

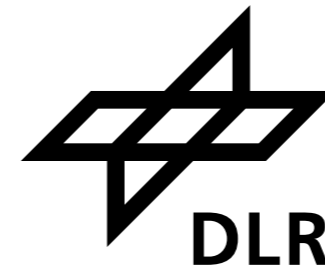
Titelbild

Präzise schiebt sich dieser Roboterarm zwischen den Schaufeln eines Triebwerks hindurch, um dieses zu inspizieren und eventuelle Schäden zu reparieren. Das spart Zeit und Kosten – bisher mussten Triebwerke für diese Prozedur aufwändig auseinandergenommen werden. Forschende des DLR-Instituts für Instandhaltung und Modifikation sehen großes Potenzial im Einsatz von Robotern bei der Wartung und Instandhaltung von Flugzeugen. Sie erproben diese minimalinvasive Inspektion und Reparatur an einem ehemaligen Pearl-700-Entwicklungstriebwerk, das von Rolls-Royce Deutschland leihweise zur Verfügung gestellt worden ist.



DLRmagazin
180 online

DLRmagazin | Juni 2026



magazin

#180

Präzise
wie ein
Chirurg

Roboter in der
Instandhaltung



DLR à la carte

Deutschland im Juni 2025



Wolkenfrei

Klarer Himmel über Deutschland? Nein! Diese Karte kombiniert die Aufnahmen des Satelliten Sentinel-2 über einen Monat, und zwar nur solche ohne Wolken. Das Earth Observation Center (EOC) am DLR liefert jeden Monat eine solche Karte. Sie kann überall eingesetzt werden, wo die Beobachtung von Veränderungen der Erdoberfläche Erkenntnisse bringt – zum Beispiel bei Dürreperioden. Besonders im Jahresvergleich lassen sich hier wertvolle Informationen gewinnen.



Zum DLR Geoservice

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 magazin@dlr.de
Web dlr.de
Instagram @germanaerospacecenter

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten

Datum der Drucklegung: 18. Mai 2026

Gestaltung: raufeld

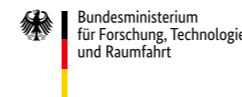
ISSN 2190-0094

Online lesen: dlr.de/dlr-magazin
Onlinebestellung: dlr.de/magazin-abo
Kontakt: magazin@dlr.de

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

Bilder: DLR (CC BY-NC-ND 3.0), sofern nicht anders angegeben. Bei Bildern mit dem Copyright DLR sind alle Rechte vorbehalten.

Gefördert durch:



Was uns antreibt ...

„Mit unseren Robotern wollen wir Flugzeuge reparieren, ohne sie dafür auseinanderzunehmen. Denn im Hangar ist es wie im OP-Saal: Je kleiner der Eingriff, desto schneller ist der Patient wieder fit.“



Florian Heilemann
Institut für Instandhaltung und Modifikation

Mehr auf Seite 10



Joséphine Koffler
Institut für Instandhaltung und Modifikation

„Wir beobachten die Erde aus dem All mit unglaublicher Präzision. Doch die Auswirkungen dessen, was wir ins All bringen, zu verstehen, bleibt eine Herausforderung. Genau hier beginnt meine Arbeit.“

Mehr auf Seite 20

„Wer ein sicheres und resilientes Energiesystem will, darf nicht nur eine mögliche, sondern muss viele denkbare Zukünfte untersuchen.“



Carsten Agert
Institut für Vernetzte Energiesysteme

Mehr auf Seite 40



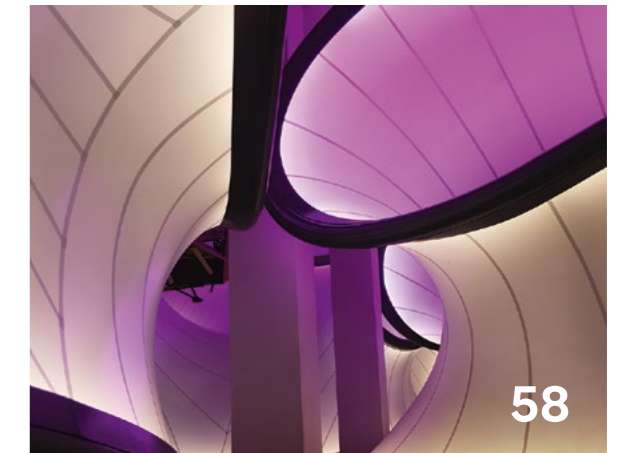
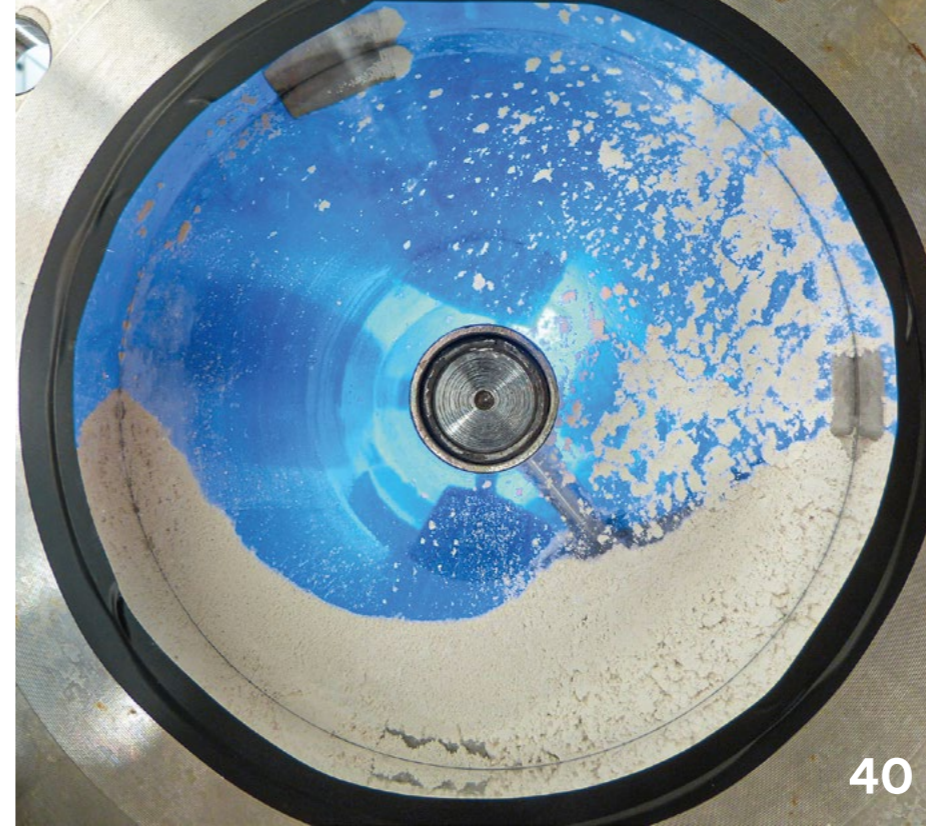
Jessika Wichner
Leiterin des Zentralen DLR-Archivs

„Die Aufarbeitung der DLR-Geschichte ist eine Reise durch die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts mit ‚alten Bekannten‘ zu neuen Zielen.“

Mehr auf Seite 50

Inhalt

DLRmagazin 180



STARTEN

- 06** **Meldungen**
- 09** **Karriere**
Tobias Treichl aus dem Institut für Flugsystemtechnik
- 10** **Robotik in der Luftfahrt**
Mit chirurgischer Präzision unterstützen Roboter bei der Flugzeugwartung.

ENTDECKEN

- 18** **Einblick I**
Mikroalgen auf Mission
- 20** **Menschen im DLR**
Joséphine Koffler will Satelliten nachhaltiger machen.
- 23** **DLR Design Challenge**
Studierendenwettbewerb für neue Luftfahrzeugkonzepte
- 26** **Simulationszentrum**
Im AVES lassen sich verschiedene Luftfahrzeuge testen.

ERKUNDEN

- 30** **Einblick II**
Schneller schrauben
- 32** **Infografik**
DLR-Forschung rund um den Flughafen
- 38** **Emissionsfreier Flughafen**
Ein DLR-Projekt untersucht, wie der Weg dorthin aussehen kann.
- 40** **Interview**
Prof. Carsten Agert über Sicherheit und Resilienz unseres Energiesystems
- 45** **INNOspace Masters**
Wettbewerb für innovative Ideen in der Raumfahrt

LANDEN

- 48** **Einblick III**
Intelligenter Single
- 50** **Aus dem Archiv**
Aufarbeitung der DLR-Geschichte
- 58** **Museumsbesuch**
Das Science Museum in London
- 60** **Medientipps**
- 64** **Marktreif**
Virtuelle Triebwerksentwicklung mit Nyroniq
- 65** **Gute Frage**
Was bringt den Roboter auf die falsche Fährte?

10



Neuer Prüfstand

BREMEN: Das DLR hat einen Prüfstand zur Untersuchung innovativer Steuerflächen von Flugzeugflügeln aufgebaut. Die Tests tragen zur Entwicklung energieeffizienter hochgestreckter Flügel bei. Diese sind deutlich elastischer als herkömmliche Tragflächen. Hierbei helfen intelligente Steuerflächen. Sie verringern die Lasten, die auf die Tragflächen wirken, schnell und gezielt. Im neuen Prüfstand können gleichzeitig bis zu drei Steuerflächen untersucht werden. Er kann Flugmanöver und Böen in Echtzeit simulieren.



06 Hochgestreckter Flügel mit multifunktionalen Steuerflächen

6

Millionen Kilometer lang scheint der Schweif des interstellaren Kometen 3I/ATLAS zu sein. Die Jupitersonde JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer) kam auf ihrem Weg ungeplant in seine Nähe und nutzte dies für Aufnahmen und Messungen.



Testsystem für die solare Kalzinierung

Zement mit Sonnenenergie

Das DLR arbeitet an einem Verfahren zur umweltfreundlichen Herstellung von Zement

Die Zementindustrie ist einer der größten CO₂-Emittenten weltweit. Sie ist für etwa acht Prozent der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich. Dabei stammen rund 60 Prozent aus der Kalzinierung von Kalkstein. Dieser wichtige Prozessschritt benötigt viel Energie und hohe Temperaturen. Die benötigte Wärme wird heutzutage fast ausschließlich mit fossilen Brennstoffen erzeugt.

Emissionen vermeiden

Im Projekt CemSol nutzen Forscherinnen und Forscher des DLR-Instituts für Future Fuels stattdessen solarthermische Hochtemperaturwärme. Dies könnte die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen reduzieren. In der Europäischen Union wäre vor allem ein Einsatz in den südlicheren Regionen attraktiv. Die Forschenden nutzen das sogenannte Calcium-Looping-

Verfahren. Dabei wird freierwerdendes CO₂ im Kalk gebunden. So könnten mit CemSol je nach Anwendungsort mehr als 90 Prozent der CO₂-Emissionen des gesamten Prozesses vermieden werden. Hinzu kommt, dass dieses Kalzinierungsverfahren ein echter Materialkreislauf ist: Es entsteht kein Abfall, es gibt keinen Verlust. Kalziumoxid wird wieder zu Kalziumkarbonat, das erneut kalziniert wird – und das ohne Qualitätsverlust beim Zement.

Erfolgreicher Test im Sonnensimulator

Im Rahmen des Projekts bauten die Forschenden ein experimentelles Testsystem auf, um das Reaktorkonzept zu prüfen – in der Größe nah am für industrielle Anwendungen relevanten Maßstab. Das System wurde im DLR-Sonnensimulator Synlight getestet.

Bilder: S. 06 (rechts oben) DLR; S. 07 (oben) NASA, (unten) stock.adobe.com/Andreas Gruhl

Automatisierung im Nahverkehr

Ein Whitepaper des DLR zeigt, wie der ÖPNV günstiger und attraktiver werden kann

In einer Studie zeigen DLR-Forschende, wie die Automatisierung auf Straße und Schiene den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) attraktiver und günstiger machen kann. Sie untersuchten technologische Entwicklungen und wirtschaftliche Effekte, die entstehen, wenn mit automatisierten Fahrzeugen sowohl das ÖPNV-Netz als auch das Mobilitätsangebot erweitert werden würde. Darauf aufbauend formulieren sie Handlungsempfehlungen für die kommenden fünf bis zehn Jahre.

Modellregionen und Reallabore fördern

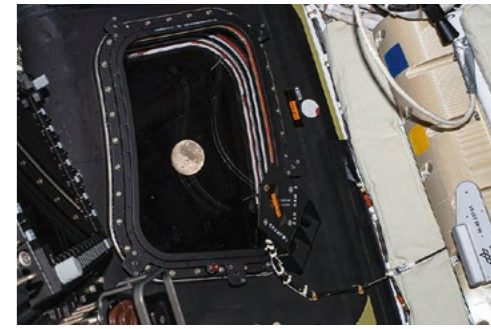
Eine zentrale Aussage der Studie: Automatisierung wird in naher Zukunft wichtig für ein stabiles und leistungsfähiges Verkehrssystem. Besonders im ländlichen Raum kann sie helfen, das Angebot zu sichern und auszubauen. „Für einen schnellen Transfer in die

Praxis müssen wir jetzt Modellregionen und Reallabore ausbauen und die regulatorischen Rahmenbedingungen so modernisieren, dass sie eine schnellere Zulassung ermöglichen“, sagt Prof. Meike Jipp, DLR-Bereichsvorständin für Energie und Verkehr.

Großes Potenzial sehen die Forschenden auch in der Kombination von automatisiertem Schienen- und Straßenverkehr. Nach Berechnungen der DLR-Verkehrsforschung ließen sich so bis zu 33 Prozent der Betriebskosten im Schienenverkehr und mehr als 50 Prozent im straßengebundenen On-Demand-Verkehr einsparen. Gleichzeitig entstünden durch die Automatisierung neue Tätigkeitsfelder und Berufe: in der Teleoperation von Fahrzeugen, der Wartung oder im Software-Betrieb. Außerdem sehen die Forschenden positive Auswirkungen für den Wirtschaftsstandort Deutschland.



Der öffentliche Personennahverkehr ist wichtig für die Mobilität in Deutschland.



Blick auf den Mond aus der Orion-Kapsel. Im Vordergrund der Strahlendetektor M-42 EXT.

Dem Mond so nah

MOND: Mit der NASA-Mission Artemis II flogen nach fast 55 Jahren wieder Menschen Richtung Mond. Nach Verzögerungen gelangen im April der Start vom Kennedy Space Center in Florida sowie knapp zehn Tage später der Splashdown im Pazifischen Ozean. Die Mondumrundung der vierköpfigen Crew im Orion-Raumschiff, das vom Europäischen Servicemodul ESM angetrieben wurde, legt die Grundlage für die weiteren Meilensteine im Artemis-Programm. Mit an Bord: der am Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin entwickelte Strahlendetektor M-42 EXT. Während des Fluges erfassten vier dieser DLR-Dosimeter an unterschiedlich abgeschirmten Stellen in der Raumkapsel die Strahlenbelastung durch schwere Ionen. Diese gelten als besonders gesundheitsgefährdend bei längeren Missionen.

Tausende Szenarien

STUTTGART: Mehr als 11.000 Szenarien für das deutsche Energiesystem berücksichtigt der Modellierungsworkflow, den Forschende aus dem Institut für Vernetzte Energiesysteme im Projekt UNSEEN entwickelten. Bislang basierten solch komplexe Szenarioanalysen auf wenigen Dutzend Varianten. Durch den Einsatz von Supercomputing gelang es, Aspekte wie Kosten, Versorgungssicherheit, Landnutzung, Klimaschutz, Umweltauswirkungen oder Strompreise zu analysieren.

Wechsel im DLR-Vorstand

KÖLN: Zum 1. April 2026 übernahm Stéphane Beemelmans das Amt des stellvertretenden Vorstandsvorsitzenden des DLR. Beemelmans verfügt über Erfahrung als Manager von komplexen Prozessen im öffentlichen Bereich. Er war unter anderem Staatssekretär im Bundesministerium der Verteidigung sowie Geschäftsführer der PD – Berater der öffentlichen Hand GmbH. Sein Vorgänger im Amt war Klaus Hamacher, der diese Position 20 Jahre innehatte.

Schwimmendes Labor

BREMEN/FLensburg/KIEL: Aktuell baut das DLR eine seegängige Technologie-Plattform, mit der man verschiedene maritime Forschungsfragen untersuchen kann. Dazu gehören klimaverträgliche Antriebe, das autonome Fahren sowie Projekte zur Sicherheits- und Verteidigungsforschung. Die Plattform selbst wird 48 Meter lang und 11,5 Meter breit sein und Platz für bis zu 20 Personen bieten. Die mehrtägigen Forschungsfahrten werden vorrangig in der Nord- und Ostsee stattfinden. Nach dem Baubeginn im Februar wird aktuell in Flensburg der Rumpf gefertigt, die Überführung zur Lloyd Werft in Bremerhaven ist für Herbst 2026 geplant. Der Heimathafen des Schiffes wird in Kiel liegen.



Die seegängige maritime Plattform wird auf Forschungsfahrt in Nord- und Ostsee gehen.



Neue Erkenntnisse zur Entstehung von Kondensstreifen

Ruß-Emissionen sind nicht allein verantwortlich

Neueste Erkenntnisse der Atmosphärenforschung zeigen, dass bei der Bildung von Kondensstreifen neben Ruß-Emissionen auch kleine flüssige Partikel eine wichtige Rolle spielen. 2023 hatte das DLR zusammen mit Airbus und CFM International Messflüge mit dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon 20E und einem Airbus A321neo durchgeführt. Nun wurden die Ergebnisse veröffentlicht.

Ursachen der Eiskristalle

Kondensstreifen-Zirruswolken tragen maßgeblich zur Klimawirkung der Luftfahrt bei. Bisher ging man davon aus, dass Rußpartikel die Anzahl der Eiskristalle in Kondensstreifen steuern und damit deren Bildung beschleunigen. Die neuen Erkenntnisse markieren einen Paradigmenwechsel.

Moderne Magerverbrennungs-Triebwerke reduzieren Ruß-Emissionen. In der NEOFUELS/VOLCAN-Messkampagne untersuchten die Forschenden zum ersten Mal deren Kondensstreifen

im Flug. Überraschenderweise lag die Zahl der Eiskristalle in den Kondensstreifen weit über der Anzahl der im Abgas gemessenen Rußpartikel. Stattdessen beobachteten die Forschenden eine große Anzahl flüssiger Partikel. Kraftstoffe mit niedrigem Schwefelgehalt führten zu einer Verringerung der Eiskristallmenge. Bei schwefelarmen Kraftstoffen werden flüchtige organische Verbindungen und Schmieröl-Dämpfe zunehmend wichtig für die Bildung neuer Partikel.



Blick aus der DLR Falcon 20E auf den Airbus A321neo (oben); Eispartikelensensor unter der Falcon-Tragfläche (unten)

Bild: DLR

Mein Job im DLR

Tobias Treichl



Ich entwickle am Institut für Flugsystemtechnik ein Simulationsmodell, mit dem wir untersuchen können, wie Mensch und Maschine physisch miteinander interagieren. Dabei geht es zum Beispiel darum, welche Auswirkungen Turbulenzen auf die Pilotinnen und Piloten haben, die ein Flugzeug mit einem Joystick steuern. Ursprünglich habe

ich Maschinenbau studiert. Das DLR bietet eine weltweit einzigartige Laborumgebung, in der ich meine Ideen ausprobieren und verwirklichen kann. Zudem schätze ich die Vielseitigkeit der Tätigkeiten – sie reichen von der Hardwareprogrammierung über die Simulation bis hin zur Durchführung von Studien.



Join our fascination – die Karriereseite des DLR

An einem ehemaligen Pearl-700-Entwicklungs-triebwerk von Rolls-Royce Deutschland erproben Forschende des DLR-Instituts für Instandhaltung und Modifikation minimalinvasive Inspektion und Reparatur. Das große Ziel: ein Triebwerk irgendwann direkt am Flugzeug warten, ohne es auseinanderzubauen.

Präzise wie ein Chirurg

Endoskopische Roboter
inspizieren und reparieren
auf engstem Raum

von Philipp Czogalla

Wer das Wort Ultraschalluntersuchung hört, denkt vielleicht zunächst an einen Arztbesuch. Für die Medizinerin oder den Mediziner ist die Diagnose mit Ultraschall eine schnell durchführbare, nicht-invasive Methode, die ein Bild vom Inneren des menschlichen Körpers erzeugt. Dieses Bild muss interpretiert werden, bietet sich aber in vielen Fällen als Ausgangspunkt für weitere Diagnostik an.

Auch in der Luftfahrt wird die Inspektion mittels Ultraschall angewendet. Meist sollen Unregelmäßigkeiten im Material aufgedeckt werden – Risse oder Delaminationen etwa, also die Ablösung ganzer Schichten –, die sich bei Nichtbeachtung vergrößern könnten. Die Anforderungen an das Instandhaltungspersonal sind enorm: Da die Ultraschallscanner von Hand über das Bauteil geführt werden müssen, sind Ruhe, Geduld und Konzentration erforderlich. Außerdem braucht es Erfahrung, um Anomalien als solche zu erkennen. Wenn später eine Inspektion wiederholt wird, um zu beurteilen, wie sich ein Defekt entwickelt hat, muss dieser zunächst aufgefunden werden. Einen winzigen, unsichtbaren Riss auf einem meterlangen Rumpsegment wiederzufinden, das zudem oft einfarbig lackiert ist, bedeutet jedoch nicht nur Mühe, sondern stellt auch ein Risiko dar. Was, wenn eine neue Schadstelle versehentlich für die alte gehalten wird und diese den Fachleuten dadurch entgeht?

Um solche Prüfungen einfacher und sicherer zu machen, arbeiten Forschende am Institut für Instandhaltung und Modifikation in Hamburg an der Entwicklung von robotergestützter Ultraschalluntersuchung. Zum Einsatz kommen dabei berührungslose Verfahren.

Um die Schallimpulse auf das Bauteil zu übertragen, gibt es verschiedene Methoden. Bei einer wird eine Piezokeramik auf die Oberfläche geklebt, die diese mit mechanischen Stößen in Schwingung bringt. Eine andere Methode nutzt einen Laser, der sehr kurze, hochintensive Lichtpulse erzeugt und so das Material rhythmisch erwärmt und abkühlt. Durch diese Erwärmung dehnt sich das Material dann minimal wellenförmig aus.

Das Unsichtbare sichtbar machen

Die resultierenden Klänge sind sehr leise und sehr hochfrequent. Mit bis zu zwei Millionen Hertz sind sie für Menschen genauso unhörbar wie für Fledermäuse. Hochspezialisierte Laserultraschallmikrofone jedoch können die Töne aufzeichnen. Wenn ein Roboter die Mikrofone führt, kann eine große Zahl von Messpunkten präzise angefahren werden.

„Bei Aluminium kann man Risse in der Flugzeughaut frühzeitig an der Oberfläche sehen. Bei CFK-Strukturen müssen wir das Unsichtbare sichtbar machen.“

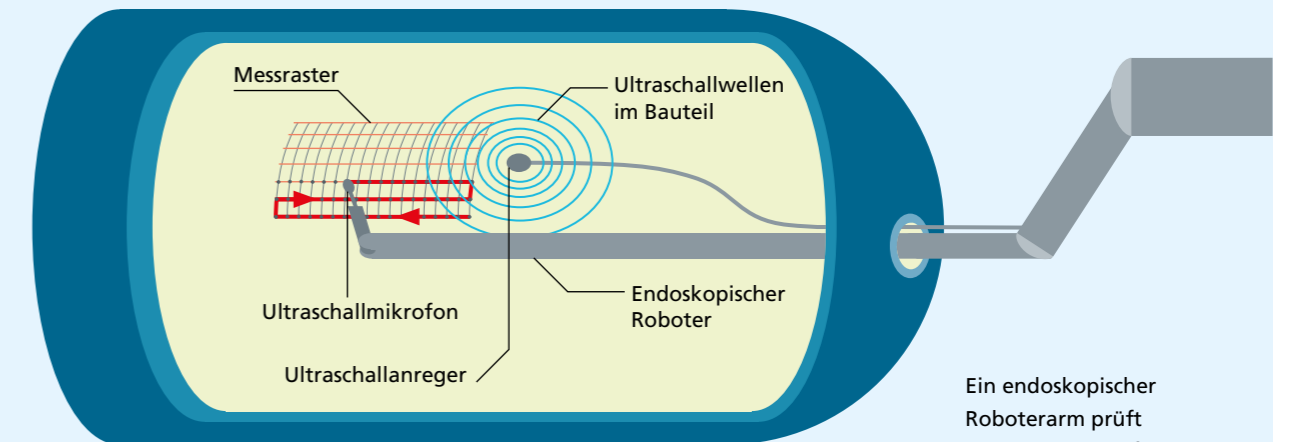
Caspar Wasle, DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation

Das Ergebnis ist dann ein Bild, das auch sehr kleine Unregelmäßigkeiten im Bauteil aufdeckt und bereits erste Einschätzungen über die Natur der Anomalie erlaubt.

Bei neuen Kohlefaserverbundmaterialien (CFK) wird das in Zukunft immer wichtiger, da sich hier ansonsten Delaminationen unbemerkt ausbreiten könnten. „Bei Aluminium kann man Risse in der Flugzeughaut frühzeitig an der Oberfläche sehen“, betont Caspar Wasle. „Bei CFK-Strukturen müssen wir das Unsichtbare sichtbar machen.“ Gemeinsam mit seinen Kollegen hat er bereits einen Miniatur-Wasserstofftank per robotergeführtem Ultraschallmikrofon untersucht – ein bislang einmaliges Unterfangen im Bereich MRO (Maintenance, Repair and Overhaul, deutsch: Wartung, Reparatur und Überholung). Dabei konnte das Team auch Beschädigungen auf der Rückseite des Materials sichtbar machen, an Stellen also, die bei einer gewöhnlichen Instandhaltung gar nicht zugänglich wären.

Die robotische Ultraschallinspektion arbeitet nicht nur ermüdungsfrei und bietet genaue Ergebnisse. Sie liefert auch Ortsdaten, die eine präzise Lokalisation von Schäden am Bauteil erlauben. Diese Auffindbarkeit ist der Schlüssel für die Wirksamkeit aller weiteren Maßnahmen – ein wahrer Game Changer für die MRO. Denn damit wird es zum einen möglich, jede Auffälligkeit präzise lokalisiert an Hersteller zu melden, die diese Daten in künftige Designs einfließen lassen können. Und zum anderen erlaubt dies wiederkehrende beobachtende Prüfungen bestimmter Problemstellen. „Momentan sind Ultraschalldaten häufig noch Wegwerfdaten“, so Wasle. „Wir zeichnen sie in einer Quantität und Qualität auf, mit der man künftig aber ihre Entwicklung beobachten kann.“

Materialschäden mit Schall erkennen



Ein endoskopischer Roboterarm prüft mit einem Mikrofon systematisch, wie sich Ultraschallwellen im Bauteil ausbreiten.



DLR-Wissenschaftler Caspar Wasle bereitet einen Roboter auf eine Ultraschalluntersuchung vor (links).

Ein endoskopischer Roboter prüft ein Bauteil vollautomatisch mit Ultraschall.





Florian Heilemann
im Robotikbereich
des Projektlabors
des DLR-Instituts für
Instandhaltung und
Modifikation

Der Roboter Elise ist modular aufgebaut. Die Länge des endoskopischen Arms und die Anzahl der Gelenke sind variabel. Die Bewegungen werden über Seilzüge gesteuert, die im zylinderförmigen Kontrollmodul verbaut sind.

Magnetfeldsensoren erlauben es, festzustellen, wie die Drehgelenke von Elise ausgerichtet sind. Ist das Endoskop erst einmal in ein Bauteil eingetaucht, ist es essenziell, darüber genau Bescheid zu wissen, um nirgendwo anzustoßen.

Endoskopisch und autonom

Auf den ersten Blick sieht er recht unspektakulär aus. Wobei, dem Namen nach ist „er“ ja eine „sie“: Elise. Schlank und stabförmig, am Ende mit drei Gelenken ausgestattet, die eine freie Bewegung des Kopfes gestatten. Die Auslenkung erfolgt mittels Seilzügen nach dem antagonistischen Prinzip. Das darf man sich vorstellen wie beim menschlichen Arm, der ja ebenfalls durch gegenüberliegende Muskeln – Bizeps und Trizeps – bewegt wird. Der Kopf des Roboters kann Sensoren oder Werkzeuge aufnehmen, je nach Anforderung. Das Besondere an Elise ist jedoch, dass sie endoskopisch operieren kann und somit schwer zugängliche Stellen im Flugzeug erreicht – minimalinvasive Inspektion.

Florian Heilemann, der Elise konstruiert hat, hat sich an Vorbildern aus der Chirurgie orientiert. Dort kommen bereits Roboter zum Einsatz, die minimalinvasive Operationen am Menschen vornehmen und damit vergleichbare Anforderungen erfüllen müssen in Bezug auf Genauigkeit und Verlässlichkeit. Allerdings gibt es einen entscheidenden Unterschied: In der Medizin werden Roboter heute teleoperiert, also von Ärztinnen und Ärzten ferngesteuert. Die Grundlage bildet meist ein Kamerabild. Elise hingegen soll in die Lage versetzt werden, autonom Inspektions- oder Reparaturaufgaben durchzuführen. Das ist ein bedeutender Schritt: Denn während das medizinische Personal den Roboterkopf repositionieren kann, wenn er nicht an der richtigen Stelle ist, soll Elise auch blind operieren können und stets wissen, wo genau sie sich befindet und wie ihre drei Gelenke ausgerichtet sind.

Um eine solche absolute Positionierung zu ermöglichen, verwendet Heilemann sogenannte diskrete Drehgelenke mit Magnetfeldsensoren. Diese können jederzeit, auch nach einer Unterbrechung, ihre genauen Auslenkwinkel feststellen. Damit man immer weiß, was Elise sich gerade ansieht. Den genauen Zustand der Gelenke zu kennen, hat noch weitere entscheidende Vorteile: Dehnungstoleranzen können dem Seilzugsystem nichts anhaben, außerdem kann es mit Vorspannungen beaufschlagt werden. Das ermöglicht eine definierte Kraftausübung des Roboters und erlaubt es darüber hinaus, zu erkennen, wenn der Roboter im Inneren gegen ein Hindernis stößt. Denn dann steigt die Seilspannung stark an und der Roboter gibt eine Rückmeldung. Die Seile verlaufen entlang des Roboterarms bis zu einer kompakten Steuerungseinheit, wo sie von kleinen Elektromotoren aufgewickelt werden. Von hier aus werden die gesammelten Daten kabellos übertragen.

„Wir denken den Hangar wie einen OP-Saal. Je kleiner der Eingriff, desto schneller ist unser Patient wieder in der Luft.“

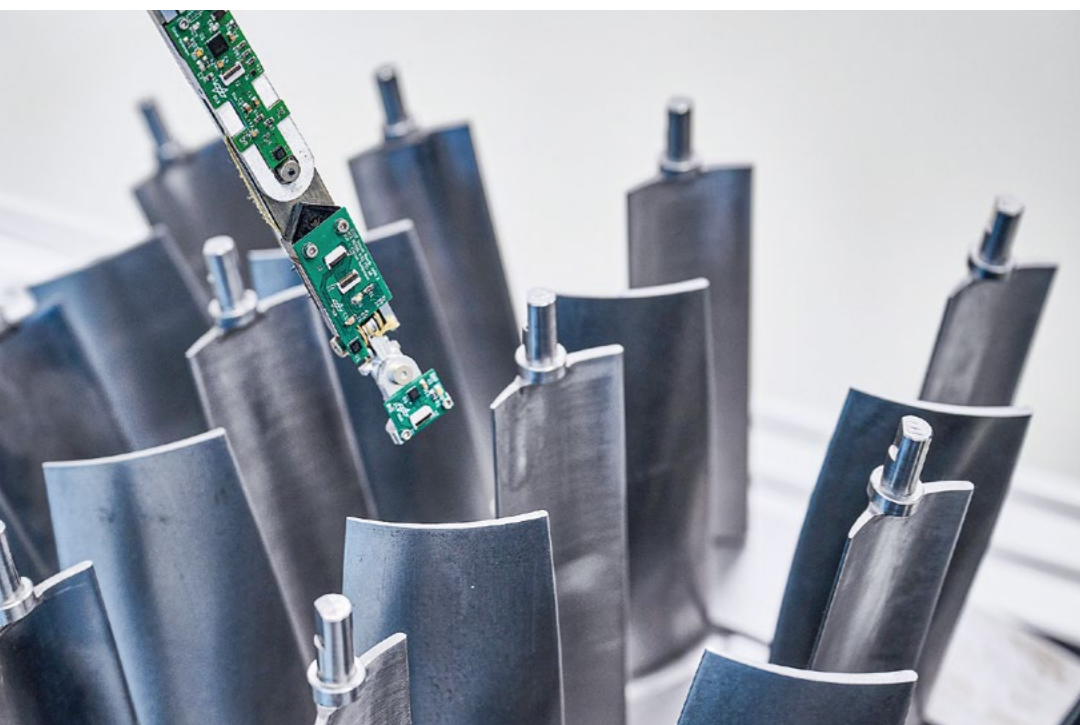
Florian Heilemann, Institut für Instandhaltung und Modifikation

Das ganze Design ist modular aufgebaut. Die Länge der einzelnen Sektionen kann genauso an die Anforderungen angepasst werden wie die Anzahl der Gelenke. Ein weiteres Detail: Der Querschnitt von Elises Arm ist halbrund. So können Kabel, die die Sensordaten zur Steuerungseinheit übertragen, einfach aufgelegt werden. Diese Schlichtheit im Aufbau erlaubt flexible Einsätze bei kurzen Rüstzeiten.

In der Luftfahrt sind viele Einsatzszenarien denkbar. Inspektionen werden dort oft in situ durchgeführt, das bedeutet, dass das Bauteil dabei an seinem ursprünglichen Ort bleibt. Elise könnte also beispielsweise ein Triebwerk untersuchen, das dafür nicht von der Tragfläche abgenommen und nicht auseinandergebaut werden muss. Das kann viele Arbeitsstunden einsparen und helfen, Fehler zu vermeiden. „Wir denken den Hangar wie einen OP-Saal“, sagt Heilemann. „Je kleiner der Eingriff, desto schneller ist unser Patient wieder in der Luft.“

Winzige Meteoritenkrater

Die Inspektion ist jedoch nur die eine Seite der Medaille. Mit endoskopischen Robotern sollen künftig sogar Reparaturen an schwer zugänglichen Stellen durchgeführt werden. Ein besonders komplexes Problem haben sich die Forschenden bereits vorgenommen: das robotergestützte autonome Profilieren von Kompressorschaukeln im Triebwerk. Das Grundproblem ist schnell erklärt. Ein Flugzeugtriebwerk ist in Stufen aufgebaut. Vorne sichtbar ist lediglich der Fan mit seinen großen Schaukeln. Dahinter jedoch folgen in mehreren Reihen zahlreiche Kompressor- und Turbinenstufen mit vielen kleinen Rotorblättern (drehend) und Statorblättern (fest), die den Luftstrom führen. Diese oft nur wenige Zentimeter langen Blades sind im Flug immensen Belastungen ausgesetzt: Sie ertragen Druck- und Zugkräfte, extreme Temperaturschwankungen und



drehen sich teilweise mit Überschallgeschwindigkeit. Bei solchen Geschwindigkeiten wirken auftreffende Sand- und Staubpartikel wie winzige Meteoriten, die auf das Material einprasseln. Selbst Wassertropfen hinterlassen Spuren.

Besonders problematisch ist das für die erste Reihe der Hochdruckkompressor-Blades. Sie bekommen am meisten ab und sind doch entscheidend für die effiziente Arbeit des Triebwerks. „Man kann sich diese Blades wie Küchenmesser vorstellen“, erläutert DLR-Wissenschaftler Fabian Wieczorek. „Wenn sie stumpf sind, schneiden sie nicht mehr sauber durch die Luft.“ Das Ergebnis ist ein um etwa 0,1 Prozent erhöhter Kerosinverbrauch. Das klingt nicht nach viel, macht aber bei einem einzigen Langstreckenflug, bei dem 200 Tonnen Kerosin verbraucht werden, einen Extrabedarf von rund 200 Kilogramm aus. Dazu kommen noch einmal einige Extraliter Kerosin, um die 200 Kilogramm transportieren zu können. Denn jedes Zusatzgewicht bedeutet in der Luftfahrt mehr Treibstoffverbrauch.

Wenn stumpfe Kompressorblades so schlecht sind, was liegt da näher, als sie zu schärfen? Dafür jedoch muss bislang das ganze Triebwerk auseinandergebaut werden. Eine Mammutaufgabe, die viele Arbeitsstunden und viel Geld kostet und daher oft nur im Rahmen der turnusmäßigen Serviceintervalle durchgeführt wird.

30 Messer schärfen, ohne hinzusehen

Im LuFo-Projekt GreenMES (für Green Mobile Engine Services) arbeitet das DLR gemeinsam mit Lufthansa Technik, dem Institut für Flugzeug-Produktionstechnik der Technischen Universität Hamburg sowie der Firma IT Concepts daran, die Blades der ersten Hochdruckkompressorstufe automatisch mittels eines Roboters scharf zu schleifen, ohne dabei das Triebwerk auseinanderbauen zu müssen. Die erste Kompressorstufe hat mehr als 30 Rotorblätter. Etwas zugespitzt formuliert versucht man also, 30 sehr teure Messer direkt im Küchenschrank von einer Maschine schärfen zu lassen, ohne dabei den Schrank weiter als ein paar Zentimeter zu öffnen und ohne hinzusehen.

Und das soll so funktionieren: Zunächst führt ein Roboterarm einen Werkzeugträger mit einer 3D-Kamera in die Instandhaltungsöffnung des Triebwerks ein. Das gelingt nur, wenn er eine genau berechnete Kurvenbewegung ausführt. Der Roboterkopf manövriert durch eine schmale Öffnung zwischen einigen festen Leitschaukeln hindurch und erreicht das erste Rotorblatt. Dieses wird nun dreidimensional vermessen – es entsteht

„Man kann sich diese Blades wie Küchenmesser vorstellen. Wenn sie stumpf sind, schneiden sie nicht mehr sauber durch die Luft.“

Fabian Wieczorek, Institut für Instandhaltung und Modifikation

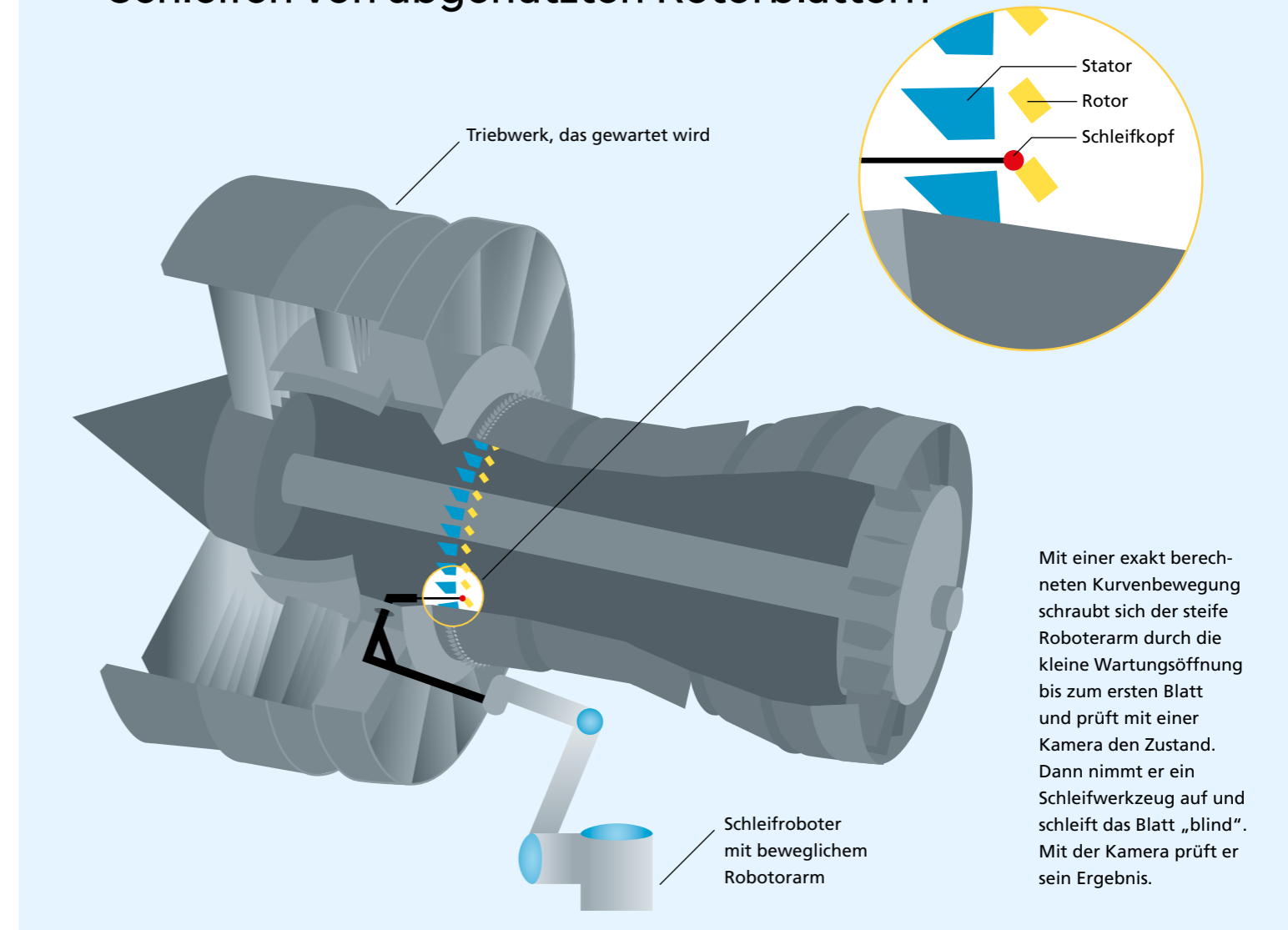
ein hochauflösendes 3D-Modell. Das besondere Augenmerk liegt auf der Vorderkante des Blades. Hier lassen sich winzige Krater erkennen: die Folge von Partikeln, die mit Überschallgeschwindigkeit auf das Metall geprallt sind. Dann ist chirurgische Präzision gefragt: Der Roboter nutzt nun ein Schleifwerkzeug, um das Blade mit genau geplanten, aber minimalen Bewegungen des Roboterarms abzuschleifen. DLR-Forscher Wieczorek programmiert für diesen Ablauf eine Software, die Überwachung und Steuerung des Schleifprozesses erlaubt und ein funktionales Nutzer-Interface besitzt. Der Vorgang von Schleifen und visueller Kontrolle soll mehrmals abwechselnd wiederholt werden, bis das Nennprofil wiederhergestellt ist.

Dafür ist eine genaue Bewegungsplanung des Roboters entscheidend, denn die Vorderkante hat einen Radius von nur 0,3 Millimetern. Das erklärt auch, warum für den Werkzeugträger eine sehr starre Konstruktion ohne Gelenke gewählt wurde: Die geforderte Präzision wäre sonst unmöglich zu erreichen. Entscheidend ist dabei die sogenannte Wiederholgenauigkeit: Der Roboter muss nicht exakt wissen, wo er ist, er muss nur exakt die Position mit dem Werkzeug anfahren, die er zuvor mit der Kamera gesehen hat.

Das macht deutlich: Nur wenn die Entwicklung von Hard- und Software Hand in Hand geht, können Roboter ihr Potenzial entfalten und die Instandhaltungsprozesse vereinfachen. In einem Umfeld wie der MRO, in dem für hochpräzise Messungen, korrigierende Eingriffe und Ergebnisdokumentation oft nur kleine Zugangssöffnungen zur Verfügung stehen, spielt die endoskopische Robotik ihre Stärken aus und hat das Potenzial, die MRO-Branche nachhaltig zu verändern.

Philipp Czogalla verantwortet die Kommunikation im Institut für Instandhaltung und Modifikation. Er freut sich jedes Mal, wenn ihm Kolleginnen und Kollegen ihre neuen Erfindungen zeigen.

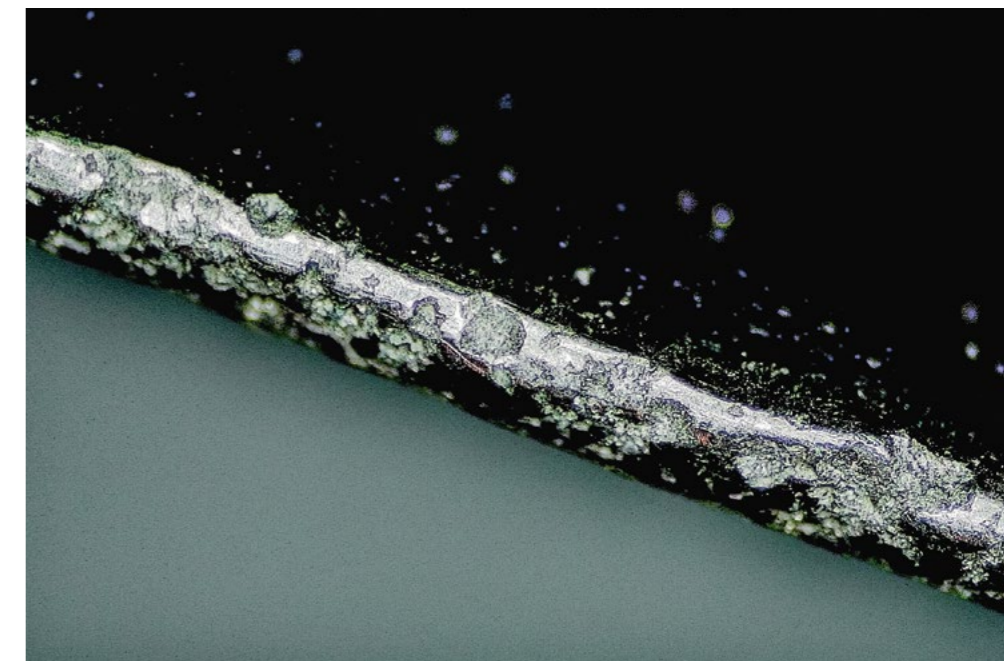
Schleifen von abgenutzten Rotorblättern



Mit einer exakt berechneten Kurvenbewegung schraubt sich der steife Roboterarm durch die kleine Wartungsöffnung bis zum ersten Blatt und prüft mit einer Kamera den Zustand. Dann nimmt er ein Schleifwerkzeug auf und schleift das Blatt „blind“. Mit der Kamera prüft er sein Ergebnis.

Im Projekt GreenMES wird ein Roboter entwickelt, der die Kompressorblätter eines Triebwerks schleift, um diese wieder effizienter zu machen. So muss das Triebwerk zum Schleifen nicht mehr komplett auseinandergebaut werden, was Zeit und Kosten spart.

Mondlandschaft: Unter dem Mikroskop erkennt man, was Staub und Wasser mit der Kompressorschaukel gemacht haben.



Mikroalgen auf Mission

Hier auf der Erde ist die Luft zum Atmen selbstverständlich. Anders sieht es im Weltraum aus. Sollen Menschen im All unterwegs sein, so muss komplizierte Technik ihre Atemluft zur Verfügung stellen und erhalten. Im Raumschiff übernimmt das sogenannte Environmental Control and Life Support System diese Aufgabe. Die TU München entwickelte ein Photobio-reaktorsystem, das Mikroalgen nutzt, die Photosynthese betreiben und so das von Menschen ausgeatmete Kohlendioxid wieder in Sauerstoff umwandeln. Im Bild zu sehen ist ein Ausschnitt des Systems: Die Algen befinden sich in einer Nährflüssigkeit, in die zusätzlich Luft geblasen wird. Getestet wurde dieses Verfahren im Raumfahrt habitat FLEXhab der LUNA-Analog-Anlage in Köln, die gemeinsam von DLR und ESA betrieben wird. Im FLEXhab können unter kontrollierten Bedingungen der Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt der Luft kontinuierlich gemessen werden, ideal für einen Testlauf dieses potenziellen Raumfahrtssystems.

Die Datendetektivin

Joséphine Koffler durchleuchtet Satelliten für mehr Nachhaltigkeit

von Max Braun

20



Die Forschung sucht nach Lösungen, um Weltraumschrott im Erdorbit zu reduzieren. Was genau beim Verglühen eines Satelliten in der Atmosphäre passiert, sollen zukünftige Missionen zeigen.

Joséphine Koffler vom DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation forscht an Konzepten für nachhaltige Satelliten.

Bilder: S. 20 Georg Wendt; S. 21 ESA

Joséphine Koffler war schon früh fasziniert von den Dingen über unseren Köpfen. Aufgewachsen ist sie nahe des Flughafens Straßburg, mit dem immer wiederkehrenden Rauschen der Flugzeuge im Ohr. Im Alter von 17 Jahren saß sie erstmals selbst im Cockpit eines Kleinflugzeugs, machte mit 23 Jahren einen kleinen Flugschein. Seit knapp drei Jahren beschäftigt sich die Materialwissenschaftlerin nun auch mit Objekten, die weit über den Flugzeugen ihre Bahnen um die Erde ziehen.

Am DLR-Institut für Instandhaltung und Modifikation arbeitet die gebürtige Französin an der Frage, wie wir Satelliten im Erdorbit nachhaltiger und langlebiger nutzen können. „In einem Praktikum habe ich das erste Mal über Weltraumschrott gelesen“, erinnert sich Joséphine Koffler. „Mir war vorher nicht klar, wie viele kleine und größere Teile um die Erde kreisen und dass die faszinierende Technik, die wir ins All bringen, so viele Trümmerteile hinterlässt“, ergänzt sie. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Fragmente alter Raketenoberstufen oder abgeschaltete Satelliten. Aktuell sind etwa 1,2 Millionen Teile im Orbit, die größer als ein Zentimeter sind. Diese können auch aktiven Satelliten gefährlich werden. Die entscheidende Frage lautet also: Wie schaffen wir es, in Zukunft möglichst wenig neuen Weltraumschrott zu verursachen?

Ein ganzes Leben

Für Antworten auf diese Frage nutzt Joséphine Koffler das sogenannte Life Cycle Assessment (LCA), auf Deutsch: Lebenszyklusanalyse. Das Besondere an dieser standardisierten Methode ist ihre Vielseitigkeit. Jedes denkbare Produkt kann mittels LCA auf seine Nachhaltigkeit hin

geprüft werden. Vom Joghurtbecher bis zum Satelliten. Die Methode hilft Forschenden, die ökologischen Auswirkungen eines Produkts während seines gesamten Lebenszyklus zu erfassen. Bei einem Satelliten wäre das der Weg vom Abbau der Rohmaterialien und der Produktion über den Flug ins All bis hin zu seinem Betrieb und dem Betriebsende in der Erdumlaufbahn. Während der Analyse wird deutlich, welche der Lebensphasen die größten ökologischen Auswirkungen auf unseren Planeten hat. „Unsere Aufgabe ist es, den Ingenieurinnen und Ingenieuren relevante Informationen für Design, Bau und Nutzung der Satelliten zu geben. So stellen wir sicher, dass wir keine neuen ökologischen Probleme im Weltraum schaffen, die wir in zehn oder 20 Jahren aufs Neue lösen müssen“, erklärt die Wahl-Hamburgerin.

Detektivarbeit im Datenschwungel

Dazu sammelt Joséphine Koffler zunächst Daten über alle Bestandteile des Satelliten. Für ihre Analyse muss sie tief in die weltweiten Lieferketten und Eigenschaften von Aluminium, Titan oder kohlefaserverstärkten Kunststoffen abtauchen – den Materialien, aus denen moderne Satelliten zum Großteil bestehen. In detektivartiger Arbeit sucht sie etwa nach belastbaren Daten zum Wasserverbrauch in der Titanproduktion oder der Toxizität von verglühendem Aluminium. Dazu durchforstet sie unzählige Datenbanken und Studien. „Die größten Herausforderungen bei meiner Arbeit sind die Verfügbarkeit und die Qualität der Daten“, erklärt sie. Denn immer wieder sind Informationen unvollständig, beispielsweise weil sie unter Verschluss sind oder es schlicht noch keine Zahlen zu bestimmten Materialien gibt.

21

Kein Platz für Bauchgefühl

Die Belohnung für ihre kleinteilige Recherchearbeit ist das Gesamtbild, das sich am Ende von Kofflers Analyse zeigt. Häufig zeichnen die Zahlen ein Bild, das bisherige Annahmen komplett über den Haufen wirft. Beim Design von Satelliten achtete man beispielsweise lange darauf, dass sie beim Wiedereintritt in die Atmosphäre möglichst vollständig verglühen, bevor sie auf der Erde ankommen. Durch eine umfassende Lebenszyklusanalyse wurde klar, dass die Umweltauswirkungen durch das vollständige Verbrennen tatsächlich höher sind, als wenn man den Satelliten einfach in den Ozean stürzen lässt. Denn heutige Satelliten bestehen zum Großteil aus Aluminium, das bei großer Hitze schädliches Aluminiumoxid freisetzt. „Das Wesentliche ist für das Auge unsichtbar“, schrieb der französische Schriftsteller und Pilot Antoine de Saint-Exupéry in seinem weltbekanntesten Roman „Der kleine Prinz“. „Ich denke, dass dieser Satz in vielerlei Hinsicht auch auf meine Arbeit zutrifft“, beschreibt die Französin ihre Forschung.

Seit Kurzem wird auch über Holz als nachhaltiges Baumaterial für Satelliten diskutiert. Obwohl bestimmte Materialien als umweltfreundlich wahrgenommen werden, ist ihre Nutzung nicht automatisch schonender für unseren Planeten. „Manchmal verschieben neue Materialien nur die Umweltauswirkungen auf eine andere Phase des Lebenszyklus oder in eine andere Umweltkategorie“, erklärt Joséphine Koffler dazu. Wenn man mit ihr über Nachhaltigkeit spricht, bemerkt man: Anders als bei ihrem Hobby im Cockpit ist bei der Forschung kein Platz für Bauchgefühl.

Bei ihren Analysen taucht Joséphine Koffler tief in Datenbanken über globale Lieferketten und Raumfahrtmaterialien ein.



Lernen von der Luftfahrt

Obwohl das Life Cycle Assessment ein verlässliches Rahmenwerk ist, muss Joséphine Koffler immer wieder Pionierarbeit leisten, wenn sie sich mit möglichst langlebigen Satelliten beschäftigt. „Bisher sind die Satelliten noch nicht dafür gebaut, im Orbit repariert oder nachgetankt zu werden, aber man könnte ihre Lebensdauer auf diese Weise verlängern“, erklärt sie. Denn fast immer sorgt ein Defekt oder ein leerer Treibstofftank für das Missionsende des Satelliten. Sobald der Hightech-Trabant defekt oder sein Tank leer ist, muss ein Ersatz hinauf ins All geschossen werden. Diese Einwegnutzung will die Forschung mit einer gänzlich neuen Wartungsphase im All beenden. In dieser Phase könnte der Satellit aufgetankt und, falls nötig, repariert werden, um ihm ein verlängertes Leben zu schenken. Die Idee stammt aus der Luftfahrtbranche, in der Joséphine Koffler mehrere Jahre als Forscherin und Flugbegleiterin unterwegs war. Besonders bei Verkehrsflugzeugen sind Instandhaltung und Wartung elementare Bestandteile des Produktlebens. Die regelmäßigen Kontrollen sorgen nicht nur für die Sicherheit der Fluggäste, sondern auch für eine jahrzehntelange Lebensdauer der Flugzeuge.

Im All gibt es bisher noch kein etabliertes Verfahren, um das sogenannte On-Orbit-Servicing durchzuführen. Bevor Satelliten für einen solchen „Boxenstopp“ im Erdorbit angepasst werden, muss Joséphine Koffler zunächst herausfinden, unter welchen Umständen sich diese Umstellung überhaupt lohnt. Dafür sucht sie nach dem ökologischen „Break-even-Point“. Konkret bedeutet das: Wie viele Satelliten muss die Tankstelle oder Werkstatt im Erdorbit versorgen, bis sie ihre eigenen Umweltauswirkungen kompensiert hat?

Bis zu einer echten Kreislaufwirtschaft im All wird Joséphine noch viel Zeit mit Berechnungen und Umweltdaten verbringen. Auch im Privaten achtet sie darauf, dass ressourcenschonende Gerichte auf den Tisch kommen, die sie gern mit reparierten Küchenmaschinen aus zweiter Hand zubereitet. „Online kann man schon vieles über den Wasser- und Landverbrauch von einzelnen Lebensmitteln finden“, sagt sie. Und das mit deutlich weniger Rechercheaufwand, als für einen kompletten Satelliten.

Max Braun ist Volontär in der DLR-Kommunikation und Secondhand-Fan. Er findet es wunderbar, dass die Wissenschaft in Zukunft auch Satelliten ein verlängertes Leben schenken will.

Bild: Georg Wendt



Das Team der TU Braunschweig belegte mit seinem Entwurf für das Kurzstreckenflugzeug VoltAirs-95 2024 den zweiten Platz.

Für kreative Köpfe

Seit zehn Jahren entwickeln Studierende neue Luftfahrtkonzepte in der DLR Design Challenge



MITMACHEN

Zu Beginn eines jeden Jahres wird die Aufgabe für die Design Challenge veröffentlicht. Anmelden kann man sich bis zwei Wochen vor der Auftaktveranstaltung im März über den zuständigen Fachbereich der jeweiligen Universität, einzeln oder als Team.

Es geht um technisches Wissen, um Kreativität, Teamarbeit und nicht zuletzt um Spaß: In der DLR Design Challenge entwickeln Studierende Ideen für neue Flugzeugkonzepte. Seit der ersten Ausschreibung im Jahr 2017 sind so Entwürfe für Wasserstoffflugzeuge, Paketdrohnen oder Luftfahrzeuge zur Waldbrandbekämpfung entstanden.

So funktioniert's

Jedes Jahr stellt das DLR eine neue Aufgabe, orientiert an aktuellen Luftfahrtthemen. In vier Monaten entwickeln die bis zu sechsköpfigen Teams ihre Konzeptidee und erarbeiten technische sowie wirtschaftliche Aspekte wie Leistung, Kosten und Betrieb. Ihre Ergebnisse präsentieren sie am Ende vor einer Fachjury aus Institutsleitungen unter dem Vorsitz des Bereichsvorstands Luftfahrt.

Kreativ und umsetzbar

Vor allem muss das Gesamtkonzept überzeugen. Bereits im Flugzeugvorwurf wird berücksichtigt, wie weit Technologien entwickelt sind und welche Anforderungen, etwa bei der Zertifizierung, erfüllt werden müssen. Um die anspruchsvolle Aufgabe zu meistern, müssen verschiedene Disziplinen miteinander verknüpft werden.

Die Erstplatzierten dürfen ihren Entwurf auf renommierten nationalen und internationalen Luftfahrtkonferenzen vorstellen. Dieses Jahr werden die 17 angemeldeten Teams zum ersten Mal von Mentorinnen und Mentoren aus den DLR-Luftfahrt-Instituten mit Fachwissen in Bereichen wie Flugzeugvorwurf oder Antriebsarchitekturen unterstützt. Ihre Aufgabe: den Demonstrator der Zukunft gestalten.

Bild: TU Braunschweig/VoltAirs-95

THEMEN UND GEWINNERKONZEPTE

2017

THEMA:

Flugzeug der Zukunft – Ein leises, emissionsarmes Passagierflugzeug für mindestens 200 Personen oder ein energieeffizientes Überschallflugzeug – beide realisierbar bis 2035



GEWINNER:

Der Urban Liner der TU München hat ein einzelnes Triebwerk, das am Heck zwischen den Leitwerken angebracht ist. Er soll den Energieverbrauch um bis zu 50 Prozent reduzieren.

2019

THEMA:

Regionalflugzeug – Konzepte für kleine Flugzeuge, flexibel einsetzbar für Fracht- und Passagierverkehr, sowohl autonom- als auch pilotengesteuert



GEWINNER:

HyBird, das Kleinflugzeug der Universität Stuttgart, nutzt einen seriell-hybriden Antriebsstrang und elektrisch angetriebene Propeller an den Flügel- und Leitwerkenden. Es wurde im DLR als Demonstrator gebaut und 2023 im Test geflogen.

2021

THEMA:

Wasserstoffflugzeug – Ein mit Wasserstoff betriebenes Kurz- bis Mittelstreckenflugzeug für 150 Passagiere. Wichtig waren auch die Atmosphärenwirkung sowie eine Gesamtenergiebetrachtung.



GEWINNER:

HyZero der RWTH Aachen wird ausschließlich mit flüssigem Wasserstoff betrieben und erzeugt seinen Strom über Brennstoffzellen. Die hochgestreckten Flügel verringern den Luftwiderstand.

2023

THEMA:

Luftfahrzeug zur Wiederherstellung der Internetversorgung bei Katastrophen – Es soll sowohl die Kommunikationswege absichern als auch Erdbeobachtung durchführen können und als Teil einer Flotte in einem System agieren.



GEWINNER:

Das Konzept The Sentinel System der DHBW Ravensburg setzt auf bewährte Technologie. Es soll bis zu 50 Stunden am Stück fliegen können und in der Lage sein, ohne Satellitennavigation zu navigieren.

2025

THEMA:

Innovative Rettungsflugzeuge – Ein Notfall-evakuierungsflugzeug, das bis zu 19 Personen transportieren kann und verschiedene Einsatzszenarien abdeckt.



GEWINNER:

Im Jahr 2025 gewannen zwei Konzepte, AETHER der FH Aachen und ASCLERA der RWTH Aachen. AETHER ist ein vielseitiges zweimotoriges Turboprop-Rettungsflugzeug mit flexibler Kabinenaufteilung. ASCLERA nutzt ein modernes Landeklappen- und Flugsteuersystem, um auch von kurzen Start- und Landebahnen aus operieren zu können.

2018

THEMA:

Umweltfreundliches Fliegen von morgen – Entwürfe, mit deutlich weniger Kraftstoffverbrauch und Emissionen



GEWINNER:

eRAY vom Team der TU München basiert auf einem vollständig integrierten turbo-elektrischen Antrieb mit mehreren elektrisch angetriebenen Fans entlang der Tragflächen sowie einem zusätzlichen Antrieb am hinteren Rumpf.

2020

THEMA:

Paketzustellung – Autonom und zuverlässig operierende Luftfahrtsysteme, die Waren im innerstädtischen Raum zustellen



GEWINNER:

Das unbemannte Luftfahrzeugsystem Urban Ray kommt von der RWTH Aachen. Bei dem Blended-Wing-Body geht der Rumpf fließend in die Tragflächen über. Es ist vollautonom, fliegt elektrisch und hat Rotoren für den Schweben- und den Vorwärtsflug.

2022

THEMA:

Waldbrandbekämpfung – Entwurf einer Flotte von Löschflugzeugen, die untereinander und mit Bodeneinheiten zusammenarbeiten kann



GEWINNER:

INFERNO der Universität Stuttgart nutzt acht horizontale Rotoren, um senkrecht starten und landen zu können, und zwei Propeller für den Vorwärtsflug. Es besitzt einen hybridelektrischen Antrieb und fliegt mit nachhaltigen Flugkraftstoffen.

2024

THEMA:

Klimafreundliches Kurzstreckenflugzeug – ein ökologisches und wirtschaftliches Flugzeug, das ein vorgegebenes Netzwerk an europäischen Regionalrouten bedient; Indienstellung bis 2050



GEWINNER:

Das Kurzstreckenflugzeug CHARGE der TU Berlin wird ausschließlich von Batterien angetrieben. Es soll 110 Passagiere auf einer Strecke von bis zu 894 Kilometern transportieren.

2026

THEMA:

Demonstrator der Zukunft – Ein Flugzeug, mit dem zukünftige Luftfahrttechnologien erprobt werden sollen. Die Abschlussveranstaltung mit Siegerehrung ist am 20. August in Hamburg.

DER WETTEBEWERB
IN ZAHLEN:



70

Teams haben in den letzten zehn Jahren teilgenommen



16

Universitäten und Fachhochschulen waren (und sind) dabei



398

Studierende machten und machen sich Gedanken über neue Luftfahrtkonzepte



20

Teilnehmende fanden anschließend eine Beschäftigung im DLR



Zur Webseite der DLR Design Challenge

Nur Fliegen ist schöner

In der Halle des AVES lassen sich verschiedene
Luftfahrzeuge realitätsnah simulieren

von Daniel Beckmann



26



Das Runde muss ins
Eckige: Eine groß-
zügige Glasfront
gewährt Einblick in
die Simulatorhalle.

Die Module können in
fixierte (im Bild oben
links) und beweg-
liche (unten rechts)
Simulationsplattformen
integriert werden.



Im Simulator werden
Anzeigen, Steuerung
sowie die Wechsel-
wirkung aus Flug-
modell und individu-
ellem Verhalten der
Cockpitbesatzung
getestet.

27

Durch die große Fensterfront des dunkelgrauen, kubischen Gebäudes fällt der Blick in eine hell erleuchtete Halle, in deren Mitte eine haushohe Kugel steht: Schon von außen weckt das Air Vehicle Simulatorzentrum AVES des DLR-Instituts für Flugsystemtechnik in Braunschweig Interesse. Beim Betreten setzt sich das Spiel aus geometrischen Formen, strahlendem Licht und klaren Kontrasten fort. Die Atmosphäre wirkt beinahe klinisch, wie in einem Reinraum. Die weiß-grauen Module ringsum sind beeindruckend groß, geben ihre Funktion aber nicht sofort preis. Erst bei genauerem Hinsehen erkennt man Schriftzüge und Bauteile, die an Luftfahrzeuge erinnern.

Wer die Module betritt, taucht augenblicklich in eine andere Umgebung ein: dunkler, enger, dicht gefüllt mit farbigen Schaltern und Displays. Im vollwertigen Cockpit stellt sich sofort das Gefühl ein, in einem startbereiten Luftfahrzeug zu sitzen. Diese Immersion ist kein Nebeneffekt, sondern ein zentrales Ziel der Anlage. Dr. Holger Duda vom Institut für Flugsystemtechnik und verantwortlich für AVES formuliert es so: „Man soll vergessen, dass man in einem Simulator sitzt.“

AVES ist in seiner Kombinationsvielfalt, Vernetzungsfähigkeit und wissenschaftlich-technischen Ausrichtung weltweit einzigartig. Unterschiedliche Luftfahrzeuge und Missionsprofile lassen sich hier realitätsnah simulieren – ebenso neue Konzepte für Flugsteuerungen, Anflugverfahren oder Assistenzsysteme. Forschenden, Luftfahrzeugbesatzungen sowie Entwicklungs- und Technikteams stehen ver-

schiedene Cockpit- und Arbeitsstationen zur Verfügung. Einige sind stationär in der Halle installiert, die meisten lassen sich jedoch in die kugelförmige, bewegliche Simulatorplattform in der Hallenmitte integrieren. Ihre Anwendungszwecke sind divers, gemein sind ihnen jedoch der hohe Grad an Flexibilität für Soft- und Hardware, die hohe Simulationsgüte und der Fokus auf den Menschen.

Simulation zu Realität und zurück

Wie eng Simulation und reale Flugerprobung miteinander verzahnt sind, zeigt das Projekt LNAS (Low Noise Augmentation System). Darin unterstützten Assistenzsysteme Pilotinnen und Piloten bei leiseren Anflugverfahren – etwa durch möglichst spätes Ausfahren der Landeklappen und des Fahrwerks.

Die Entwicklung begann im originalgetreuen Airbus-A320-Cockpitmodul des AVES. Die Simulationsergebnisse wurden dabei um Lärmkarten ergänzt, die das DLR gemeinsam mit Beteiligten an ausgewählten Flughäfen erstellt hatte. Anzeigen, Steuerung sowie die Wechselwirkung aus Flugmodell und individuellem Verhalten der Cockpitbesatzung wurden so weit ausgearbeitet, bis das Verfahren nahtlos in den realen Flugbetrieb überführt werden konnte. „Die Technik für LNAS können wir im AVES zu annähernd hundert Prozent fertig entwickeln“, sagt Duda. Anschließend wurden die Anflüge mit dem DLR-Forschungsflugzeug Airbus A320 ATRA an den Flughäfen Frankfurt und Zürich getestet und dort später von der Lufthansa im Linienbetrieb weitergeführt.

Auch für das Forschungsflugzeug ISTAR, eine modifizierte Dassault Falcon 2000LX, bildet der Simulator eine maßgebliche Entwicklungsumgebung. Mit dem Flugzeug sollen künftig automatisierte Cockpitsysteme, Assistenzfunktionen sowie optimierte Flugverfahren erprobt werden. Bevor jedoch umfangreiche Umbauten oder Softwareanpassungen erfolgen, entwickeln und erproben Teams aus verschiedenen Bereichen des DLR die entsprechenden Konzepte im Simulator. Die realitätsnahe Nachbildung von Cockpit und Flugeigenschaften schafft für die Besatzung ein vertrautes Umfeld: Standardprozeduren laufen routiniert aus dem Muskelgedächtnis ab, während neue Systeme gezielt beobachtet und bewertet werden können.

Ein wichtiges Ziel ist beispielsweise die Nachrüstung des klassisch hydromechanisch gesteuerten Forschungsflugzeugs mit einer zusätzlichen digitalen Fly-by-Wire-Steuerung. Datenprotokolle, Schnittstellen und Zuverlässigkeit lassen sich vorab im Simulator testen – effizient und ohne Risiko für Mensch und Material. Anschließend wird im realen Flugversuch überprüft, was zuvor am Boden entwickelt wurde. Darüber hinaus lassen sich im Simulator auch völlig andere Luftfahrzeuge darstellen: von stufenlosen Landeklappen über besonders schlanke Tragflächen bis hin zu komplett neuen Flugzeugkonzepten. „Wir können beispielsweise auch einen konzeptionellen modernen Nurflügel-Airliner simulieren“, erklärt Duda.

Aber der Austausch funktioniert in beide Richtungen, denn Messdaten realer Forschungsflüge fließen auch zurück in die Simulationssoftware. So verbessern sie kontinuierlich die Flugmodelle. In manchen Bereichen erreichen diese Modelle inzwischen eine Genauigkeit, die mit der von Herstellerfirmen oder Trainingssimulatoren vergleichbar oder diesen sogar überlegen ist. Die langjährige Transfer-Expertise nutzen auch Industrieunternehmen wie Zulieferer von Software-, Avionik- oder Steuerungssystemen, um gemeinsam mit dem DLR neue Produkte vor ihrer Markteinführung intensiv zu testen und zu optimieren.

Gesteigerte Wahrnehmung im Einsatz

Im Cockpitmodul des Hubschraubers EC135 liegt der Fokus neben neuer Steuerungstechnik auf der Integration neuer Assistenzsysteme. Ein Beispiel ist der Einsatz von Augmented-Reality-Technologien über eine sogenannte HoloLens – eine transparente Brille, die zusätzliche Informationen direkt in das Sichtfeld der Pilotinnen und Piloten projiziert. Bei manchen Flugmanövern bewegen sich Hubschrau-

ber in geringer Höhe durch komplexe Umgebungen in unmittelbarer Nähe von Stromleitungen, Gebäuden, Vegetation oder durch tiefhängenden Nebel. Das stellt ein erhebliches Risiko dar. Digital eingeblendete Flugpfade sowie die Warnung vor Hindernissen durch Lidar-Sensoren unterstützen selbst unter schlechten Sichtbedingungen bei der Navigation und erhöhen die Sicherheit.

Hubschrauber benötigen eine besonders präzise Simulation, da sie sehr sensible Flugzustände wie den Schwebeflug einnehmen können. In früheren Projekten ersetzten die DLR-Fachleute die konventionelle Steuerung deshalb bereits durch eine sogenannte Fly-by-Light-Technologie. Dabei werden Steuerbefehle über Glasfaserleitungen statt Kupferkabel oder gar Seile übertragen. Auch hier begann die Entwicklung im Simulator, bevor sie in den realen Flying Helicopter Simulator (FHS) – den EC135-Forschungshelikopter des DLR – übernommen wurde.

Arbeitslast und Passagierkomfort

Im jüngsten Simulator des AVES ist das Cockpit einer D328 von Deutsche Aircraft nachgebildet. Abgesehen von den grundlegenden physischen Steuerelementen überwiegen großformatige Displays. Dies ist in modernen Flugzeugen zunehmend Standard, ermöglicht aber auch eine hohe Flexibilität bei der Darstellung von Funktionen und Informationen. Mit diesem Modul werden unter anderem Single-Pilot-Operations in der zivilen Luftfahrt erforscht. Neben sicherheitstechnischen Fragen spielt vor allem die Belastung des einzelnen Besatzungsmitglieds eine zentrale Rolle: Ermüdung, eintönige Phasen oder zusätzliche Aufgaben müssen ausgeglichen werden. Das DLR entwickelt dafür Assistenzsysteme, die beispielsweise mithilfe künstlicher Intelligenz die Arbeitslast reduzieren, die Aufmerksamkeit durch visuelle oder akustische Signale steigern und die Übersicht im Cockpit verbessern. Auch organisatorische, physische und psychische Aspekte wie Schicht- und Ruhezeiten, Monotonie und Stimulation werden in den Studien berücksichtigt.

Eine besondere Rolle spielt die eingangs erwähnte Kugel: Mehr als 60 Rechner und 15 Projektoren schaffen ein Sichtfeld von 240 Grad und versetzen das Modul samt Insassen in Bewegung. Diese als „Motionsimulator“ bezeichnete Anlage vermittelt in vielen Experimenten durch Roll- und Hubbewegungen ein realistisches Gefühl für Fluglagen oder Turbulenzen. Ihr Potenzial entfaltet sie jedoch besonders dann, wenn das Kabinenmodul integriert ist. In dieser beweglichen Passagierkabine können bis



A320-Cockpitmodul mit Zusatzbildschirmen unter anderem für das Piloten-assistenzsystem LNAS

Virtuelle Fenster vermitteln eine ausgewählte Außenwelt.

Das ISTAR-Cockpitmodul bietet geräumige Operator-Plätze zur Beeinflussung der Simulation und Szenerie.



zu 16 Probandinnen und Probanden an Studien teilnehmen. Untersucht wird hier der Passagierkomfort, etwa die Wahrnehmung von Turbulenzen oder die Akzeptanz von virtuellen Außenansichten. Die Kabine besitzt keine klassischen Fenster, sondern Monitore, die die Außenwelt basierend auf live übertragenen Kamerabildern darstellen. Ergänzend kommen Virtual-Reality-Brillen zum Einsatz, die völlig unterschiedliche Umgebungen oder gar den Blick durch das Luftfahrzeug hindurch visualisieren können. Gerade hier verschmelzen reale, virtuelle und erweiterte Realität besonders deutlich.

Mit intensiver Immersion, modularer Architektur, hoher Realitätsnähe und der engen Verzahnung von Simulation und realem Flugbetrieb bietet das AVES eine außergewöhnliche Forschungsumgebung für die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine. Die Zukunft der Luftfahrt lässt sich nirgendwo realistischer erfahren.

Daniel Beckmann ist Luftfahrtenthusiast und verantwortet das Corporate Design des DLR. Im Vergleich zum heimischen Flugsimulator reflektiert er seine Erfahrung im AVES als intensives Workout.





30

31

Schneller schrauben

Diese Transporthubschrauber sind sehr schnell unterwegs – mit Geschwindigkeiten bis zu 450 Kilometer pro Stunde. Zum Vergleich: Im Durchschnitt liegt die Höchstgeschwindigkeit von Helikoptern unter 300 Kilometer pro Stunde. Das Konzept dieses High-Speed-Rotorcraft, kurz HSR, wurde am DLR-Institut für Flugsystemtechnik entwickelt. Aktuell untersuchen viele Länder Konzepte für mittelschwere Transporthubschrauber mit erhöhter Flugeschwindigkeit. Das Besondere am HSR ist, dass es Tragflügel, Propeller und Steuerflächen nutzt. Bei herkömmlichen Hubschraubern erzeugt der Hauptrotor den Auftrieb. Kombinationsflugschrauber wie der HSR übertragen Last auf die Flügel. So erreicht der Rotor höhere Betriebsgrenzen. Diese mittleren Transporthubschrauber sollen in Bezug auf Nutzlast und Reichweite identisch mit aktuellen Modellen sein – nur eben wesentlich schneller.

Am Drehkreuz der Mobilität

Die DLR-Flughafenforschung dreht sich um mehr als Technik

32

Flughäfen sind Drehkreuze der globalen Mobilität. Sie verbinden Menschen, Märkte und Ideen und prägen die Entwicklung ganzer Regionen und Volkswirtschaften. Doch Wachstum im Luftverkehr birgt auch Herausforderungen: Lärm, Emissionen, Flächennutzung und komplexe Betriebsabläufe müssen so gestaltet werden, dass sie wirtschaftlich sinnvoll, klimaverträglich und für Anwohnende akzeptabel sind.

Die Institute des DLR untersuchen Flughäfen als komplexe Systeme: von Abläufen am Boden und in der Luft über Infrastruktur und Regulierung bis hin zu den Auswirkungen auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Sie entwickeln neue Technologien, optimieren Prozesse und analysieren, wie sich geplante Maßnahmen auf den Flughafenbetrieb auswirken. Unsere Forschung liefert wissenschaftliche Grundlagen für Entscheidungen in Politik, Luftverkehrswirtschaft und Industrie.



„Die nächsten fünf Jahre sind für Flughäfen die kritische Umsetzungsphase“

Dr. Markus Fischer, DLR-Bereichsvorstand Luftfahrt

Die Fragen stellte die Redaktion.



AUFKLAPPEN UND EINTAUCHEN

Infografik zur DLR-Flughafenforschung



Bild: DLR

Herr Fischer, wie werden sich Flughäfen in Zukunft entwickeln?

Die Flughäfen der Zukunft werden nicht mehr nur Start- und Landebahnen sein, sondern hochgradig vernetzte, digital gesteuerte Mobilitäts-Hubs, die mit emissionsfreien Bodenfahrzeugen, KI-optimierten Flugrouten und einer energieeffizienten Infrastruktur arbeiten. Flughäfen werden zu klimaverträglichen Knotenpunkten der zukünftigen Mobilität – leise, emissionsfrei und digital vernetzt.

33

Welche Rolle spielt die Forschung des DLR dabei, und wie legen wir fest, was wir erforschen?

Die DLR-Forschung ist der Architekt dieses Wandels: Wir wählen Themen nach ihrem Klimawirkungspotenzial, der höchsten Systemrelevanz und ihrer Wirtschaftlichkeit aus – immer im engen Dialog mit Industrie, Politik und Gesellschaft.

Welche Veränderungen werden wir Ihrer Meinung nach innerhalb der nächsten fünf Jahre sehen?

Die nächsten fünf Jahre sind die kritische Umsetzungsphase: Wir stellen die digitale Infrastruktur, die regulatorischen Rahmenbedingungen und die ersten Demonstratoren bereit, die die Luftfahrt bis 2050 klimaverträglich machen. Durch die enge Verzahnung von Forschung, Industrie und Politik schaffen wir die Voraussetzungen dafür, dass bereits heute sichtbare Verbesserungen den Alltag an unseren Flughäfen prägen: Zero-Emission-Taxiing, Einsatz von SAF (Sustainable Aviation Fuels, nachhaltige Flugkraftstoffe), klimawirkungsoptimierte Routen und digitale Zwillinge.

Vielen Dank für das Gespräch.

DLR-Forschung rund um den Flughafen

ZUG ZUM FLUG
Simulationen zeigen die optimale Einbindung von Flughäfen in das Mobilitätssystem.

TERMINALPROZESSE ANALYSIEREN
Das betrifft Wartezeiten, Warteschlangenlängen, Kostenstruktur, Wechselwirkungen, Energieverbrauch, Boarding, Infektionsrisiken, aber auch die Entwicklung neuer digitaler Managementsysteme.

FINANZSTRÖME
Wir analysieren betriebswirtschaftliche Aspekte wie Investitionen, Wirtschaftlichkeit, Entgeltstrukturen, Einnahmen sowie den Wettbewerb zwischen Verkehrsträgern. Und wir unterstützen bei der Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen.

DROHNENABWEHR
Wir erforschen, wie Angriffe detektiert und abgewehrt werden können und wie sich Störungen des Flughafenbetriebs auswirken.

LAGEBILD
Autonome Drohnen oder Rover könnten zukünftig Daten für ein dynamisches KI-Lagebild sammeln. Mit diesem kann der Flughafen gesichert werden.

LUFTTAXIS UND DROHNEN
Wir erforschen die Integration in den Flughafenbetrieb.

HUBSCHRAUBER
Wir entwickeln Verfahren für automatische vertikale Starts und Landungen.

WARTEZEITEN
Neue Systeme für die Verkehrsführung am Boden und für Abflugsequenzen verkürzen Wartezeiten mit laufenden Triebwerken. Andere machen Lotsinnen und Lotsen Routenvorschläge. KI-basierte Vorhersagen verbessern Rollrouten und erhöhen die Kapazität.

PASSAGIER-, FRACHT- UND FLUGAUFKOMMEN PROGNOSTIZIEREN
Weltweit und für einzelne Flughäfen entwickeln wir Prognosen. So beantworten wir Fragen zu Betrieb, Investitionen oder Infrastrukturentwicklung.

FLUGLÄRM
Er entsteht an vielen Komponenten: Triebwerken, Fahrwerken oder Landeklappen. Wir erforschen die Schallquellen und entwickeln Lärmreduzierungsmaßnahmen.

ELEKTRISCH SCHLEPPEN
Wenn Flugzeuge mit abgeschalteten Triebwerken zum Start gerollt werden, spart das Treibstoff. Wir erproben die Koordination autonomer, elektrischer Schleppfahrzeuge, Batteriefahrzeuge auf dem Vorfeld sowie die mögliche Anpassung von Flughafenprozessen.

EMISSIONEN
Messungen zeigen, wie neue Triebwerkstechnologien und nachhaltige Flugkraftstoffe Emissionen und Luftqualität beeinflussen.

NEUE SCANNER-TECHNOLOGIEN
Sie sorgen für Sicherheit rund um Passagiere, Gepäck und Fracht.

BETANKUNG
Smarte Sensoren überwachen die Treibstoffzusammensetzung und liefern Informationen, zum Beispiel für Triebwerkeinstellungen oder Flugrouten. Dies wird mit zunehmender Vielfalt der Flugkraftstoffe wichtiger.

PROGNOSEN ZU LÄRM UND EMISSIONEN
Sie sind essenziell, um gesundheitliche Risiken für Anwohnende zu minimieren.

NEUE ENERGIETRÄGER UND -INFRASTRUKTUREN
Analysen zeigen die Auswirkungen neuer Flugzeugtechnologien und Energiefelder. Roadmaps zur Dekarbonisierung zeigen beispielsweise Wege zur Einführung von Wasserstoff an (mittelgroßen) Flughäfen.

KAPAZITÄTEN
Wir bewerten zukünftige Auslastungen von Start- und Landebahnen weltweit und identifizieren Kapazitätsengpässe. Auch erforschen wir die Nutzung naher paralleler Bahnen zur Erhöhung der Kapazität.

DIGITALER FLUGFUNK
Wir sind an der Entwicklung von LDACS (L-band Digital Aeronautical Communications System) beteiligt, dem kommenden Standard für den digitalen, terrestrischen Flugfunk.

REMOTE TOWER
Sie überwachen Flughäfen mit Kameras und steuern sie aus der Ferne. So lassen sich auch kleinere Flugplätze flexibler betreiben.

SCHUTZ UND RESILIENZ
Neue Systeme und Konzepte erhöhen die Sicherheit bei Cyberangriffen und Krisen wie Extremwetter.

FLUGSICHERUNG
Automatisierung entlastet Flugsinnen und -lotsen, beispielsweise durch Spracherkennung. Wir erforschen, wie KI und Mensch sicher, vertrauensvoll und effektiv zusammenarbeiten können.

VOGELSCHLÄGE
Ein neues System kann vor Vogelschlägen warnen und Starts entsprechend verzögern. Außerdem arbeiten wir an der Prognose kritischer saisonaler Vogelzüge.

BOIL-OFF-VERLUSTE
Wir erforschen deren Minderung und Rückgewinnung, da beim Transfer von flüssigem Wasserstoff bis zu 15 Prozent der Transfermenge verdampfen können.

CHECKS UND REPARATUREN
Wir forschen an digitalen Diagnosetechnologien und robotischen Assistenzsystemen. So werden Abläufe bei der Instandhaltung schneller, sicherer und effizienter.

INSPEKTIONEN
Unsere Rechenmodelle können voraussagen, wann Komponenten zur Inspektion müssen. Das vermeidet unnötige Reparaturen.

EFFIZIENTE FLUGFÜHRUNG
Sie mindert Lärm- und Umweltbelastungen in der Sink- und Landephase. Dabei werden auch kleinere Flughäfen mit einbezogen.

ASSISTENZSYSTEME
Tools zur Präzisionsführung von Flugzeugen unterstützen das Energiemanagementsystem und reduzieren Lärm und Treibstoff.

WIRBELSCHLEPPEN
Stellwände neben der Landebahn (Plate Lines) lösen Wirbelschleppen landender Flugzeuge schneller auf.

Luftverkehr verstehen, steuern und gestalten



VOLKSWIRTSCHAFT
Wir führen volkswirtschaftliche Analysen zu Treibern und Auswirkungen des Luftverkehrs sowie zur Rolle von Flughäfen als Standort- und Wachstumsmotoren durch. Dabei berücksichtigen wir die Effekte auf Gesellschaft, Wertschöpfung und Beschäftigung.



REGULIERUNG
Mit ökonomischen Analysen unterstützen wir politische Entscheidungen wie Steuern, Slotvergabe und Nachtflugverbote. Wir zeigen Optionen für effizientere Regulierung auf – inklusive Effizienzpotenziale und Fehlanreize.



MARKTPOTENZIALE
Wir vergleichen die Leistungsfähigkeit verschiedener Airlines und Flughäfen und optimieren Prozesse und Geschäftsmodelle.



FLUGHAFENMANAGEMENT
Wir erforschen die Zusammenarbeit von Flughafen, Airlines, Bodenverkehrsdiensten und Flugsicherung sowie die Leistungssteigerungen des Gesamtsystems. Was-wäre-wenn-Analysen helfen bei der Bewältigung von Ausnahmesituationen.

Tief durchatmen!

Der Weg zum emissionsfreien Flughafen

von Florian Piekert



38

Den Ausstoß klimaschädlicher Gase zu senken und die Erderwärmung zu bremsen gehört zu den größten Herausforderungen unserer Zeit. Besonders anspruchsvoll wird dies an einem Ort, an dem viele Verkehrswege zusammenlaufen. Flughäfen sind solche Orte: hochsensible Knotenpunkte mit strengen Sicherheitsanforderungen und eng getakteten Abläufen. Rund 83 Prozent der dortigen Emissionen werden durch den Flugbetrieb und die Passagierbeförderung verursacht. Aber auch der Flughafen selbst, seine Gebäude und die verwendete Technik führen zu Emissionen. Die deutschen Flughäfen haben sich das

Eine Forscherin erprobt im Tower-Simulator zusammen mit einem Lotsen neu entwickelte Prozeduren und Unterstützungssysteme für das Schleppen bis zur Startbahn.

ehrgeizige Ziel gesetzt, bis 2045 klimaneutral zu werden.

Klimawirkung sofort erzielen

Das DLR-Projekt „THOR – Towards Zero Emission Airports“ untersucht seit 2023, wie dieses Ziel erreicht werden kann. Dabei geht es nicht um ferne Zukunftstechnologien und Basisforschung, sondern um konkrete und umsetzbare Maßnahmen. Der Ansatz: Vorhandene Technologien werden intelligent kombiniert, betriebliche Abläufe auf die Klimawirkung fokussiert und alle Auswirkungen ganzheitlich betrachtet.

Bild: DLR



Hier geht es zu den Projektergebnissen

Ein Beispiel liefern die Flugzeuge selbst. Die Triebwerke moderner Maschinen sind wahre Kraftpakete. Ein Airbus A320 bringt es auf eine Gesamtleistung von rund 60.000 PS. Doch beim Rollen am Boden wird diese enorme Leistung gar nicht benötigt: Auf dem Weg zur Startbahn bewegen sich Flugzeuge selten schneller als Autos im Stadtverkehr. Deshalb: Warum die Maschinen nicht mit den vorhandenen Flugzeugschleppern bis zur Startbahn ziehen? Was einfach klingt, ist in der Praxis hochkomplex. Flugzeuge müssen ihre Triebwerke rechtzeitig vor dem Start anlassen, um zu prüfen, ob alle Betriebsparameter im grünen Bereich sind. Gleichzeitig braucht es

ausreichend Personal und Fahrzeuge, um die oft langen Wege auf dem Flughafengelände zu bewältigen. Durch neue Planungsmethoden und eine intelligente Koordination der Schleppvorgänge konnte das DLR in einer umfangreichen Versuchskampagne gemeinsam mit Lotsinnen und Lotsen zeigen, dass das Konzept funktioniert. Am Flughafen Hamburg würde es beispielsweise täglich rund 28 Tonnen CO₂ einsparen.

Intelligenter Einsatz von SAF

Ein weiteres Beispiel zeigt, wie groß die Wirkung kleiner Veränderungen sein kann. Nachhaltige Flugkraftstoffe, sogenannte Sustainable Aviation Fuels (SAF), gelten als Schlüssel für klimafreundlicheres Fliegen. Doch aktuell sind sie nur begrenzt verfügbar. Deshalb schreibt die EU zunächst eine Beimischung von zwei Prozent vor, die bis 2050 schrittweise auf 70 Prozent steigen soll. Die Forschenden im THOR-Projekt gingen einen anderen Weg: Statt den knappen Treibstoff gleichmäßig auf alle Flüge zu verteilen, untersuchten sie, wo er den größten Effekt hat. Das Ergebnis: Wenn SAF gezielt bei den fünf Prozent der Flüge eingesetzt wird, die besonders klimawirksam sind, ließen sich die Effekte um etwa 30 Prozent stärker senken als bei einer gleichmäßigen Verteilung.

Neben solchen Maßnahmen haben die Forschenden der beteiligten DLR-Institute viele weitere Ansätze beleuchtet: von der Wasserstoffnutzung am Flughafen über eine umweltoptimierte Planung von Versäptungen und Flugstreichungen bis hin zur Reduktion des Energieverbrauchs in Terminals. All diese Bausteine wurden schließlich zu einem großen Zukunftsplan zusammengeführt, einer Roadmap für den klimaneutralen Flughafen. Gemeinsam mit dem Flughafenverband ADV, großen deutschen Flughäfen wie Köln/Bonn, München und Berlin sowie Fluggesellschaften wurde dieser Plan diskutiert und weiterentwickelt.

Das Ergebnis zeigt: Der Weg zur Klimaneutralität ist kein einzelner großer Durchbruch, sondern eine Vielzahl gut durchdachter, aufeinander abgestimmter Schritte.

Florian Piekert erforscht am Institut für Flugführung seit vielen Jahren, wie sich Flughäfen durch kluge Management-, Entscheidungs- und Sicherheitskonzepte effizienter und robuster machen lassen.

39

„Das Energiesystem muss unabhängiger werden!“

Prof. Carsten Agert über Sicherheit und Resilienz unseres Energiesystems

Die Fragen stellte Denise Nüssle.



Bild: DLR

In den vergangenen 25 Jahren hat sich unser Energiesystem fundamental gewandelt, vor allem durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und den Ausstieg aus der Kernenergie. Gleichzeitig zeigen die Kriege in der Ukraine und im Iran, wie abhängig Deutschland und Europa immer noch von Erdöl und Erdgas sind. In Krisensituationen belasten enorm gestiegene Energiepreise Wirtschaft und Gesellschaft besonders. Hinzu kommen neue Gefahren wie Sabotage oder Cyberangriffe. Was braucht es angesichts dieser Herausforderungen, um unser Energiesystem sicherer und resilienter zu machen? Darüber spricht Prof. Carsten Agert, Direktor des DLR-Instituts für Vernetzte Energiesysteme, im Interview.

Was versteht man unter einem sicheren und resilienten Energiesystem?

Das Energiesystem ist eine wichtige Grundlage unseres gesellschaftlichen Zusammenlebens. Erst bei größeren Ausfällen – wie Anfang des Jahres in Berlin aufgrund eines Kabelbrands – realisieren wir, wie unverzichtbar eine funktionierende Energieversorgung ist. Deshalb müssen wir uns stärker um Resilienz und Sicherheit unseres Energiesystems kümmern. Unter Resilienz versteht man die Fähigkeit, Störungen zu kompensieren, die Funktionsfähigkeit auch bei schwierigen Bedingungen aufrechtzuerhalten, zu lernen und sich anzupassen. Sicherheit beschreibt in diesem Zusammenhang den Schutz vor Bedrohungen wie Cyberangriffen oder Sabotage.

Das Energiesystem umfasst viel mehr als die Stromversorgung, das vergessen wir oft. Es ist auch eine wichtige Grundlage für unsere Mobilität und Kommunikation. Es ermöglicht den Transport von Waren und versorgt uns mit Wärme. Je mehr wir fossile Energieträger durch Strom aus erneuerbaren Ressourcen ersetzen, desto effizienter und sektorenübergreifender können wir agieren: Strom, Wärme, Gasversorgung und die daran anschließenden Verbrauchsfelder – vorneweg der Verkehr – sind dann eng verflochten. So erhalten wir mehr Flexibilität bei der Energienut-

zung, bis weit hinein in industrielle Prozesse. Das hatten wir mit den bisherigen Parallelstrukturen für Strom, Öl und Gas nicht.

Was hat sich in den vergangenen Jahren verändert und welche Herausforderungen bringt das mit sich?

Grundsätzlich hat sich der Fokus bei der Weiterentwicklung unseres Energiesystems verschoben. Bislang ging es vor allem um Aspekte wie Bezahlbarkeit und Klimaschutz. Mittlerweile stehen auch Sicherheit und Resilienz weit oben auf der Agenda. Das stellt uns vor eine doppelte Herausforderung, denn der Umbauprozess des Energiesystems erfolgt im laufenden Betrieb. Trotzdem darf es zu keinen größeren Ausfällen kommen. Angesichts der aktuellen Sicherheitslage müssen wir uns zudem viel intensiver mit dem Schutz von Anlagen und Infrastruktur auseinandersetzen.

Im Vergleich zu früher gibt es in unserem Energiesystem mehr und vielfältigere Akteure, die elektrische Energie erzeugen und einspeisen. Die Menge an Energie aus erneuerbaren Quellen kann tages- und jahreszeitlich sowie witterungsbedingt schwanken. Als Folge benötigen wir mehr und flexiblere Speichermöglichkeiten und eine moderne Infrastruktur. Diese muss die Komponenten des Systems intelligent miteinander und mit anderen Sektoren – Mobilität oder Industrie – vernetzen. Auch die Steuerung und Regelung eines solchen Energiesystems ist wesentlich anspruchsvoller.

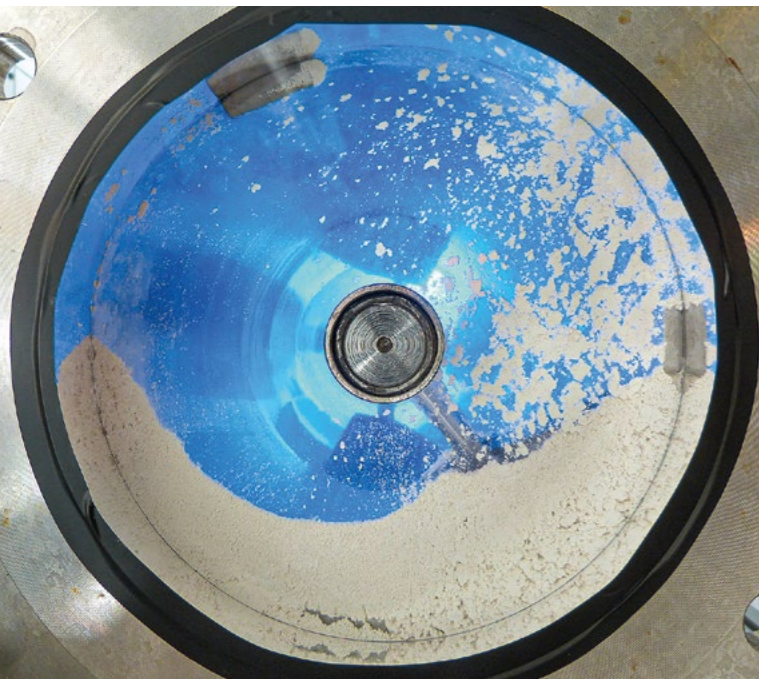
Gleichzeitig stehen politische Entscheidungen an, welche strategische Richtung wir technologisch und wirtschaftlich einschlagen – etwa beim Thema Wasserstoffwirtschaft und bei der Wärmeversorgung. Investitionen im Energiesektor sind langfristig und Vorhaben lassen sich nicht von heute auf morgen umsetzen. Anlagen und Infrastruktur werden über Jahrzehnte im Betrieb sein und sich meist erst mittel- bis langfristig rechnen. Deshalb sind verlässliche regulatorische Rahmenbedingungen elementar.

CARSTEN AGERT

... ist seit 28 Jahren in der Energieforschung aktiv und hat sich als Physiker in dieser Zeit unter anderem mit Solarzellen-Materialien, Brennstoffzellensystemen, elektrischen Energietechnologien und Systemanalysen beschäftigt. Er berät regelmäßig und in unterschiedlichen Funktionen die Politik auf Landes- und Bundesebene zu Entscheidungen im Energiebereich. Fossile Energie nutzt er seit Langem nur noch für sein indisches Motorrad.



Carnot-Batterien speichern Strom in Form von Wärme. Das DLR und das CHESTER-Konsortium (Compressed Heat Energy Storage for Energy from Renewable Sources) bauten die weltweit erste Carnot-Batterie auf Basis von Dampfkraft-Prozessen.



Blick in den Reaktor eines thermochemischen Kalkspeichers. Durch die chemische Reaktion von Kalk und Wasser wird Wärme frei. Mit solchen Anlagen lassen sich Gebäude flexibel sowie unabhängig von Öl und Gas heizen (links).

Am DLR werden verschiedene Einsatzmöglichkeiten für Wasserstoff erforscht, beispielsweise für den Betrieb von Brennstoffzellen. Wasserstoff eignet sich zur Speicherung von Energie, aber auch für den effizienten Einsatz im industriellen Bereich (rechts).

Bei Katastropheneinsätzen werden aktuell häufig Dieselgeneratoren eingesetzt. Im Projekt RESCUE entwickelt ein Konsortium aus Industrie und Forschung ein Notstromaggregat auf Basis einer Brennstoffzelle, die sowohl mit Wasserstoff als auch mit Methanol betrieben werden kann. Das DLR testet diese gemeinsam mit dem THW.



Bild: S. 42 (unten) THW

Am Ende vieler unserer Studien und Forschungsarbeiten steht, was wir in der Fachsprache als Transformationspfade bezeichnen: eine wissenschaftlich basierte Auswertung, welche Optionen wir haben, um unser Energiesystem weiterzuentwickeln. Damit liefern wir Politik und Wirtschaft eine Grundlage, um solide und zukunftsfähige Entscheidungen zu treffen.

Welche Bedeutung hat das Thema Rohstoffe und deren Verfügbarkeit?

Für viele Zukunftstechnologien im Energie- und Mobilitätssektor benötigen wir die unterschiedlichsten Ressourcen und Rohstoffe. Dazu zählen nutzbares Wasser und geeignete Flächen, aber auch seltene Erden oder Metalle wie Lithium. Über letztere verfügen wir in Deutschland und Europa kaum und kaufen sie auf dem Weltmarkt ein. Hier müssen wir strukturellen Abhängigkeiten besser vorbeugen. Gleiches gilt für technische Produkte. Wir importieren zu einem beträchtlichen Anteil auch Anlagen beziehungsweise Komponenten in die Europäische Union, zum Beispiel Fotovoltaikmodule, Batteriezellen oder Windenergieanlagen. In ihnen sind diese knappen Rohstoffe bereits verbaut. Insofern muss



„Im Vergleich zu fossilen Rohstoffen sind Sonne und Wind weltweit breiter verteilt. Das bringt uns mehr Flexibilität bei der Wahl unserer Handelspartner.“

Prof. Carsten Agert, Institut für Vernetzte Energiesysteme

eine umfassende Resilienzstrategie berücksichtigen, dass Lieferengpässe nicht nur auf der Ebene der Rohstoffe auftreten können, sondern auch auf anderen Ebenen der Wertschöpfung.

Am DLR untersuchen wir deshalb, wie es mit der Verfügbarkeit und den Recycling-Möglichkeiten wichtiger Rohstoffe aussieht. Dazu entwickeln wir hochkomplexe Computermodelle. Mit ihnen können wir durchspielen, bei welchen Rohstoffen es unter bestimmten Bedingungen zu Versorgungsengpässen kommen kann und welche Abhängigkeiten sowie wirtschaftlichen Konsequenzen daraus entstehen können.

Worauf müssen sich unsere Gesellschaft, Politik und Industrie vorbereiten?

Geopolitische Konflikte zeigen, dass wir Energiesicherheit, das langfristig angelegte Management natürlicher Ressourcen und wirtschaftliche Stabilität zusammen denken müssen. Resilienz bedeutet hier, dass wir die Abhängigkeit von einzelnen Lieferländern oder kritischen Rohstoffen reduzieren müssen. Parallel gilt es, unsere Energiequellen und Handelsbeziehungen zu diversifizieren und eigene Produktions- und Infrastrukturkapazitäten strategisch auszubauen. Gleichzeitig müssen wir Energiesysteme so gestalten, dass sie kurzfristige Schocks besser abfedern können, etwa Lieferausfälle, Preissprünge oder beschädigte Infrastrukturen. Am DLR haben wir beispielsweise detaillierte Modelle der Strom- und Gasnetze, auf deren Basis wir zukünftige, resilientere Systemarchitekturen erforschen. Aber auch bei der zunehmenden Automatisierung und Digitalisierung unserer Stromnetze sind wir aktiv und entwickeln Methoden und Auslegungsstrategien, die einen krisenfesten Betrieb ermöglichen.

Die ökonomische Tragfähigkeit eines Energiesystems spielt ebenfalls eine wesentliche Rolle. Ein System ist nicht resilient, wenn es langfristig nicht finanzierbar oder wettbewerbsfähig ist. Und nicht zu vergessen:

Auch gesellschaftliche Akzeptanz und Partizipation sind grundlegende Eckpfeiler.

Welche Rolle spielen die fossilen und erneuerbaren Energien in Bezug auf die Resilienz unseres Energiesystems?

Der mit Abstand wichtigste Faktor in einem sicheren und resilienten Energiesystem ist die Energie selbst. Jede Kilowattstunde, die wir selbst generieren, macht uns ein Stück unabhängiger von globalen Risiken. Sonne und Wind sind Ressourcen, die in Deutschland und Europa in großem Umfang verfügbar sind. Sie stehen bereit – unabhängig von akuten geopolitischen Krisen, Handelskriegen oder stockenden Lieferketten.

Nach wie vor werden wir als dicht besiedelte Industrienation nicht unseren gesