenen Probenbehälter. Mit einem Digitalmikroskop wurden hoch aufgelöste 3D-Bilder von verschiedenen Seiten aufgenommen, damit das Korn in seiner dreidimensionalen Gestalt beschrieben werden kann. Es ist schwarzgrau mit einer Oberfläche, die so dunkel ist wie Holzkohle, zeigt aber auch winzige, mikrometergroße, helle Einschlüsse. Durch das Plexiglasfenster wurden auch erste Infrarotspektroskopie-Messungen in Wellenlängen des nahen, mittleren und fernen Infrarots, aber auch im sichtbaren Licht durchgeführt – alles mit dem Ziel, Minerale und möglicherweise organische Substanzen zu bestimmen und ihre Verbreitung in dem kleinen Probenkörnchen zu kartieren. „Organisch“ weist in diesem Kontext auf Kohlenstoff- oder Kohlenwasserstoffverbindungen hin.

Dolomit, Schlangenstein und Froschstein

Die Analysen offenbarten ein breites, auf den ersten Blick fast irdisch anmutendes Spektrum an Mineralen und Stoffen, die auf Ryugu anzutreffen sind. Etwa 20 Prozent der Masse in den Proben machen so-

Eine wissenschaftlich wertvolle Ergänzung der Proben-sammlung vom Mond lieferte die chinesische Mission Chang'e 5 mit 1.731 Gramm Vulkanstaub vom 1.100 Meter hohen Mons Rümker.





Die Staubkörnchen vom Asteroiden Ryugu sind in Edelstahlbehältern vor atmosphärischen Einflüssen durch eine Plexiglasscheibe geschützt. Diese ermöglichte aber erste Untersuchungen und Messungen.

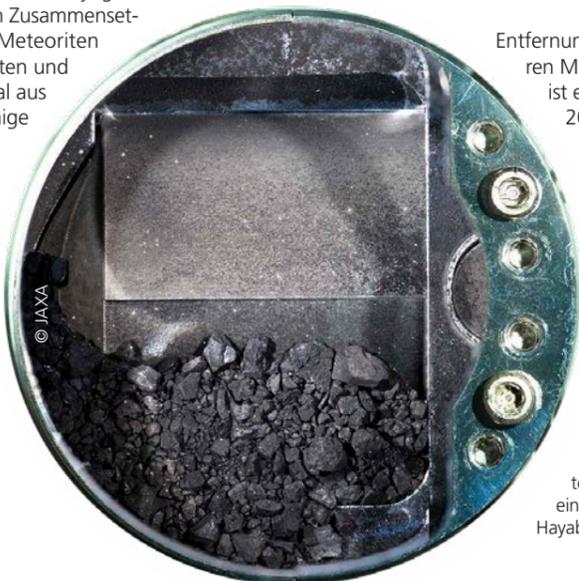
nannte Schichtsilikate aus. Das sind auf Ryugu Minerale wie Serpentin (Schlangenstein) oder Saponit (Froschstein), bei denen das Kristallgerüst aus Silizium-Sauerstoff-Tetraedern besteht, die in Schichten wie Teppiche übereinanderliegen. Dazwischen ist Platz für Sauerstoff-Wasserstoff-Verbindungen, Hydroxyle. Diese weisen darauf hin, dass Wasser bei der Entstehung und Entwicklung dieser Art von Asteroiden eine Rolle gespielt haben muss.

Überraschend und bedeutend ist das Auftreten des Magnesiumkarbonats Dolomit, des charakteristischen Gesteins der Dolomiten in Südtirol, sowie Eisen- und Schwefelspäte, nebst einigen exotischeren Mineralen. Weniger häufig wurden die für viele anderen planetaren Körper typischen und auch in vielen Meteoriten anzutreffenden Minerale Olivin oder Pyroxen beobachtet, eisen- und magnesiumreiche Silikate. Die Dichte des untersuchten Probenkorns beträgt etwa 1,3 Gramm pro Kubikzentimeter, was unter Berücksichtigung des Messfehlers gut zu der Bestimmung der Gesamtdichte von Ryugu passt. Wahrscheinlich besteht Ryugu zu mehr als einem Drittel aus Hohlräumen.

Die verschiedenen Forschungsteams stellten schnell Ähnlichkeiten mit einer sehr seltenen Gruppe von Meteoriten fest, die als „CI“-Klasse bezeichnet werden. Das „C“ steht für Kohlenstoff und das „I“ für den Ivuna-Meteorit, der 1938 in Tansania gefunden wurde. Nur neun „CI“-Exemplare gibt es in irdischen Sammlungen. Diese Meteorite gehören zwar auch zu den kohlenstoffreichen Exemplaren, sind aber nicht aus winzigen Schmelzkügelchen aufgebaut, den Chondren, sondern bestehen aus Brekzien, also bei Kollisionen zertrümmertem Gestein, das voller Risse, Brüche und kantiger Elemente ist. Ryugu kommt mit seiner diagnostizierten chemischen Zusammensetzung von allen bisher untersuchten Meteoriten der Photosphäre der Sonne am nächsten und verkörpert das ursprünglichste Material aus dem Sonnensystem, das es jetzt in einige Labore der Welt „geschafft“ hat.

Entstanden in der eisigen Tiefe des Sonnensystems

Die Analysen, die im Planetenspektroskopie-Labor (PSL) des DLR, beim Museum für Naturkunde Berlin und bei der Spezialfirma Bruker Nano Analytics durchgeführt wurden, deuten darauf hin, dass Ryugu in großer



Entfernung von der Sonne als Teil eines viel größeren Mutterkörpers entstanden sein muss. Dort ist es sehr kalt, mit Temperaturen von minus 200 Grad Celsius und tiefer, und es kommt viel zu wenig Sonnenenergie für Veränderungen und chemische Reaktionen an. Wasser und Kohlendioxid sind dort nur als Eis beständig. Diese Entwicklung dürfte nach Einschätzung der an der Probenauswertung beteiligten Teams in Japan und Deutschland ganz kurz nach der Entstehung des Sonnensystems erfolgt sein, vielleicht nur zwei, drei Millionen Jahre später.

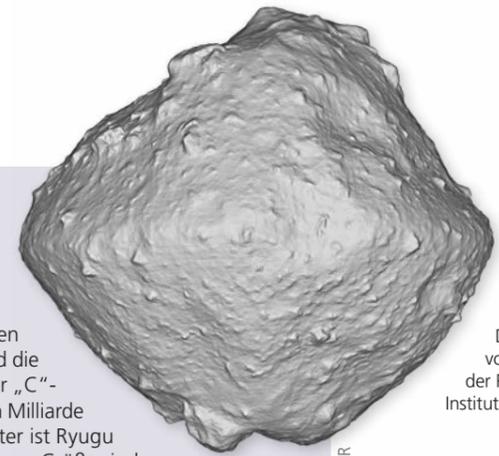
Unscheinbar, aber von unschätzbarem wissenschaftlichen Wert: ein erster Blick im Labor in Sagamihara in einen der beiden fünf Zentimeter großen Hayabusa2-Probenbehälter



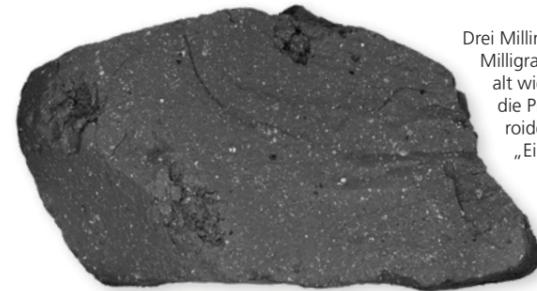
Der knapp einen Kilometer große Asteroid (162173) Ryugu scheint eine lose Anhäufung von Gesteinsbrocken und Staub mit einem großen Anteil an Hohlräumen zu sein.

ASTEROID (162173) RYUGU

Entdeckt wurde das Ziel der Mission Hayabusa2 am 10. Mai 1999 im Zuge des LINEAR-Projekts zur „Erforschung erdnahester Asteroiden durch das Lincoln-Labor“. Es hat einen Durchmesser von rund 900 Metern und seine Form erinnert an einen Rohdiamanten mit acht Flächen. Jedoch sind die nördliche und die südliche Hemisphäre fast rund. Ryugu ist ein kohlenstoffreicher „C“- oder „CI“-Typ-Asteroid mit einer Masse von etwa einer halben Milliarde Tonnen. Mit einer Dichte von 1,2 Gramm pro Kubikzentimeter ist Ryugu sehr „leicht“ und vermutlich voller Hohlräume. Asteroiden dieser Größe sind kaum aus „zusammengebackenen“ Gesteinseinheiten aufgebaut, sondern halten nur durch die Schwerkraft lose zusammen. Im Englischen wird dies „Rubble Pile“ (Schutthaufen) genannt. Auf seiner Umlaufbahn umrundet Ryugu die Sonne in 475 Tagen, dabei schneidet der Asteroid die Bahn der Erde zweimal. Gefährlich nahe kommt Ryugu ihr dabei nicht.



Digitales Geländemodell von Ryugu, berechnet von der Planetengeodäsie im DLR-Institut für Planetenforschung



Drei Millimeter lang, mit fünf Milligramm Masse und fast so alt wie das Sonnensystem ist die Probe A0112 vom Asteroiden Ryugu mit ihren drei „Einschusslöchern“.

Die einzige Wärme, die für nur relativ kurze Zeit für Veränderungen gesorgt haben dürfte, wurde im Inneren durch den Zerfall radioaktiver Aluminiumisotope erzeugt. Deshalb sind Spuren dieser Veränderungen in den Proben rar.

Also ein Ursprung im Kuiper-Edgeworth-Gürtel, jenseits der Bahnen von Uranus und Neptun, wo auch die eisigen Zwergplaneten Pluto, Eris und Makemake sowie Hunderttausende von Kometen ihre Bahnen ziehen? Da stellen sich zwangsläufig zwei wichtige Fragen: Wie

gelangte der jetzt so eng um die Sonne kreisende Ryugu ins innere Sonnensystem? Und haben wir es bei Ryugu überhaupt mit einem Asteroiden zu tun? Oder handelt es sich um einen Kometen, dessen typische flüchtige Stoffe in Jahrmilliarden von der Sonne ausgetrieben worden und verlorengegangen sind? Immerhin wurden auch 33 unterschiedliche Aminosäuren in den Proben identifiziert. Solche findet man auch auf Kometen. Der Weg ins innere Sonnensystem könnte durch die Fragmentierung des Ryugu-Mutterkörpers eingeleitet und vielleicht durch einen der großen Planeten beschleunigt worden sein. Doch das geschah, als Ryugu gewissermaßen schon als alter, toter „Knochen“ im äußeren Sonnensystem unterwegs war – vor einer Milliarde Jahren.

Bei allen Analysen des Körnchens Ryugu im DLR-Labor, all den unterschiedlichen Messdurchgängen mit den unterschiedlichsten Geräten, sorgte eine Beobachtung mit dem Mikroskop für einen besonderen Moment: Auf dem klitzekleinen Staubkorn wurden drei „Krater“ entdeckt. Solche Vertiefungen entstehen durch Mikrometeorite, die mit Geschwindigkeiten von mehr als zehn Kilometern pro Sekunde auf dem Asteroiden auftreffen. Die kantigen Gesteinsbruchstücke auf der Oberfläche verwittern dann im Laufe der Jahrmilliarden zu Staub.

Von Nervosität angesichts eines über viereinhalb Milliarden Jahre alten Splitters des Sonnensystems ist im Laborgebäude des DLR-Standorts in Berlin-Adlershof nichts mehr zu spüren. Es ist geradezu verblüffend, wie routiniert die Abläufe sind – da zittert keine Hand! Im Gegenteil: Das Institut freut sich auf die Ankunft weiterer dreier Staubkörner von Ryugu. Wahrscheinlich wieder mit so einem gelben Lieferwagen ...

Ulrich Köhler ist Planetengeologe und fühlte sich mit der Betrachtung von Mond und Mars eigentlich ausgelastet. Im Laufe von 33 Jahren DLR wuchs sein Interesse an den kleinen Körpern des Sonnensystems dann langsam „von null auf hundert“.

DLR-Planetenforscher Dr. Jörn Helbert bei der mikroskopischen Charakterisierung der Urmetrieprobe vom Asteroiden Ryugu. Drei weitere Staubkörnchen werden noch dazukommen.



© DLR



BIG DATA IN DER ERDBEOBACHTUNG

Eine Plattform für Hochleistungsdatenanalyse von Anja Philipp

In den letzten zwei Jahrzehnten hat sich die Erdbeobachtung radikal verändert. Eine Vielzahl staatlicher und kommerzieller Satelliten zeichnet ein immer genaueres Bild des Ökosystems Erde. Dabei erzeugen sie eine rasant wachsende Datenmenge. Das Volumen und die Komplexität dieser Daten erfordern völlig neue Wege in der Datenverarbeitung. Der Hochleistungsrechner terrabyte, den das DLR zusammen mit dem Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) betreibt, gewinnt aus diesem Datenberg wissenschaftlich und wirtschaftlich wertvolle Informationen.

Der globale Wandel und seine Auswirkungen auf Umwelt und Menschen stellt die Wissenschaft vor große Herausforderungen. Für Lösungsansätze brauchen Forschende direkten Zugriff auf relevante Daten. Der Hochleistungsrechner terrabyte leistet genau das. Er ist mit dem Satellitendatenarchiv des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) des DLR vernetzt, sodass Nutzerinnen und Nutzer aus dem DLR und ausgewählten externen Forschungseinrichtungen auf eine umfassende, kuratierte Kollektion an Erdbeobachtungsdaten mit globaler Abdeckung zugreifen können. Zusätzlich lädt das DLR kontinuierlich weitere Daten von anderen Anbietern wie der Europäischen Weltraumorganisation ESA und der amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA auf terrabyte.

Derzeit liegen etwa 60 Petabyte im Archiv des DFD – das ist die gesammelte Datenmenge der letzten 50 Jahre. Umgerechnet entspricht das in etwa 15 Millionen Spielfilmen. Und täglich kommen mehr als

Wie sich Städte und Siedlungen entwickeln, zeigt der Blick aus dem Weltraum, hier am Beispiel von Tokio. Die roten Bereiche zeigen Wachstum.

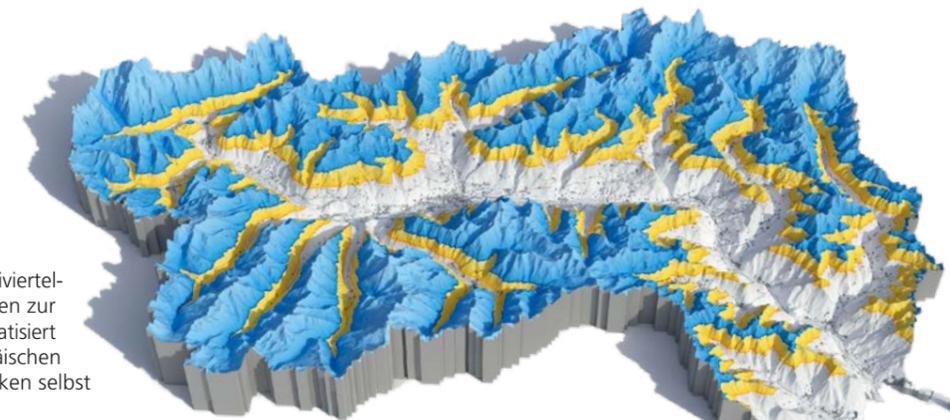
15 Terabyte neue Daten hinzu. Sie liefern historische und aktuelle Informationen zum Zustand der Erde. Veränderungen können im Detail kartiert werden.

Direkter Zugriff auf relevante Daten

Die Forscherinnen und Forscher des DLR analysieren diese Daten und verarbeiten sie weiter. So zeigten sie beispielsweise, dass sich die Luftqualität während der Corona-Pandemie global verbessert hatte. Die Konzentration des troposphärischen Stickstoffdioxids in Europa und Südostasien sank um mehr als 40 Prozent. Gründe dafür waren sowohl eine geringere Wirtschaftsaktivität als auch das reduzierte Verkehrsaufkommen während des Lockdowns. Dazu wertete terrabyte 1,2 Billionen Einzelmessungen des europäischen Satelliten Sentinel-5P aus.

Mit der Hochleistungsplattform konnten die DLR-Forschenden auch erstmals global die Entwicklung von Siedlungen in einer Auflösung von bis zu zehn Metern kartieren. Dazu werteten sie Daten aus über 40 Jahren aus. „Der entstandene World Settlement Footprint zeigt sogar Straßenzüge und Gebäude. Anhand von ihm kann man deutlich sehen, wie schnell sich die Metropolen der Welt ausdehnen und wo der Siedlungsdruck wächst“, sagt Dr. Mattia Marconini, der im DFD auf terrabyte arbeitet.

Auch im Bereich des Katastrophenschutzes kann die Hochleistungsplattform unterstützen. Die exakte Erfassung von Überschwemmungsflächen unterstützt Einsatzkräfte bei der schnellen und gezielten



Rettung von Flutopfern. Innerhalb einer Dreiviertelstunde stehen ihnen aktuelle Satellitenkarten zur Verfügung. Dafür wertet terrabyte vollautomatisiert Radardaten aus, unter anderem des europäischen Satelliten Sentinel-1. Dessen Sensoren blicken selbst durch dichte Wolken hindurch.

Sichere Daten statt Cloud-Systeme

Bislang nahmen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler meist Cloud-Systeme kommerzieller Anbieter wie Amazon Web Services oder Google Earth Engine in Anspruch, um die riesigen Datenmengen zu verarbeiten. Diese Anbieter halten neben den erheblichen Rechenkapazitäten auch Erdbeobachtungsdaten bereit, indem sie europäische und US-amerikanische Daten in ihre Clouds laden. „Allerdings bieten diese Cloud-Systeme nicht die Art von Erdbeobachtungsdaten, die wir für unsere speziellen Anwendungen brauchen“, sagt Prof. Stefan Dech, Institutsleiter des DFD. „Außerdem sind weder die Daten noch die Algorithmen, die wir für die Analyse entwickelt haben, verlässlich vor dem Zugriff Dritter geschützt, sodass langfristig eine Abhängigkeit von den proprietären, kommerziellen Systemen unvermeidlich gewesen wäre. Das war die Motivation für die Entwicklung von terrabyte“, ergänzt Prof. Dech.

„Mit terrabyte wird die Arbeit mit den Erdbeobachtungsdaten einfacher. Anstatt Tage oder Monate brauchen wir für komplexe Berechnungen jetzt mitunter nur Stunden“, führt Dr. Jonas Eberle, Projektmanager von terrabyte, aus. Die Plattform ist spezifisch für Analysen von großen Erdbeobachtungsdatenbeständen ausgelegt. Außerdem können durch aktuelle Softwareanwendungen Programme schnell und einfach übertragen und ausgeführt werden. Diese Dienste und Werkzeuge werden kontinuierlich erweitert, um terrabyte an neue Anwendungen anzupassen und die Nutzung der Rechnerressourcen zu verbessern. Die Erdbeobachtungsdaten werden auch als Analysis-Ready-Daten (ARD) prozessiert und können von den Nutzenden ohne zusätzliche Vorverarbeitungsschritte sofort verwendet und miteinander kombiniert werden.

DLR-Forschende werteten 15.000 Satellitenaufnahmen aus 37 Jahren aus, um zu untersuchen, wie sich die Schneegrenzen im norditalienischen Aosta-Tal verändert haben. Gelb zeigt das Schneedefizit im Jahr 2022 gegenüber dem langjährigen Mittel.

„Mit terrabyte wird die Arbeit mit den Erdbeobachtungsdaten einfacher. Anstatt Tage oder Monate brauchen wir für komplexe Berechnungen jetzt mitunter nur Stunden.“

Dr. Jonas Eberle
Projektmanager terrabyte

Die Zukunft von terrabyte

Terrabyte wird in den nächsten Jahren zusammen mit dem LRZ kontinuierlich weiterentwickelt. So sollen eine Software für Workflows eingebunden und standardisierte Dienste angeboten werden, mit denen die Verarbeitung vereinfacht wird. Weiterhin arbeiten die Entwicklerinnen und Entwickler an Anwendungen, die Datenbanken automatisiert zur Verfügung stellen können. Terrabyte ist auch Teil des DLR-Projekts Visuelle-Datenanalyse-Plattform (VisPlore). Dessen Ziel ist es, dass interaktive Anwendungen in Zukunft von einem webbasierten System auch auf allen drei HPC-Clustern des DLR ausgeführt werden können. Julian Zeidler vom DFD ist zuversichtlich: „Mit terrabyte ist das DLR im Hinblick auf das stark wachsende Volumen an Erdbeobachtungsdaten sehr gut aufgestellt, um wichtige Informationen zu gesellschaftlichen Herausforderungen und zum globalen Wandel zu liefern.“

Anja Philipp arbeitet in der Standortkommunikation für die Region Ost.

RECHENLEISTUNG VON TERRABYTE

Plattform	ThinkSystem-SD650-N-V2-Server
GPU	47 Graphics-Processor-Unit(GPU)-Knoten mit jeweils vier A100-Beschleunigern von NVIDIA
CPU	271 Central-Processor-Unit(CPU)-Knoten mit je zwei 40-Kern-Intel-Xeon-Platinum-Prozessoren
Rechenleistung	4,7 Petaflops
Speicher	50 Petabyte Distributed-Storage-Solution-for-IBM-Spectrum-Scale(DSS-G)-Speicher von Lenovo
Netzwerk	Infiniband High Data Range (HDR) mit 320 Gigabyte/s
Kühlung	Warmwasserkühlung der GPUs und CPUs (Green IT)



HOCHLEISTUNGSRECHENCLUSTER IM DLR

Terrabyte ist eines von insgesamt drei Hochleistungsrechenclustern (HPC-Cluster) des DLR. CARA und CARO (Computer for Advanced Research in Aerospace) sind leistungsstarke Supercomputer, die extrem hohe Rechenleistungen erzielen. Mit ihnen werden beispielweise Strömungen um einen Flugzeugflügel oder die Simulation des Verhaltens von Treibstoff in einem Raketentriebwerk simuliert (Artikel im DLRmagazin 173).



Der Podcast ist zu hören auf dlr.podcaster.de und allen gängigen Streaming-Plattformen.



DIE MÖGLICH-MACHERIN

Im Gespräch mit der Leiterin der Abteilung Projektmanagementsupport

Interview mit Dr. Petra Georgi

schaftler am Institut dabei unterstützt, Drittmittelanträge zu stellen, diese zu verwalten, Verträge zu verhandeln – all das, was dazugehört.

Und wie bist Du zum DLR gekommen?

In einem Sommerurlaub am Atlantik habe ich Stellenanzeigen durchgeblättert und eine vom DLR gesehen, die zu mir passte wie die sprichwörtliche Faust aufs Auge. Gesucht wurde eine Abteilungsleitung für die Auftragsadministration in Oberpfaffenhofen, darauf habe ich mich beworben. Und es hat geklappt!

„Unser Job ist es, mögliche Stolpersteine zu identifizieren und diese aus dem Weg zu räumen.“

Dr. Petra Georgi

Leiterin DLR-Abteilung Projektmanagementsupport

Was sind denn Deine Aufgaben in Deiner jetzigen Funktion im Projektmanagementsupport in Köln?

Wir unterstützen unsere Forschenden sowie Ingenieurinnen und Ingenieure dabei, komplexe Projekte zu beantragen. Dabei schauen wir uns die Zuwendungs-, Vertrags- und Rahmenbedingungen genau an. Wenn man nicht auf dieses Thema spezialisiert ist, versteht man die Details oft nicht. Als Laie hat man oft keine Klarheit darüber, welche Folgen bestimmte Vorgaben haben können. Unser Job ist es, mögliche Stolpersteine zu identifizieren und diese aus dem Weg zu räumen.

Was ist Dir besonders wichtig beim Aushandeln von Verträgen?

Wir als öffentlich finanzierte Einrichtung haben andere Rahmenbedingungen als Unternehmen. Mir ist wichtig, dass beide Vertragsparteien mit dem Ergebnis der Verhandlungen gut leben können. Denn die

Manchmal hält der Berufsweg die überraschendsten Wendungen bereit ... so auch im Fall von Dr. Petra Georgi: Nach einem Fachhochschulstudium zur staatlich anerkannten Diätassistentin und einer Promotion in Chemie landete sie 2007 im DLR in Oberpfaffenhofen und 2009 in Köln beim Projektmanagementsupport. Als Leiterin dieser Abteilung bildet sie die Schnittstelle zwischen Forschung und Administration auf der einen und externen Projektbeteiligten auf der anderen Seite. Warum ein Urlaub am Atlantik ihrer beruflichen Laufbahn die entscheidende Wendung gegeben hat und was sie mit einer Rugbyspielerin gemeinsam hat, erzählt sie im Interview.

Du kommst ursprünglich aus Dresden, warst auch mal Schülerin an einer Juri-Gagarin-Oberschule. Hat das Deinen Weg zum DLR schon vorgezeichnet?

Das kann man hinterher immer gut behaupten, stimmt in diesem Fall aber nicht. Ich besuchte in Lunow an der Polytechnischen Oberschule Juri Gagarin nur die erste Klasse. Es gab zwar eine Raumfahrt-AG, aber dafür war ich noch zu klein. Allerdings habe ich mich immer sehr für Sternbilder interessiert. Und später, im Internat in Königs Wusterhausen, kam es sogar mal zu einer Begegnung mit Sigmund Jähn im Rahmen einer Gesprächsrunde.

Wie hast Du Dich nach dem Ende der Schulzeit beruflich orientiert?

In der neunten Klasse habe ich mich für ein Fachhochschulstudium beworben und bin Diätassistentin geworden. Das war nicht so ganz das Richtige für mich, also habe ich die Fachoberschulreife erworben und Chemieingenieurwesen studiert. Für die Diplomarbeit bin ich zum Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung in Dresden gegangen, habe dort promoviert und danach Wissenschaftlerinnen und Wissen-



Normalerweise lässt sich Petra Georgi nicht ziehen. Für die Dreharbeiten zur DLR-Serie „Die Möglichmacher“ machte sie eine Ausnahme.

Zusammenarbeit soll ja über mehrere Jahre, in manchen Fällen auch über Jahrzehnte, möglichst reibungslos funktionieren.

Ihr arbeitet oft im internationalen Kontext – da können unterschiedliche juristische Rahmenbedingungen zu Komplikationen führen. Kannst Du uns aus eigener Erfahrung ein Beispiel nennen?

In den USA zum Beispiel gibt es Bundesgesetze sowie Gesetze und Regelungen, die von Bundesstaat zu Bundesstaat variieren. Es kann vorkommen, dass die Bundesregierung der USA über Verträge mit Unterauftragnehmern versucht, bestimmte Regularien durchzusetzen, obwohl in dem Bundesstaat oder an dem Ort außerhalb der USA, an dem der Vertrag ausgeführt werden soll, ein ganz anderes Gesetz gilt. Dann muss der Vertrag so verhandelt werden, dass er auch mit dem deutschen Recht konform und von uns umsetzbar ist.

Hast Du aktuell ein Lieblingsprojekt, das Deine Abteilung betreut?

Da fällt mir LUNA ein, das Trainingszentrum für Astronautinnen und Astronauten, die in Zukunft auf dem Mond landen werden. Gerade entsteht die Trainingshalle in Köln in Kooperation von ESA und DLR. Mich faszinieren die Ideen, die die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dort umsetzen wollen, und welche Bedingungen sie dafür schaffen.

Du hast vorhin gesagt, dass manche Projekte, die ihr angesprochen habt, mehrere Jahrzehnte laufen. Kannst Du uns eines davon nennen?

Da wir schon bei der Raumfahrt sind: das europäische Columbus-Modul, das seit 2008 Teil der Internationalen Raumstation ISS ist. Wir haben ja in Oberpfaffenhofen das Kontrollzentrum für den Betrieb

von Columbus. Ich gehöre zum Support-Team für die vertragliche und kaufmännische Seite.

Muss denn jedes Mal, wenn ein deutsches Experiment im Columbus-Labor durchgeführt wird, ein neuer Vertrag geschlossen werden?

Nein, wir haben eine Art Rahmenvertrag mit der ESA, der kontinuierlich um die Betriebsdauer der ISS verlängert wird. Die einzelnen Forschungskampagnen sind hier mit eingerechnet. Wenn allerdings größerer Mehraufwand entsteht, schließen wir mit der ESA eine Vertragsänderung ab, die den Mehraufwand abdeckt.

Du hast Deine berufliche Rolle mal mit einem Begriff aus dem Rugbysport bezeichnet ...

Das „Team“, in dem ich spiele, besteht aus Forschenden, Einkäuferinnen und Einkäufern sowie Juristinnen und Juristen. Ich sehe mich da als „Dritte-Reihe-Stürmerin“, agiere eher im Hintergrund. Die „Erste-Reihe-Stürmer“ dagegen sind mitten drin im Gerangel – ich gehöre zu denen, die von hinten anschieben, damit es für mein Team in die richtige Richtung geht.

Vielen Dank für das spannende Gespräch und viel Erfolg beim Anschieben neuer Projekte!

Der Podcast DLR-FORSCHtellinggespräch wird produziert von Daniel Beckmann, Andreas Ellmerer und Antje Gersberg. Sie alle arbeiten in der DLR-Kommunikation.



Arbeitsalltag im Büro am DLR-Standort Köln-Porz

STOFF FÜR DIE NACHHALTIGE RAUMFAHRT

InSpacePropulsion Technologies verwandelt DLR-Forschung in Innovation

von Katja Lenz



Von links: die beiden Gründer Felix Lauck und Lukas Werling

Sie sind erst seit ein paar Monaten am Markt. Aber hinter ihrem jungen Unternehmen steht ein ganzes Jahrzehnt erfolgreiche Forschung im DLR: Dr. Lukas Werling und Felix Lauck wollen mit ihrem Start-up InSpacePropulsion Technologies die Antriebe für Raumfahrzeuge nachhaltiger machen, die Kosten senken und giftige Treibstoffe ersetzen. Wenn alles läuft wie geplant, wird ein von ihnen entwickeltes Antriebssystem im nächsten Jahr im All erprobt.

Von der Raumfahrt begeistert waren Felix Lauck und Lukas Werling eigentlich schon immer: Es begann mit Spielzeug-Raumschiffen, mit Groschenheften über Weltraumhelden und mit Sternegucken im Astronomieverein. „Ende der 1990er hat dort jemand vom DLR einen Vortrag über die Ariane 5 gehalten. Seitdem weiß ich, dass Raketentriebwerke sehr anspruchsvoll sind“, sagt Felix Lauck. „Wirklich alles, was ich als Kind gebaut habe, hatte irgendwie mit Raumfahrt zu tun“, erinnert sich Lukas Werling. Und jetzt, mit Mitte 30? Sie sind ihren Interessen treu geblieben und haben ihr eigenes Unternehmen gegründet: InSpacePropulsion Technologies.

Traditionell wird für Raumfahrzeuge der Treibstoff Hydrazin verwendet, eine chemische Verbindung aus Stickstoff und Wasserstoff. Hydrazin ist leistungsfähig und zuverlässig, aber sehr giftig. Wer mit Hydrazin arbeitet, trägt einen Vollschutzanzug mit eigener Luftversorgung. Das macht das Betanken nicht nur teuer, sondern auch kompliziert.

Felix Lauck und Lukas Werling forschen im DLR-Institut für Raumfahrtantriebe in Lampoldshausen seit 2016 gemeinsam an Alternativen

zum Hydrazin. Die neuen Treibstoffe sollten ungiftig sein, leichter zu handhaben und einfacher zu testen. In der Raumfahrtbranche spricht man hier von „grünen Treibstoffen“. Lukas Werling hat die HyNOx-Technologie entwickelt. HyNOx besteht aus Lachgas und Ethan. HyNOx wurde tausendfach an den DLR-Prüfständen in Lampoldshausen getestet und verbessert. „Der Treibstoff eignet sich besonders für kleinere Raumfahrzeuge, zum Beispiel CubeSats“, erklärt Lukas Werling. Die Kleinsatelliten haben oft nur die Größe eines Schuhkartons.

In der Doktorarbeit von Felix Lauck geht es um HIP_11, einen zweiten neuen Treibstoff neben HyNOx. HIP_11 wurde vom DLR patentiert und passt zu größeren Raumfahrzeugen wie Kapseln oder Landern. Bei HIP_11 reagieren Wasserstoffperoxid und flüssiges Salz miteinander. HIP_11 zündet, sobald die Stoffe mit-



Das HyNOx-Triebwerk beim Test im DLR-Institut für Raumfahrtantriebe in Lampoldshausen. HyNOx besteht aus Lachgas und Ethan. Die passenden Triebwerke für den Treibstoff werden im 3D-Druckverfahren hergestellt.

einander in Kontakt kommen. Diese Eigenschaft heißt „hypergol“. Auch Hydrazin reagiert mit bestimmten Stoffen hypergol. Der Name HIP_11 steht für „Hypergolic Ionic Liquid Propellant developed at M11“. „Meine Doktorarbeit ist fast abgeschlossen und demnächst wird HIP_11 wirklich ins All fliegen. Das ist etwas Besonderes“, sagt Felix Lauck.

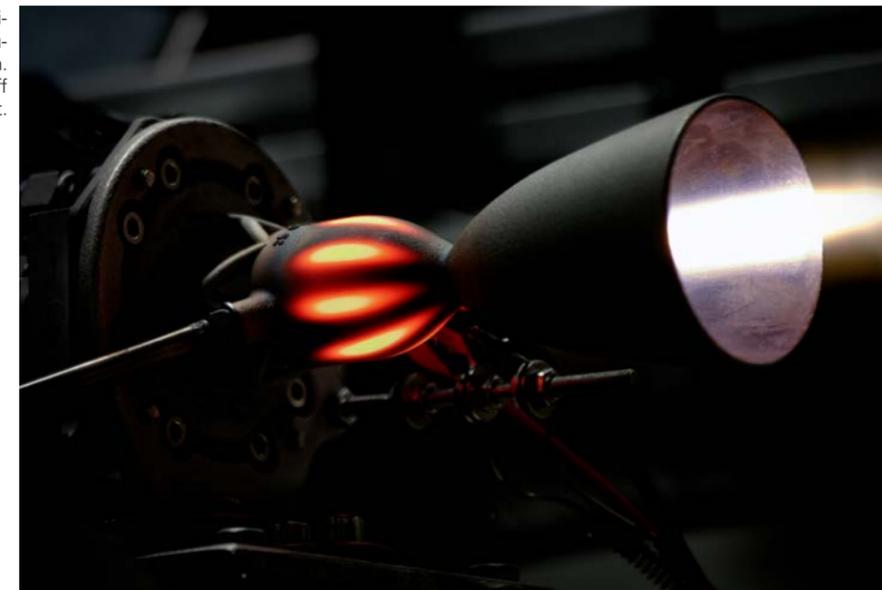
Missionsstart mit australischer Universität

Der Weg ins All ist eine Hürde, die InSpacePropulsion Technologies noch nehmen muss. „Die meisten Kunden verlangen eine In-Orbit-Demonstration“, sagt Lukas Werling. Die Fähigkeiten müssen schon erfolgreich im All gezeigt worden sein. Hier ergab sich ein Kontakt zu einer australischen Universität, die Missionen mit einem CubeSat plant. Man kam ins Geschäft. InSpacePropulsion Technologies liefert nicht nur die Treibstoffe, sondern das komplette Portfolio: HyNOx, die passenden Triebwerke aus dem 3D-Drucker, Tanks, Elektronik, Ventile, Schnittstellen. Schon im nächsten Jahr könnte der CubeSat starten. Beim Kleinsatelliten-Nutzlastwettbewerb der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR hat InSpacePropulsion Technologies außerdem einen Mitflug auf einem Kleinsatelliten gewonnen.

Von der Forschung zur Anwendung

Wie wurden die beiden Wissenschaftler zu Unternehmern? „Im New-Space-Bereich, also bei der Kommerzialisierung der Raumfahrt, tut sich gerade sehr viel. Unsere grünen Treibstoffe können dabei eine wichtige Rolle spielen und wir bieten gleichzeitig die passenden Triebwerke an“, erklärt Lukas Werling. „Nach Jahren mit Forschung und Entwicklung will man die Technologie auch fliegen sehen.“

Forschende, die ihre Ideen kommerzialisieren wollen, werden im DLR gefördert. Die DLR_Startup Factory unterstützt sie im gesamten Gründungsprozess. Das DLR bringt als Forschungseinrichtung selbst keine Produkte auf den Markt, sondern entwickelt Technologien bis



zu einem gewissen Reifegrad – im Prinzip so weit, dass zum Beispiel ein Industrieunternehmen die Technologie übernehmen kann. Oder Mitarbeitende gründen selbst ein Unternehmen. So war es auch bei InSpacePropulsion Technologies. „Der Transfer von der Forschung in die Anwendung ist ein zentrales Element des DLR. Ausgründungen wie InSpacePropulsion Technologies zeigen dies eindrucksvoll“, unterstreicht Prof. Karsten Lemmer, DLR-Vorstandsmitglied und verantwortlich für Innovation, Transfer und wissenschaftliche Infrastrukturen. Es

„Der Transfer von der Forschung in die Anwendung ist ein zentrales Element des DLR. Ausgründungen wie InSpacePropulsion Technologies zeigen dies eindrucksvoll.“

Prof. Karsten Lemmer
DLR-Vorstandsmitglied

sei wichtig, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine spätere industrielle Nutzung ihrer Forschung von Anfang an mitdenken. Dass es sich lohnt, zeigen die Zahlen: „Unsere Ausgründungen sind erfolgreich: Rund 90 Prozent von ihnen behaupten sich langfristig am Markt, was ein sehr hoher Anteil ist“, sagt Karsten Lemmer.

Plötzlich Unternehmer

Lukas Werling und Felix Lauck haben mit Unterstützung aus dem DLR und dem Helmholtz-Enterprise-Programm Marktpotenziale analysiert, ihre Geschäftsidee geschärft und den Gründungsprozess durchlaufen. Sie präsentieren auf Messen und pitchten bei potenziellen Kunden. „Wir sind dankbar für die Starthilfe, die wir aus dem Institut für Raumfahrtantriebe und aus anderen Bereichen bekommen haben“, sagen die Gründer, die gerade ganz schön viel zu tun haben.

Katja Lenz ist Presseredakteurin im DLR.

HyNOx-Triebwerke verschiedener Schubklassen

LUFTVERTEIDIGUNG DER NEUESTEN GENERATION

Analyse und Bewertung künftiger Kampfflugzeug-Entwürfe

von Yvonne Buchwald



In den vergangenen Jahren hat sich die globale Sicherheitslage radikal verändert. Die Forderung nach einer besseren Luftverteidigung für Deutschland und Europa ist laut geworden. Dabei stellt sich die Frage, wie gut unsere Luftverteidigung ist und wie wir sie – angesichts neuer Bedrohungslagen – verbessern können. Um dies bewerten zu können und neue Technologien zu entwickeln, benötigt das Bundesministerium der Verteidigung die Expertise von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern. Die Maßgabe der Regierung: Die Forschung des DLR soll die Fähigkeit der Bundeswehr zur Analyse und Bewertung militärischer Fluggeräte sicherstellen und ausbauen.

Wie schnell, wie hoch, wie effizient, wie gut getarnt muss das Kampfflugzeug der nächsten Generation fliegen? Was muss es transportieren? Wie agil muss es sein? Bemannt oder unbemannt? Es sind solche Überlegungen und Fragen, mit denen sich Dr. Andreas Schütte vom DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik sowie viele andere DLR-Kolleginnen und -Kollegen täglich befassen. Sie wissen: Die Luftverteidigung der Zukunft wird komplexer denn je. Mit geänderten Bedrohungsszenarien haben sich auch die Missionsarten und die

Anforderungen an militärische Fluggeräte geändert. „Es geht für uns Forschende nicht darum, DAS EINE Kampfflugzeug oder DIE EINE Technologie zu entwickeln, sondern: Wir wollen unsere wissenschaftlichen Verfahren und Prozesse weiterentwickeln, damit das Bundesministerium mit unserer Expertise das Potenzial zukünftiger Fluggeräte untersuchen und beurteilen kann“, sagt Schütte.

Virtuelles Modell eines Kampfflugzeuges

Verfahren und Prozesse sind die Instrumente der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Das reicht von der Entwicklung von Rechenverfahren oder Strukturmodellen über den Aufbau eines Rechnernetzes bis zur Durchführung einer Berechnung oder eines Experiments und nicht zuletzt zur Auswertung der Ergebnisse. Gerade hat das DLR das große fachübergreifende Projekt Diabolo abgeschlossen. Darin haben die Forschenden einen virtuellen Demonstrator für ein Kampfflugzeug der Zukunft entworfen: den Future Fighter Demonstrator (FFD).

Schütte erklärt: „Wir gehen davon aus, dass der Luftnahkampf an Bedeutung verliert, da eine moderne Bewaffnung die Bekämpfung auf große Distanzen erlaubt. Daher werden die Flugleistungen im Überschall wichtiger. Agilität ist dennoch relevant, um die Überlebensfähigkeit zu verbessern.“ Fluggeräte müssten das Einsatzgebiet schnell erreichen und nach dem Einsatz schnell wieder verlassen können. Militärische Flugzeuge müssen im Unter- und im Überschall fliegen können, zwischen 0 und 15 Kilometer Höhe, müssen enorm agil sein und Anstellwinkel von bis zu 45 Grad erreichen.

Stabil, agil, vernetzt und unsichtbar

Je schneller und agiler ein Kampfflugzeug fliegt, desto kompakter muss es gebaut sein, desto höhere Belastungen müssen zum Beispiel die Flügel aushalten können. Eine Schlüsselrolle spielen die Triebwerke. Ihre Integration ist im militärischen Entwurf viel komplexer als im zivilen, denn sie müssen über einen weitaus größeren Geschwindigkeitsbereich betrieben werden können. Die Zuströmung der Triebwerke erfolgt über lange, verwundene Lufteinläufe, die in die Flugzeugzelle integriert sind, um die Sicht auf die rotierenden Triebwerkschaufeln zu minimieren.

Natürlich spielt auch die Beladung eine Rolle. Und ganz wichtig: Das Flugzeug soll möglichst spät auf feindlichem Radar erfasst werden. Auch hierzu wurden im Projekt Diabolo große Fortschritte gemacht. Untersucht wurden die Radar-, Infrarot- und Akustiksignaturen. Im Abgleich mit Windkanalexperimenten verbesserten die Forschenden ihre Simulationswerkzeuge.

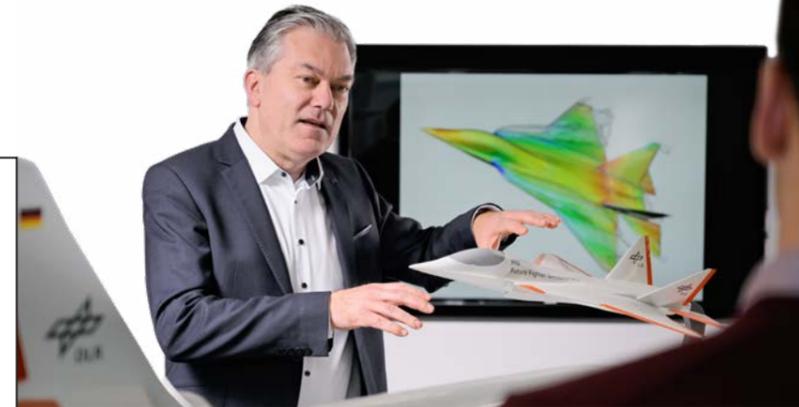
BETEILIGTE AM PROJEKT DIABOLO

Aus der Forschung:

DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik (Projektleitung)
DLR-Institut für Aeroelastik
DLR-Institut für Antriebstechnik
DLR-Institut für Flugsystemtechnik
DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
DLR-Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung
DLR-Institut für Softwaretechnologie
DLR-Institut für Systemleichtbau
DLR-Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt
DLR Systemhaus Technik
Deutsch-Niederländische Windkanäle (DNW)

Aus der Industrie:

Airbus Defence and Space
MTU Aero Engines



Dr. Andreas Schütte, Projektleiter von Diabolo und WingMates, DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig

digungssystem optimal miteinander agieren. Die Forschungsarbeiten von Andreas Schütte und seinen Kolleginnen und Kollegen aus zehn DLR-Instituten sowie mit Beteiligten aus der Industrie fließen hier ein.

Um das Verständnis aerodynamischer oder struktureller Wechselwirkungen einzelner Komponenten am Flugzeug, deren Effekte und die Strömungsphysik sowie die Vorhersage von Signatureigenschaften, die Entwicklung von Flugreglern und geeigneten Materialien sowie Bauweisen zu verbessern, gibt es in den Projekten auch Kooperationen mit der Industrie. „Die vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem DLR ist für uns eine hervorragende Möglichkeit, Phänomene wie den Einfluss komplexer Wirbelaerodynamik, Schwappeneffekte im Flugzeugtank oder die Möglichkeiten zur Reduzierung von Lärmquellen am Flugzeug zur Verbesserung der Tarnung zu untersuchen und die Simulationswerkzeuge weiterzuentwickeln. Außerdem ist es unsere Chance, die Ergebnisse bestehender Methoden und Prozesse mit jenen unabhängig entwickelter Verfahren zu vergleichen“, sagt Wolfgang Pecher von Airbus Defence and Space, die ebenfalls an Diabolo beteiligt waren, und ergänzt: „Wir freuen uns bereits darauf, diese erfolgreiche Zusammenarbeit im WingMates-Projekt fortzusetzen.“

Die stets verbesserten wissenschaftlichen Fähigkeiten hinsichtlich militärisch relevanter Technologien können im Verteidigungsfall entscheidend sein. Andreas Schütte ist überzeugt: „Auch in diesem Fall erfüllen wir als Forschende im erprobten engen Austausch unseren Auftrag, die Bewertungsfähigkeit des Verteidigungsministeriums zu gewährleisten, die Bundeswehr zu unterstützen und den Industriestandort Deutschland zu stärken.“

Yvonne Buchwald arbeitet im Bereich Öffentlichkeitsarbeit am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik.

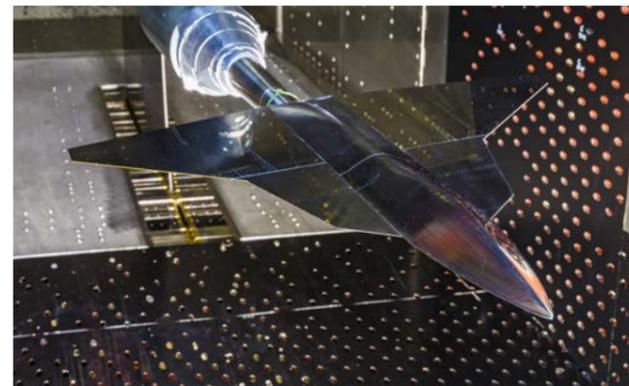
Vernetzung, neue Informationstechnik und intelligente Datenverarbeitung, eine sichere, echtzeitfähige Kommunikationstechnik – diese Kategorien spielen im Luftverteidigungssystem der Zukunft eine wesentliche Rolle. Im Nachfolgeprojekt WingMates geht es unter der Leitung von Dr. Andreas Schütte darum, nicht nur Einzelsysteme – wie im Projekt Diabolo – zu betrachten, sondern Flugzeuge im Verbund, also gekoppelte Systeme von Kampfflugzeugen. Schütte kennt die Anforderungen der Bundeswehr: „In Zukunft werden sich Luftstreitkräfte auf Kombinationen von digital vernetzten, teilautonomen, bemannten und unbemannten Plattformen stützen. Die Flugzeuge, die diese Anforderungen erfüllen, werden wir in WingMates untersuchen.“

Bemannte und unbemannte Einheiten werden kombiniert

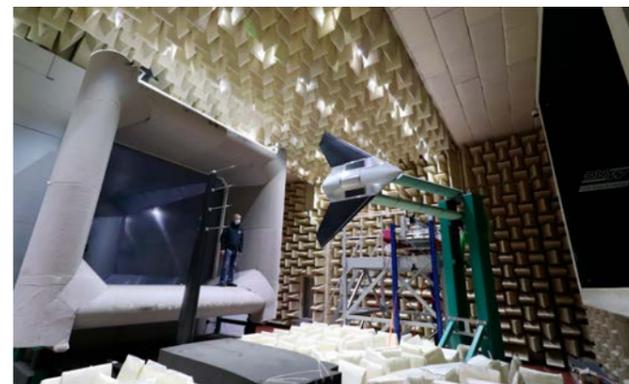
Die Luftstreitkräfte in Europa müssen in absehbarer Zeit ihre Flugzeugflotten erneuern oder ersetzen. Das reicht von der Modernisierung bestehender Waffensysteme wie des Eurofighters bis zur Einführung des Gemeinschaftsprogramms Next Generation Weapon System (NGWS).

Den Rahmen hierfür bildet das deutsch-französisch-spanische Programm FCAS (Future Combat Air System), Europas bedeutendstes internationales Rüstungsvorhaben. Ziel von NGWS ist es, Lösungen für ein zukünftiges Luftverteidigungssystem zu finden, welches aus einer Kombination verschiedener fliegender Einheiten besteht, die innerhalb eines Vertei-

Künftig wird es darum gehen, einen Gesamtentwurf für mehrere kooperierende Plattformen zu entwickeln. Im neuen Projekt WingMates werden bemannte und unbemannte Konfigurationen im Verteidigungsverband untersucht. Die Farben des Renderings zeigen die Druckverhältnisse: In den blau-grünen Bereichen herrscht Unterdruck, der durch die darüberliegenden Wirbel erzeugt wird. Je röter der Bereich, desto mehr Überdruck herrscht dort.



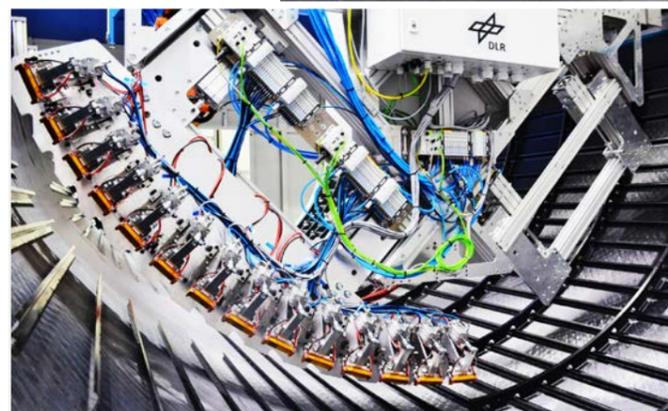
Im Transsonischen Windkanal Göttingen wird die Wirbelaerodynamik des DLR-F22-Modells untersucht.



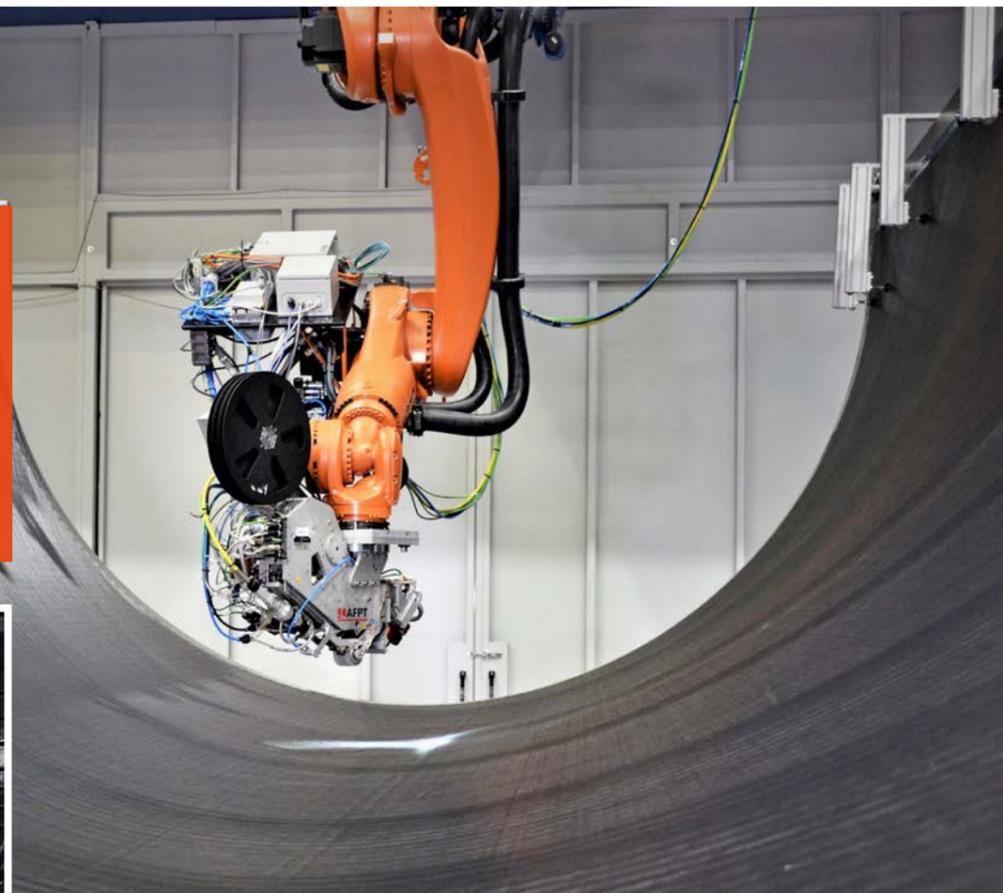
Messung der Akustiksignatureigenschaften des DLR-F24-Modells im Niedergeschwindigkeits-Windkanal Braunschweig

ALU ADE

Neue Ansätze im Flugzeugleichtbau
von Michael Müller und Lars Larsen



Am Multifunctional Fuselage Demonstrator (MFFD) waren neben dem DLR auch der Zulieferer Premium Aerotec, der Flugzeughersteller Airbus sowie das Unternehmen Aernnova Aerospace beteiligt.



Jahrzehntlang das Nonplusultra im Flugzeugbau – Aluminium ist als Rohstoff weit verbreitet und bei gleicher Festigkeit wie Stahl nur etwa halb so schwer. Dann kamen sogenannte Thermoplaste ins Spiel. Sie gehören neben Duromeren zur Gruppe kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffe (CFK), sind leichter als Aluminium und lassen sich schweißen. Vor knapp 20 Jahren hielt CFK im Flugzeugbau Einzug, vom Airbus A380 über die Boeing 787 bis zum Airbus A350 mit einem Carbonfaser-Anteil von bis zu 50 Prozent. Die Forschung arbeitet daran, diesen Anteil weiter zu steigern. Damit künftig der komplette Rumpf aus CFK gefertigt werden kann, werden neue Produktionsverfahren benötigt. Daran forscht das DLR in Augsburg.

Bevor ein komplett aus CFK hergestellter Flugzeugrumpf den Weg in die Serienproduktion findet, muss das Material umfassend getestet werden. Außerdem ist die Frage zu klären, ob der neue Produktionsprozess im Detail funktioniert. Letzteres erprobten die Forschenden des DLR-Instituts für Bauweisen und Strukturtechnologie im DLR-Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) anhand eines maßstabgetreuen Rumpfmodells mit A320-Geometrie. Im europäisch geförderten Clean-Sky-2-Projekt entstand der Multifunctional Fuselage Demonstrator (MFFD), mit acht Metern Länge und vier Metern Durchmesser die weltweit größte Struktur aus 100 Prozent faserverstärkten Thermoplasten für den Luftfahrtbereich.

Arbeiten am offenen Rumpf

Der heutige Airbus A320 wird in der sogenannten Sektionsbauweise gefertigt. Dabei werden zunächst Unter- und Oberschalensegmente durch eine Längsnaht zu einer Sektion – allgemein auch „Barrel“ genannt – verbunden. Mehrere dieser Sektionen werden dann durch Umfangsnähte miteinander verbunden und bilden den Rumpf. Die

Verbindungen bei Flugzeugen aus Aluminium werden durch Bohr- und Nietprozesse realisiert.

Beim Bohren der Löcher für die Nieten entstehen Metallspäne. Diese könnten elektrische Installationen beschädigen. Aus diesem Grund wird zuerst die komplette Rohstruktur gefertigt. Erst danach folgen die Einbauten im Cockpit sowie im Passagier- und Frachtbereich. Dies passiert derzeit in Handarbeit, weil es im geschlossenen Rumpf recht eng ist.

Der große Vorteil von Bauteilen aus Thermoplast-CFK ist, dass sie sich schweißen lassen und so keine Späne entstehen. Dadurch lässt sich die Montagereihenfolge komplett umdrehen: Die untere und die obere Halbschale bleiben frei zugänglich, bis beide Teile längs miteinander verschweißt werden. Dies hat grundlegende Auswirkungen auf den Prozess der Ausstattung, denn so können hier künftig Roboter zum Einsatz kommen. Sie werden in den offenen Halbschalen Leitungen verlegen, den Fußboden und Sitzreihen montieren und Verkleidungen verschrauben. Dies spart Zeit und damit auch Kosten.

EINEN FLUGZEUGRUMPF AUS CARBONFASERN HERSTELLEN – WIE GEHT DAS?

SCHRITT 1 DIE HAUT



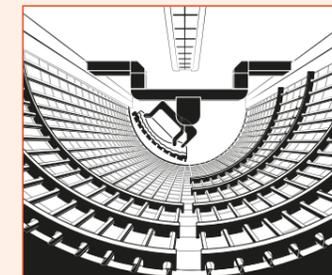
Zunächst werden Thermoplast-Bändchen (englisch: Tows) von einem Roboter mit einem Laser auf circa 380 Grad Celsius erwärmt und zielgenau abgelegt. Das Werkzeug, das der Roboter führt, gleicht einem überdimensionalen Klebebandroller. So entsteht Lage für Lage und Schicht für Schicht ein Thermoplast-Laminat bei minimalem Materialverschchnitt und geringem Energieverbrauch. Es muss auch nicht mehr gesondert aushärten. Dieses vom DLR weiterentwickelte Verfahren nennt sich In-situ-Konsolidierung. Damit sowohl die Ablagerate als auch die Materialqualität hoch ist, müssen alle Disziplinen präzise zusammenarbeiten – vom Maschinenbau über die Materialwissenschaften bis hin zur Regelungstechnik und Simulation.

SCHRITT 2 DIE LÄNGSVERSTEIFUNG



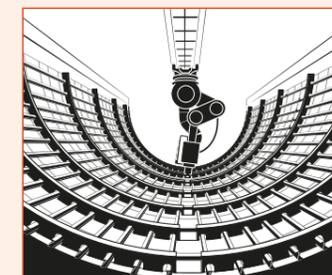
44 Längsversteifungen (englisch: Stringer) werden auf die Flugzeughaut geschweißt. Das Verfahren nennt sich roboterbasiertes kontinuierliches Ultraschallschweißen – eine Weltneuheit: Sogenannte Energierichtungsgeber, also thermoplastische Folien, werden zwischen die beiden Teile gelegt, die zusammengeschweißt werden sollen. Ein Roboter regt die Bauteile mit 20 Kilohertz an. Sie beginnen, sich aneinander zu reiben, wodurch in Sekundenbruchteilen Temperaturen von circa 380 Grad Celsius entstehen und die Bauteile zusammenschweißen. Das Verfahren ist deutlich schneller als das in der Luftfahrtindustrie übliche Bohren und Nieten.

SCHRITT 3 DIE QUERVERSTEIFUNG



24 pressgeformte Spante werden mithilfe einer vom DLR entwickelten motorisch angetriebenen Brücke auf dem Ablegerwerkzeug widerstandsgeschweißt. Zunächst positioniert ein Roboter die Spante präzise an der Zielposition. Im nächsten Schritt wird zwischen den Bauteilen – hier: dem Spantfuß und der Rumpfhaut – ein Schweißelement auf 380 Grad Celsius erwärmt und unter Druck abgekühlt. Nach und nach werden 14 Füße pro Spant an die Haut gefügt. Diese robuste Technologie zeigt Fügefestigkeiten, wie sie von der Luftfahrtindustrie gefordert werden.

SCHRITT 4 DIE VERBINDUNG ZWISCHEN LÄNGS- UND QUERVERSTEIFUNGEN



Erneut wird Widerstandsschweißen eingesetzt, um Schubstreifen (englisch: Cleats) zwischen Stringern und Spanten zu integrieren. Dabei wird ein kleiner Leichtbauroboter in Kombination mit einem Standardroboter eingesetzt. Sie können auf kleinster Fläche agieren. Der „Cobot“ richtet sich automatisch an Stringern und Spanten aus, indem er diese abtastet. Eine Vermessung des Bauteils oder eine kleinteilige manuelle Positionierung wie im aktuellen Industrielltag entfallen hierdurch.

Nachdem ein Konsortium aus DLR, Premium Aerotec, Aernnova und Airbus die Oberschale gebaut hatte und ein Konsortium in den Niederlanden die Unterschale, wurden beide Teile am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung in Stade zusammengeschweißt. Aktuell befindet sich der Demonstrator im Zentrum für angewandte Luftfahrtforschung in Hamburg. Dort kann er für weitere Arbeiten genutzt werden.

Wirtschaftlichkeit nachweisen

Die Umstellung von Aluminium auf CFK muss sich lohnen – sowohl für die Herstellerfirmen als auch für die Betreibenden. Mehrkosten,

die entstehen, weil Produktionsanlagen angepasst werden müssen oder weil CFK teurer ist als Aluminium, müssen durch mehr Effizienz im Produktionsprozess ausgeglichen werden. Um zu zeigen, dass der Umstieg von Alu auf Thermoplast profitabel sein kann, wurden ehrgeizige Ziele für den MFFD-Rumpfdemonstrator definiert: Im weiteren Verlauf des Projekts soll gezeigt werden, dass 60 bis 100 Einheiten monatlich hergestellt werden können und dass – verglichen mit dem jetzigen Airbus A320 – sich das Gewicht um zehn Prozent sowie die laufenden Produktionskosten um 20 Prozent mindern lassen.

Michael Müller ist Redakteur in der DLR-Kommunikation. Lars Larsen arbeitet im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie des DLR.



FLIEGENDE LABORE

Der DLR Projektträger bereitet den Weg für internationale Atmosphärenforschung

von Lovis Krüger und Britta Paul

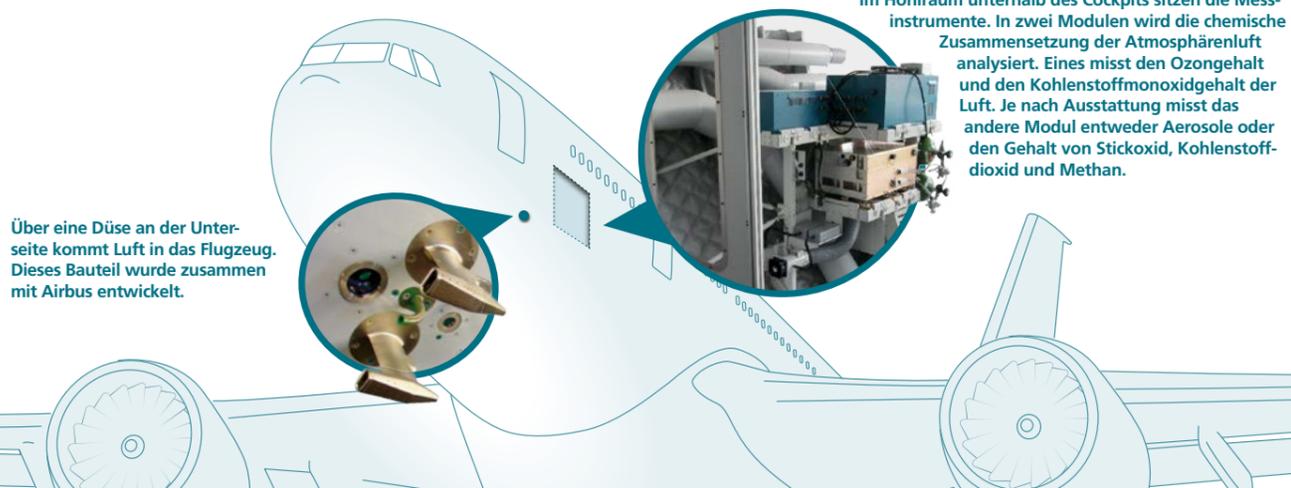
Die Vereinten Nationen bereiten sich auf die Weltklimakonferenz (COP 29) diesen November vor, um den Klimaschutz voranzubringen. Eine gute Datengrundlage ist Voraussetzung dafür, den Klimawandel zu verstehen und Lösungsansätze zu entwickeln. Die Forschungsinfrastruktur IAGOS liefert Daten zur Zusammensetzung der Atmosphäre in 12.000 Meter Höhe. Das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre trägt mit Messungen von Stickoxiden dazu bei. Der DLR Projektträger hat IAGOS mit zum Fliegen gebracht.

Passagierflugzeuge wie der Airbus A330 fliegen auf globalen Reiserouten in der oberen Troposphäre und der unteren Stratosphäre. Dieser Höhenbereich unserer Atmosphäre ist für Forschende besonders wichtig, denn die Konzentrationen von Stickoxiden, Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan und Ozon sowie sogenannte Aerosolpartikel dort sind als Ursache für den Klimawandel relevant. Lange gab es kein klares Bild der Zusammensetzung der Atmosphäre und ihrer Veränderung in dieser Höhe. Hier setzt die Forschungsinfrastruktur IAGOS (In-service Aircraft for a Global Observing System) an. Zehn Airbus-A330-Maschinen sind aktuell mit Messinstrumenten ausgestat-

tet, die bei jedem Flug Daten sammeln. Mit ihnen lassen sich globale Klimaveränderungen besser abschätzen.

Der DLR Projektträger betreute das Projekt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) bis zum Beginn des operativen Betriebs im Jahr 2022. Aus dem Verbund mit vielen Stakeholdern aus Wissenschaft und Wirtschaft entstand eine kosteneffiziente Methode, die Luft in der Flugreisehöhe kontinuierlich zu beobachten und ihre Bestandteile zu messen. Der Aufbau und Betrieb eines Forschungsflugzeugs wären im Gegensatz dazu deutlich teurer. Die

DAS IAGOS-CORE-SYSTEM



Über eine Düse an der Unterseite kommt Luft in das Flugzeug. Dieses Bauteil wurde zusammen mit Airbus entwickelt.

Im Hohlraum unterhalb des Cockpits sitzen die Messinstrumente. In zwei Modulen wird die chemische Zusammensetzung der Atmosphärenluft analysiert. Eines misst den Ozongehalt und den Kohlenstoffmonoxidgehalt der Luft. Je nach Ausstattung misst das andere Modul entweder Aerosole oder den Gehalt von Stickoxid, Kohlenstoffdioxid und Methan.

Messdaten über die Zusammensetzung dieser Luft stehen der globalen Wissenschaftscommunity kostenlos und langfristig zur Verfügung.

Passagiermaschinen im Auftrag der Wissenschaft

IAGOS umfasst zwei unterschiedliche Ansätze. Im Rahmen von IAGOS-Core werden über viele Wochen mit zehn Linienflugzeugen Messungen durchgeführt. Diese Instrumentenpakete sind in speziellen Gestellen unterhalb der Flugzeug-Cockpits untergebracht. Sie analysieren die Luft, speichern die Daten und senden sie an die IAGOS- und die Copernicus-Datenbank. Damit stehen die Informationen den Forschenden nur wenige Stunden nach der Landung eines Flugzeugs zur Verfügung. Mit IAGOS entsteht eine lange Beobachtungsreihe zur Zusammensetzung der Atmosphäre.

Im Rahmen von IAGOS-CARIBIC wird ein großer Luftfracht-Container im Laderaum eines Passagierflugzeugs mit Messinstrumenten bestückt. Zurzeit wird ein A350 der Lufthansa für eine neue Generation des Messcontainers umgerüstet. Dieser ist mit deutlich mehr und präziseren Messinstrumenten ausgestattet, die unser Bild der Atmosphäre in Zukunft weiter schärfen werden.

Wichtige Ergänzung zu satellitengestützten Messungen

„Die Daten, die von den IAGOS-Fliegern gesammelt werden, sind für die Klimaforschung essenziell, da in dieser Höhenregion keine direkten Messdaten aus anderen Routinemessungen vorliegen. Gerade über die Atmosphäre oberhalb der Ozeane wissen wir viele Dinge nicht, da hier Messungen nur eingeschränkt möglich sind. Auch Satelliten liefern hier keine ausreichend detaillierte höhenaufgelöste Messung der Zusammensetzung der Atmosphäre“, sagt Dr. Jochen Elberskirch, Projektmanager beim DLR Projektträger. „In den 1990er Jahren gab es bereits erste flugzeuggestützte Messungen. Zusammen mit den aktuellen IAGOS-Daten sind sie die Grundlage für mehr als 400 wissenschaftliche Artikel, unter anderem auch in den Fachmagazinen Nature und Science. Die Daten bringen die Forschung maßgeblich voran.“

Internationale Forschungskooperation

Das internationale Forschungsprojekt ist nur möglich, weil viele Forschungseinrichtungen, Fluglinien und der Flugzeugbauer Airbus miteinander kooperieren. In Deutschland koordiniert das Forschungszentrum Jülich die Flotte der zehn Passagierflugzeuge. Das Karlsruher Institut für Technologie betreut das Projekt rund um den Messcontainer. Das DLR-



Blick in den IAGOS-CARIBIC-Container mit den Messkomponenten

Institut für Physik der Atmosphäre trägt mit der Messung von Stickoxiden zu IAGOS-CARIBIC bei. Eine wichtige Quelle für diese Spurengase, die zum Klimawandel beitragen, ist der Flugverkehr. Neben den acht IAGOS-Mitgliedereinrichtungen sind weitere sechs Forschungseinrichtungen aus insgesamt fünf Ländern beteiligt – sowie acht Airlines, die einen Teil der Kosten tragen, indem sie die Messinstrumente an Bord ihrer Flugzeuge mitnehmen.

Der Projektträger sorgte für die Aufbaufinanzierung

Das BMBF hat mithilfe der strategischen Beratung durch den DLR Projektträger entschieden, die IAGOS-Infrastruktur finanziell zu unterstützen. Seit 2012 koordiniert der DLR Projektträger die Aufbaufinanzierung und hat mit insgesamt 18,5 Millionen Euro vom BMBF eine beispielhafte Forschungsinfrastruktur ins Leben gerufen. Inzwischen fliegen die IAGOS-Labore regelmäßig auf globalen Reiserouten. Jetzt werden kontinuierlich Daten gesammelt und zum Beispiel in Klimamodelle eingespeist. Damit hilft IAGOS, das globale Klima und seine Veränderungen besser zu verstehen. Seit Juli 2022 liegt die Koordination für das Projekt nun bei der Non-Profit-Organisation IAGOS-AISBL.

Lovis Krüger arbeitet in der Unternehmenskommunikation des DLR Projektträgers. Britta Paul ist Bereichskommunikatorin Umwelt und Nachhaltigkeit beim DLR Projektträger.

IAGOS-FLÜGE (1. NOVEMBER 2012–30. JUNI 2022)



In zehn Jahren IAGOS wurden Atmosphärendaten mit knapp 26.000 Messflügen erhoben. Besonders wichtig für das Projekt sind die China Airlines und die Hawaiian Airlines, die mit ihren Flügen die Atmosphäre über dem Pazifik untersuchen. So entsteht ein umfassendes Bild der globalen Atmosphäre.

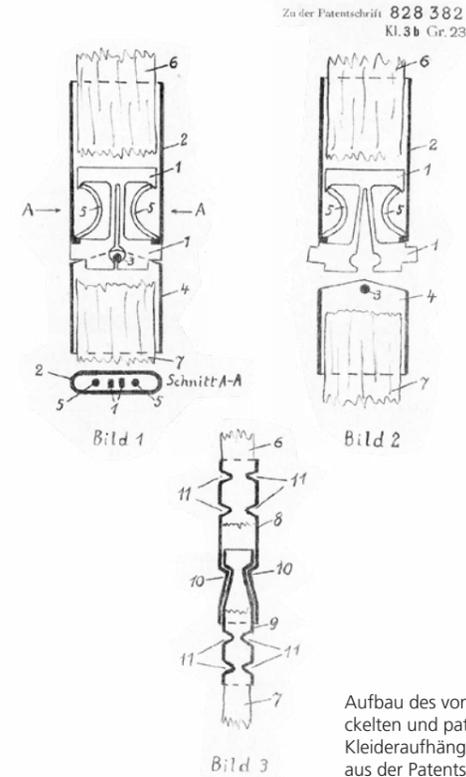
China Airlines Lufthansa Air Namibia Air France Cathay Pacific Iberia Hawaiian Airlines Eurowings Discover

AUS DEM ARCHIV

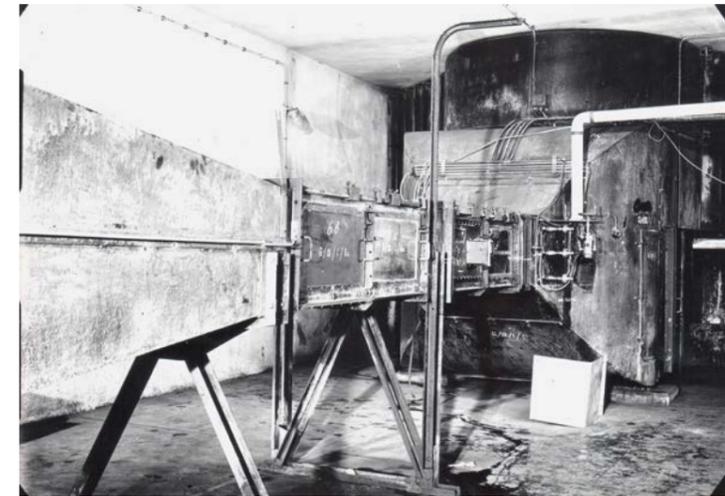
Im Zentralen Archiv des DLR lagern über 50.000 Dokumente. Darunter sind einige Schätze vergraben. Diese Rubrik begibt sich auf Spurensuche mitten hinein in die Flut von Bildern, Schriftstücken, Urkunden und Texten, um diese zu heben. In diesem Teil geht es um kreative Forschungsideen im Rahmen der Restriktionen nach dem Zweiten Weltkrieg.



Prof. Ludwig Prandtl 1904 am Wasserkanal der TH Hannover. Wasserkanäle gehörten zu den ersten Versuchsanlagen, die in der Nachkriegszeit wieder für Forschungszwecke eingesetzt werden durften.



Aufbau des von Betz entwickelten und patentierten Kleideraufhängers. Skizze aus der Patentschrift.

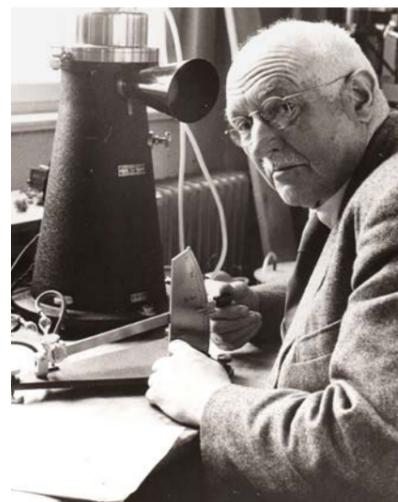


Demontage des Hochgeschwindigkeitswindkanals der AVA 1946

So entwickelte Professor Albert Betz (1885–1968), einstiger Leiter der AVA und ab 1947 Direktor des KWI für Strömungsforschung und späteren Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung, einen neuartigen Kleideraufhänger, für den er 1949 sogar ein Patent erhielt. Da ihm die Zeit fehlte, ihn selbst zu vermarkten, hoffte er darauf, dass sein Neffe sich dieses Projekts annehmen würde. Zwar signalisierte dieser durchaus seine Bereitschaft, einen Abnehmer zu finden, doch war er als Jurist beruflich ebenfalls stark eingespannt, sodass sich die Verhandlungen mit interessierten Firmen zur Vermarktung in die Länge zogen. Erschwerend kam hinzu, dass Betz sehr genaue Vorstellungen hinsichtlich der Qualität des Kleideraufhängers hatte. Er sollte seiner Ansicht nach aus hochwertigem Material gefertigt sein, um möglichst lange benutzt werden zu können. Dies widersprach allerdings der Auffassung der interessierten Firmen. Aus ihrer Perspektive musste ein solcher Gebrauchsgegenstand nicht ein Leben lang halten, sondern durfte gerne durch die bald entstehende Notwendigkeit des Kaufs eines Ersatzes den Umsatz der Herstellerfirma steigern. Deshalb weigerten sich die Firmen, entsprechend langlebige Materialien für die Herstellung zu verwenden. Dass hier zwei Welten aufeinandertrafen, die gegensätzlicher kaum sein konnten, steht außer Frage. Wenig erstaunlich ist dementsprechend, dass dieser Kleideraufhänger letztlich nicht den Weg in die Serienproduktion fand – und somit auch nicht in die Kleiderschränke.

Wie die hier gezeigten Beispiele illustrieren, mussten Forschende in den späten 1940er und frühen 1950er Jahren ihre Fähigkeiten und wissenschaftlichen Stärken auf Gebiete verlagern, die außerhalb ihrer eigentlichen Kernkompetenzen lagen. Dies war mit Sicherheit nicht immer einfach, eröffnete ihnen jedoch auch die Chance, neue Arbeitsbereiche und Denkweisen kennenzulernen, von denen sie langfristig profitierten.

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



Prof. Albert Betz 1953 in der Werkstatt des MPI für Strömungsforschung

SCHWIMMENDE ERBSEN UND EIN PATENTIERTER KLEIDERAUFHÄNGER

Kreative Forschungsfragen unter alliierter Kontrolle nach dem Zweiten Weltkrieg

von Dr. Jessika Wichner

In den ersten Jahren nach Ende des Zweiten Weltkriegs waren die Luftfahrtforschung und der Bau von Flugzeugen in Deutschland durch das von den Alliierten erlassene Kontrollratsgesetz Nr. 25 verboten. Ähnlich wie schon nach dem Ersten Weltkrieg mussten die Forschenden in den Vorgängerorganisationen des DLR kreative Ideen entwickeln, um trotz der Restriktionen auf dem Gebiet der angewandten Naturwissenschaften ihre Arbeit fortsetzen zu können und Einnahmequellen zur Finanzierung ihrer Tätigkeiten zu finden.

Die drei großen Vorgängerorganisationen des DLR standen nach dem Zweiten Weltkrieg unter der Kontrolle der Siegermächte, die die Versuchsanlagen und die Mitarbeitenden der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) in Berlin-Adlershof, der Luftfahrtforschungsanstalt Hermann Göring (LFA) in Braunschweig und der Aerodynamischen Versuchsanstalt (AVA) in Göttingen für ihre Zwecke nutzten. So beauftragten die Briten beispielsweise ausgewählte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der LFA und der AVA damit, ihre Forschungstätigkeit während

des Zweiten Weltkriegs schriftlich darzulegen. Parallel dazu wurden die Windkanäle und Versuchsanlagen in den drei Forschungsanstalten gemäß dem Potsdamer Abkommen sukzessive demontiert oder zerstört und die Forschungsanstalten stellten nach und nach ihren Betrieb ein.

Aerodynamikforschung für die Landwirtschaft

Während ein Teil des Personals der AVA nach dem Ende seiner Tätigkeit für die Briten in das Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Strömungsforschung in Göttingen wechseln konnte, blieb den Mitarbeitenden der LFA nichts anderes übrig, als sich eine neue Beschäftigung zu suchen. So kam der Leiter der LFA, Professor Hermann Blenk (1901–1995), zunächst in der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) unter, die auf dem Gelände der LFA errichtet wurde. Als Aerodynamiker konnte er sich ausgezeichnet mit Strömungsvorgängen aus und wurde daher von der FAL mit zwei Forschungsfragen betraut. Zum einen sollte er ermitteln, wie sich Saatgut durch Wind reinigen und sichten ließ, zum anderen erhielt er die Aufgabe, die pneumatische Förderung von Getreide, Heu und Stroh zu untersuchen.

Ähnlich erging es einigen Mitarbeitern der AVA, die nach Schließung der Forschungsanstalt ins KWI für Strömungsforschung übernommen worden waren. Auch sie erhielten aufgrund ihrer Kenntnisse auf dem Gebiet der Aerodynamik eine artverwandte Aufgabe und entwickelten für eine Hamburger Firma ein Schwimmsortierverfahren für Erbsen.

Eine andere Arbeitsgruppe ehemaliger AVA-Mitarbeiter, die ebenfalls Gelegenheit bekam, ins KWI für Strömungsforschung zu wechseln, hatte während des Zweiten Weltkriegs im AVA-Institut für Kälteforschung gearbeitet und zum Beispiel die Eisbildung an Flugzeugflügeln und -leitwerken in großen Höhen untersucht. In der Nachkriegszeit unterstützte sie den Göttinger Schlachthof bei der Erneuerung seiner Kühlanlage und entwickelte ein Schnellgefrierverfahren für Lebensmittel.

Die genannten Forschungstätigkeiten wurden von den Briten nicht nur gebilligt, sondern sogar gefördert, da es sich um zivil ausgerichtete Aufgaben handelte, die obendrein zum Wiederaufbau des öffentlichen Lebens in der britischen Besatzungszone beitrugen. Auch für private Forschungen blieb Zeit, sofern diese nicht gegen das Kontrollratsgesetz Nr. 25 verstießen.

WISSENSCHAFT ERLEBEN IN AMSTERDAM

Das NEMO Science Museum
von Claudia Sciarma



Ein großes, türkis-grünes Objekt, dessen geschwungene Struktur den Eindruck eines Schiffsrumpfes vermittelt: Das NEMO Science Museum im Oosterdok in Amsterdam zeichnet sich durch einen unverwechselbaren Baustil aus und zieht schon von Weitem in seinen Bann. Im Innern können Besucherinnen und Besucher Wissenschaft hautnah erleben.

Das Gebäude wurde von dem italienischen Architekten Renzo Piano entworfen und 1997 erbaut. Entstanden ist das NEMO aus dem Arbeitsmuseum, das 1923 von dem Maler Herman Heijenbrock ins Leben gerufen wurde. Die Sammlung von Gemälden und Objekten spiegelte nicht nur dessen Begeisterung für Technik wider, sondern auch den Wandel von Wissenschaft und Technik in den Niederlanden über die letzten 100 Jahre. Heute präsentiert sich das NEMO Science Museum als moderne Institution, die Wissenschaft und Technik in einem ungezwungenen Umfeld interaktiv und für jeden zugänglich macht. Die Sammlung von rund 20.000 Artefakten ist in vier Kernbereiche unterteilt.

In der Ausstellung „Fenomena“ im ersten Stock taucht man in das NEMO-Universum ein. Hier erwarten die Besuchenden viele interaktive Exponate: eine Blitzkugel, mit der man Funken erzeugen kann, verschiedene Farbfilter, mit denen beeindruckende fotografische Effekte entstehen, und vieles mehr.

Einmal in Gang gesetzt: nicht mehr zu stoppen

Auf dem Innenbalkon des Museums hat sich eine Menschenmenge versammelt. Sie wartet auf den Beginn der Show „Kettenreaktion“. Verschiedene Dinge stehen bereit: ein Spielzeuglaster, Dominosteine, eine Rakete ... und ein Countdown beginnt. An dessen Ende rutscht der



Die Show „Kettenreaktion“ ist unterhaltsam und lehrreich zugleich.

Laster eine Rampe hinunter und stößt dabei die Dominosteine um. Einer nach dem anderen fällt, der letzte kollidiert schließlich mit einem größeren Spielzeug-Lkw, der einen weiteren Dominostein umwirft ... die Kettenreaktion hat begonnen. Von diesem Moment an herrscht rege Betriebsamkeit: Wasser fällt eine „Kaskade“ von Wasserflaschen hinab. Während es durch den Boden der Kaskade sickert, scheint sich etwas durch die Luft zu bewegen. Ist es ein Flugzeug? Ist es ein Vogel? Das Objekt fliegt über die Ausstellungsfläche und setzt einen weiteren Mechanismus in Gang, der aus Kugeln und einer Spiralschlange besteht. Die Besucherinnen und Besucher sind gebannt von der 15-minütigen Vorführung, sie wollen keine der unerwarteten Aktionen verpassen. Wobei sie sich in diesem Fall auch die nächste Vorführung anschauen können, denn es gibt mehrere am Tag.

Im NEMO durchdringt Wissenschaft sämtliche Bereiche – sei es auf Informationstafeln, auf dem Bodenbelag oder in den Sitzbereichen: Eine Beschriftung auf der Armlehne eines Stuhls gibt Auskunft über die Tatsache, dass tausende Teilchen Weltraumschrott unsere Erde umkreisen. Selbst auf einer der Treppen informiert ein weiß-blaues Schild darüber, dass bereits ein einziger Schritt bis zu 200 Muskeln beansprucht.



Im mittleren Teil der Wasserkaskade auf der NEMO-Dachterrasse können die Besucherinnen und Besucher experimentieren und Regenbögen erzeugen, indem sie die Fontäne auf die Sonne richten.

Im dritten Stock angekommen, betreten die Gäste eine Ausstellung über die Bausteine des Kosmos.

Das Universum entdecken

Im „Elementa-Bereich“ treffen die Besuchenden auf ein außerirdisches Relikt: einen 4,6 Milliarden Jahre alten Meteorit aus Nantan, China, größtenteils bestehend aus Eisen. Dieses uralte Weltraumgestein ist ein Überbleibsel aus längst vergangenen Zeiten. Man kann nicht nur einen Blick darauf werfen, sondern darf das außergewöhnliche Exemplar sogar berühren.

Darüber hinaus lädt die Etage zu einer Erkundung des Universums ein. Anhand von Videos und interaktiven Stationen werden Themen wie Weltraumtrivialitäten und außerirdisches Leben behandelt. In Vitrinen sind historische Teleskope ausgestellt und auf eine der Wände wird ein großes Spiel projiziert. Darin kann man die Erde vor möglichen Gefahren aus dem Weltraum schützen und sich auf phantasievolle Weltraumreisen begeben, bei denen man sich sogar eine tierische oder menschliche Begleitung aussuchen kann.

Wer bist du?

Nach „Elementa“ folgt im vierten Stock „Humania“. Ein Tunnel führt zu einer imposanten, achteinhalb Meter hohen Skulptur des niederländischen Künstlers Florentijn Hofman: eine auf den Händen stehende menschliche Figur in einem Skelettanzug. Sie regt dazu an, nicht nur über die eigene Existenz nachzudenken, sondern auch über die kosmischen Einflüsse, die die Menschheit geprägt haben.

Auf einer Tafel am Eingang werden die Fragen „Wer bist du?“ und „Wer warst du?“ gestellt. Die Besucherinnen und Besucher sind dazu eingeladen, die eigene Herkunft und Identität zu erkunden. Die Ausstellungssegmente befassen sich mit Themen der menschlichen Erfahrung, sie behandeln verschiedene kulturelle Perspektiven auf den Tod und testen die Grenzen unseres Körpers.

Über den Dächern von Amsterdam

Auf dem Dach des NEMO befindet sich „Energetica“, eine Freiluftausstellung mit einer Vielzahl interaktiver Skulpturen und Installationen. Sie machen das Thema erneuerbare Energie erlebbar. Eine Wasserkaskade bietet einen für Kinder geeigneten Spielbereich, eine Regenbogenmaschine veranschaulicht das Zusammenspiel von Licht und Wasser und auf dem Dach sind zwölf Springbrunnen installiert, die von verschiedenen Apparaten wie einer Wind-Turbine auf der „Windinsel“ angetrieben werden. Hier können die Besuchenden ihre Kräfte mit den Elementen messen. Auf der „Solarinsel“ können sie auf Stühlen entspannen, die mit Solarzellen ausgestattet sind und im Sonnenlicht Energie produzieren. Aber natürlich kann man auch einfach nur die Aussicht genießen.

Egal, ob man Meteoriten oder erneuerbare Energien faszinierend findet – ein Aufenthalt im NEMO ist ein intensives Erlebnis, das einen staunend zurücklässt. Im Juli dieses Jahres wird nach sechsmonatiger Umbauzeit das „Technium“, der neueste Ausstellungsbereich des NEMO, eröffnet. Hier wird sich alles um Technik und Technologie drehen – ein geeigneter Anlass für den Besuch dieses futuristischen „Schiffs“ im Zentrum Amsterdams.

Claudia Sciarma ist Redakteurin in der Agentur EJR-Quartz.

NEMO SCIENCE MUSEUM

Oosterdok 2, 1011 VX Amsterdam

Öffnungszeiten:

Mo.–So. 10:00–17:30 Uhr

Eintrittspreis:

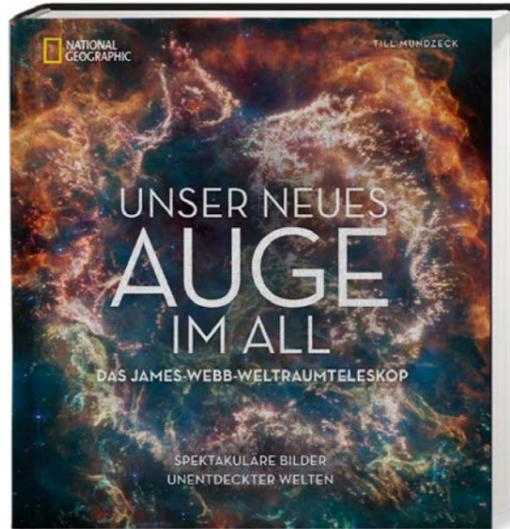
17,50 €, Kinder unter vier Jahren frei

Alle Besuchenden müssen im Voraus ein zeitgebundenes Ticket kaufen oder reservieren.

🌐 nemosciencemuseum.nl



Eingang zum Bereich „Humania“ im NEMO-Museum



ENTDECKER NEUER WELTEN

Wie hat das Universum begonnen? Wie entstehen Galaxien? Wie werden Sterne geboren? Antworten auf diese und viele weitere Fragen sucht seit 2022 das Weltraumteleskop James Webb. Seitdem sendet es atemberaubende Aufnahmen zur Erde, die es aus einer Entfernung von mehr als 1,5 Millionen Kilometern macht. Mit seiner Infrarottechnik gewährt es in gestochen scharfer Bildqualität die bisher tiefsten Einblicke in den Weltraum und macht zuvor verborgene Sterne und Planetensysteme sichtbar. Mit seinem 6,5 Meter großen Spiegel ist die Lichtsammel­fläche des James-Webb-Weltraumteleskops rund sechs Mal größer als die von Hubble. Die Instrumente des fliegenden Observatoriums sind so empfindlich, dass sie theoretisch noch die Wärmesignale einer Hummel auf dem Mond messen könnten.

Die spektakulären Himmelsbeobachtungen und wissenschaftlichen Erkenntnisse sind in dem Bildband **Unser neues Auge im All – das James-Webb-Weltraumteleskop (National Geographic)** in liebevoller Arbeit, mit viel Herzblut und Fleiß von Till Mundzeck kuratiert worden. Mundzeck, der leider kürzlich unerwartet verstarb, war Wissenschaftsjournalist und Physiker mit dem Schwerpunkt Astronomie sowie Kosmologie und seit 2011 Wissenschaftsredakteur beim Forschungszentrum DESY in Hamburg sowie freier Autor.

Der großformatige Bildband im Hardcoverformat zeigt auf rund 200 Seiten die vom James-Webb-Weltraumteleskop aufgenommenen Bilder unentdeckter Welten. Unterhaltsam führt der Autor seine Leserinnen und Leser durch kosmische Landschaften. Mit gründlicher Recherche, gut aufbereiteten Texten und ansprechender Astrofotografie ist es ihm gelungen, die bis dahin nie gesehenen Phänomene des Weltalls verständlich zu erläutern, die Geschichte der Weltraumteleskope darzustellen und Hintergrundinformationen zum Milliardenprojekt James Webb der amerikanischen Luft- und Raumfahrtbehörde NASA zu vermitteln. Kurz: Das Buch ist ein „Muss“ für Weltraum- und Astronomiefans, Nerds und all diejenigen, die sich für Geheimnisse von fernen Planeten und Galaxien interessieren.

Andrea Haag



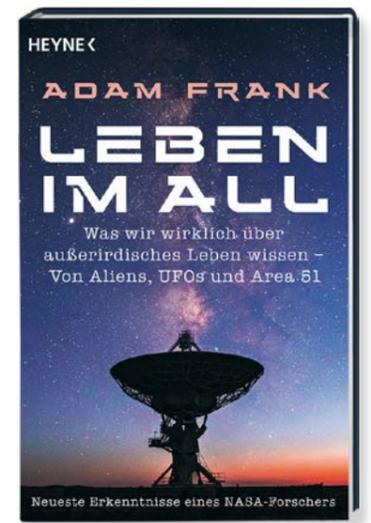
DIE SUCHE NACH „DEN ANDEREN“

Zu Beginn des Buches steht das Bekenntnis des Autors: „Ich liebe Aliens“. Bereits als Kind verschlang Adam Frank alle verfügbaren Dokumentationen, Filme und Serien über außerirdisches Leben und träumte von den Wundern, die vielleicht irgendwo da draußen auf ihre Entdeckung warten. Kein Wunder also, dass sein Berufsweg in den Bereich der wissenschaftlichen Extraterrestrik führte, als Professor für Physik und Astronomie an der Universität von Rochester. Die deutsche Erstausgabe seines neuesten Buches **Leben im All. Was wir wirklich über außerirdisches Leben wissen – von Aliens, Ufos und Area 51** ist 2024 im Heyne Verlag erschienen.

Zunächst widmet sich Frank – nachdem er mutmaßlichen Alien-Sichtungen den Wind aus den Segeln genommen hat – dem „großen Schweigen“: Seit mehr als 80 Jahren richten Forschende ihre Radioteleskope auf alle möglichen Himmelsregionen, bislang ohne Erfolg. Für Frank folgt daraus, dass wir bislang noch nicht an den richtigen Stellen gesucht haben. Möglicherweise könnten Exoplaneten, also Planeten, die um andere Sonnen kreisen, Grundlagen für Leben bieten. Sollten sich irgendwo dort Zivilisationen gebildet haben, müssten ihre Technologien Signaturen hinterlassen, die wir mit modernen Teleskopen detektieren können. Doch wie wahrscheinlich ist es, dass wir mit einer außerirdischen Spezies direkt in Verbindung treten? Wie könnte außerirdisches Leben aussehen? Und sollte man aus Sicherheitsgründen überhaupt Kontakt aufnehmen? Es sind die ganz großen Fragen an der Schnittstelle von Naturwissenschaften und Philosophie, die Frank beschäftigen.

Angesichts der höchst komplexen Materie ist es erfrischend, wie der Autor es an vielen Stellen schafft, den Lesenden durch humorvolle Bemerkungen und informelle Sprache bei der Stange zu halten. Fachwissen in Physik, Biologie und Chemie ist keine Bedingung, schadet aber nicht. Es ist kein Buch, das man zur Entspannung liest – man muss schon den Willen aufbringen, tief einzutauchen und dranzubleiben. Dann aber ist Franks Begeisterung für die Suche nach außerirdischem Leben ansteckend.

Michael Müller



DER MOND ZWISCHEN VISION, UTOPIE UND REALITÄT

Joseph Silk ist sich sicher: Der Mensch wird den Mond mehr und mehr kolonisieren. Er wird permanente Infrastrukturen bauen, Rohstoffe fördern und nutzen. Und Wissenschaft in großem Stil betreiben. Schließlich wird der Mond Ziel von Tourismus, aber bald auch das Sprungbrett zum Mars sein.

Silk ist Professor für Physik und Astrophysik an der Johns-Hopkins-Universität und ein wirklich großartiger „Übersetzer“ schwerverdaulicher Themen. Auch sein Werk **Zurück zum Mond – Der nächste große Schritt für die Menschheit (FinanzBuch Verlag)** liest sich, bestens übersetzt, ganz hervorragend. Es ist eine präzise Schilderung der vielen technischen, organisatorischen und wissenschaftlichen Rahmenbedingungen und daraus abgeleiteter, anzustrebender Ziele. Und doch nur eine Vision, eine Utopie, von der sich kaum, nein, eigentlich gar nicht vorstellen lässt, dass sie einst Realität werden könnte. Dass er leidenschaftlich dafür plädiert, in den nächsten 50 Jahren den Mond als Plattform für die Forschung oder als Tankstelle für Raketentreibstoff für die weite Reise zum Mars zu nutzen: d'accord. Aber die These, dass der Mond für knapp werdende Ressourcen auf der Erde erhalten kann: no way!

Jedes irdische Bergwerk mit seiner Grubentechnik widerlegt diesen Plan. Oder der Mond als Zufluchtsort, wenn wir es doch schaffen sollten, die Erde zugrunde zu richten? Himmel, hilf! Vielleicht sind es die zurzeit sehr heftigen irdischen Themen und Konflikte, die einen auf derartig utopische Malereien am Horizont mit größter Skepsis reagieren lassen. Ist es nicht schon unvorstellbar genug, dass es den Nationen der Erde in dieser Zeit gelänge, den Weltraumvertrag von 1967, der Besitz und Aktivitäten regelt, zu überarbeiten?

Ulrich Köhler

ALEXANDERS (LESE-)PUZZLE

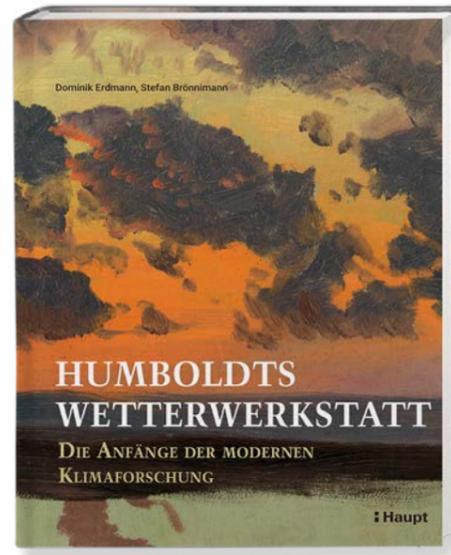
Es geht um Humboldts Schreibtisch, speziell um das, was um ihn herum stand: Kisten mit tausenden Briefen, Tabellen, Notizzetteln, Zeitungsausschnitten – sogenannten Kollektaneen. Und es geht ums Klima. Denn das, was Alexander von Humboldt zum Begründer der modernen Klimatologie macht, hat seine Quellen auch in jenen 13 Kartons.

Dominik Erdmann, Wissenschaftshistoriker, und Stefan Brönnimann, Geowissenschaftler, gehen in dem vom schweizerischen **Verlag Haupt** herausgegebenen Sachbuch **Humboldts Wetterwerkstatt** der Frage nach, wie sich der Naturforscher für seine späten Bücher, Artikel und Essays diese Sammlungen zunutze machte. Dabei ging es dem Universalgelehrten nicht um bloßes Zusammenstellen, sondern um ein Zusammendenken.

Das Verdienst der Autoren ist es, die äußerst unterschiedlichen Dokumente im Kontext ihrer Entstehungszeit zu sehen und aus heutiger Sicht zu bewerten. Sie führen Informationen über die Ursprünge und die Urheber des von Humboldt gesammelten Materials mit historischen Ereignissen zusammen. Ähnlich wie bei einem Puzzle entsteht so ein detailliertes und in mancher Hinsicht überraschendes Bild von den Anfängen der modernen Klimaforschung – mit Schere und Klebstoff als wissenschaftlichem Instrumentarium.

Das 240-Seiten-Buch packt uns mit den Schilderungen von Arbeitsweisen, Zeitgeschehen und wissenschaftlichen Disputen. Die Auswahl der Illustrationen stellt uns allerdings vor so manches Rätsel: hinsichtlich ihrer Lesbarkeit, aber auch ihrer Aussagekraft, vor allem wenn Faksimiles von Handschriften abgebildet werden, die kaum auf den Inhalt schließen lassen, oder regionale Datensätze des Alpenlandes dargestellt werden. Dann muss es genügen, den Begleittext zu lesen und Fantasie zu entwickeln. Deshalb ist es letztlich auch ein Buch und eben kein Puzzle.

Cordula Tegen



DIE GESELLSCHAFT UNTER STROM



Gasüberheizte Bühnen, mangelnder Sauerstoff und Vorhänge oder Kostüme, die ungewollt in Flammen aufgehen. Das war üblich in der Theaterbranche um 1880, als Gaslampen hoch im Kurs standen. Alexander Bartl nimmt uns in seinem Buch **Der elektrische Traum (HarperCollins)** mit auf eine Reise, die mit einem Theaterbrand beginnt und mit einer Idee endet: Thomas Alva Edison rieb sich Dreck von den rußgeschwärzten Händen und wälzte ihn zu einem Faden. Dieser Prototyp von einem Glühdraht war der erste Schritt zur Gründung der Edison Electric Light Company. Edisons Unternehmen behauptete im Gegensatz zur alteingesessenen Imperial Continental Gas Association, das Licht der Zukunft sei elektrisch.

Unter anderem in den Memoiren von Francis Jehl, dem persönlichen Assistenten von Edison, zeigt sich aber eine andere Seite des gefeierten Genies. Besonders sein erstes Versprechen, die Gaslampen abzulösen, war ein großer Marketing-Stunt. Die Drähte glühten zwar, aber nur für Sekunden. Trotzdem waren Investoren von seiner Vision überzeugt und ermöglichten Edison und seiner wachsenden Forschungsgruppe viele Jahre des Experimentierens mit etlichen Materialien, die als Glühdraht fungieren sollten.

Bartl erzählt diese Technikgeschichte anhand konkreter Szenen und individueller Schicksale. So ähnelt das Buch eher einem Roman als einem klassischen Sachbuch. Alles in allem eine unterhaltsame Lektüre der spannenden Entwicklung von „Es ist auszuschließen, dass elektrisches Licht jemals in den Häusern zum Einsatz kommt“ bis zu diesem Tag, an dem ich an meinem selbstverständlich elektrisch beleuchteten Schreibtisch diese Rezension tippe.

Lukas Lenz



UNSER MÜLL, UNSERE GESCHICHTE

Was wir wegwerfen, ist ein Abbild unserer Gesellschaft. So ist es wenig verwunderlich, dass die Archäologie die menschlichen Ess- und Lebensgewohnheiten anhand von deren Abfällen und Hinterlassenschaften rekonstruiert. Lange waren der Umgang mit Fäkalien und die komplizierte Logistik ein Hauptproblem der Abfallwirtschaft: Mensch und Tier lebten in den Städten auf engstem Raum. Die Einwohnenden hatten es mit entsprechend großen Fäkalienmengen zu tun. Auf den umliegenden Feldern waren diese als Dünger eine kostbare Ressource. Nur: Wie kamen sie dorthin?

Heute ist der Umgang mit Fäkalien keine besonders große Herausforderung mehr. Heute geht es vielmehr um die stetig steigenden Mengen an Plastik oder die sachgerechte Lagerung giftiger Substanzen. In seinem Buch **Müll – Eine schmutzige Geschichte der Menschheit (C.H.Beck)** erzählt der Historiker Roman Köster diese Globalgeschichte des Mülls, von der Frühgeschichte bis zur Gegenwart. Dabei konzentriert er sich nicht nur auf die Dinge, die wir wegwerfen, sondern auch auf die, die wir wiederverwerten. Denn: Was für die einen Müll ist, ist für die anderen eine wertvolle Ressource. Das reicht vom Lumpensammeln für die Papierproduktion bis zum Handel mit gebrauchter Kleidung, der in der Vormoderne auch Mittel- und Unterschichten kulturelle Teilhabe ermöglichte. Heute, wo sowohl Secondhand als auch Upcycling mehr als Lifestyle gesehen wird, lässt sich leicht vergessen, dass der Großteil des Recyclings kaum mit dem Gedanken an Nachhaltigkeit, sondern aus purer Not geschah und teilweise noch geschieht.

Auch wenn Roman Köster dieses komplexe Thema äußerst unterhaltsam und verständlich aufbereitet hat (sogar das Kapitel über Mülltonnen und deren Entstehungsgeschichte): Eine leichte Lektüre ist es dennoch nicht. Die 300 Seiten erfordern schon etwas Biss und Durchhaltevermögen. Ganz zu schweigen davon, wenn man noch einen Blick in den etwa 100 Seiten starken wissenschaftlichen Anhang werfen möchte. Nichtsdestoweniger erzeugt die Lektüre mehr als einen „Aha“-Moment und lässt einen sowohl die Müllabfuhr als auch den nächsten Müllcontainer mit anderen Augen betrachten.

Julia Heil

WALTERS WISSENS-SHUTTLE



„Jede einfache Erklärung unserer komplizierten Welt kann nicht richtig sein.“ Mit diesem Satz beginnt Astronaut Ulrich Walter seine Mission, **Die verrückte Welt der Physik (Komplett-Media)** so einfach wie möglich zu erklären. Klingt paradox? Ist es dank Walter nur zum Teil. Von der Frage, warum Eis glatt ist, über die Berechnung von Fußballergebnissen bis hin zu einer simplen Erklärung der Stringtheorie: Auf 271 Seiten möchte er in insgesamt 38 Antworten Leserinnen und Leser mit seinem Missions-Shuttle abholen und an der Haltestelle der Erkenntnis abliefern: wissenschaftlich Interessierte, die lediglich auf verstaubtem Physik-Schulwissen aufbauen können, und all diejenigen, die bei Unkenntnis eines Begriffs schneller auf Wikipedia nachschauen, als ein fallengelassener Bleistift auf dem Mond benötigt, um aus dem Handschuh im Regolith zu landen. Unterhaltsam, anschaulich, gehaltvoll – die perfekte Mischung für ein schnelles Wissens-Upgrade zwischendurch.

Simon Mechenbier

LINKTIPPS

DR. BECKY

[youtube.com/@DrBecky](https://www.youtube.com/@DrBecky)

Wie viel Wissenschaft steckt in der Serie „Dr. Who“ oder im Film „Der Marsianer“? Dr. Rebecca Smethurst, Astrophysikerin an der University of Oxford, beantwortet diese Fragen auf ihrem YouTube-Kanal „Dr. Becky“. Neben Reaktionen auf Filme und Serien findet man hier Antworten rund um Themen der Astrophysik wie: Woher weiß man, wie alt die Milchstraße ist? Des Weiteren erhält man Einblicke in ihren Arbeitsalltag.

ZWEI MINUTEN DLR

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

Rund 10.000 Menschen arbeiten und forschen im DLR in mehr als 50 Instituten und Einrichtungen. Dieser Imagefilm gibt einen Eindruck von der Vielfalt der Forschungsthemen und den zahlreichen Möglichkeiten, die das DLR bietet.

DIE REVOLUTION DER GEOLOGIE

astrogeo.de/marie-tharp-und-die-entdeckung-der-plattentektonik

Die Astrophysikerin Franziska Konitzer und der Diplomgeologe Karl Urban beschäftigen sich in ihrem Podcast „Astrogeo“ mit Geschichten der Astronomie. In dieser Folge erzählen sie die Geschichte von Marie Tharp, einer Geologin und Kartografin, die die erste Karte des Atlantikbodens schuf und dabei ein Grabenbruchsystem entdeckte, welches den Anstoß zur Entwicklung der modernen Plattentektonik gab.

DIE GUTE SEITE

[s.dlr.de/ard-gute-nachrichten](https://www.s.dlr.de/ard-gute-nachrichten)

Hier geht es zur Abwechslung mal nicht um die schlechten, sondern um die guten Nachrichten. Diese Reihe der ARD zeigt die kleinen und großen Erfolge von Menschen, Organisationen und Unternehmen, die die Zustände für Mensch und Natur verbessern möchten. Das kann beispielsweise der Schutz von Wäldern und Meeren sein oder eine nachhaltigere Landwirtschaft.

DIE ENERGIEWENDE IN ZAHLEN

[zeit.de/energiewende-daten-visualisierungen](https://www.zeit.de/energiewende-daten-visualisierungen)

Der Energiemonitor von Zeit Online zeigt täglich aktualisierte Zahlen zum Ausbau der erneuerbaren Energien und zum Ausstieg aus Gas, Öl und Atom. Die Analysen und Visualisierungen machen interessante Zusammenhänge bezüglich der Energiewende sichtbar.

DER LUFTVERKEHR IM UMBRUCH

[klimaschutz-portal.aero](https://www.klimaschutz-portal.aero)

Warum ist es so schwierig, die Klimawirkung des Luftverkehrs in konkrete Zahlen zu fassen? Welche kurzfristig etablierbaren Maßnahmen helfen, Emissionen zu senken? Wie sehen vielversprechende Entwürfe für die nächste Flugzeuggeneration aus? Alle wesentlichen Informationen rund um den im Wandel befindlichen Luftverkehr finden sich auf der vom Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft verantworteten Website. Dazu gibt es Infografiken sowie ein Infoterminal, das Antworten zu oft gestellten Fragen gibt.



Titelbild

Die Folgen des Klimawandels fordern unser Handeln. Neue Technologien sollen auch in Zukunft globale Mobilität gewährleisten. Ein Baustein ist die individuelle Routenplanung im Luftverkehr. Das DLR forscht sowohl daran, wie stark wärmende Kondensstreifen durch gezielte Routenplanung vermieden werden können, als auch an nachhaltigen Kraftstoffen, die in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen. Auf dem Titel dieses Hefts ist das DLR-Forschungsflugzeug Falcon bei einer Kampagne zur Messung von Triebwerksemissionen zu sehen.



Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt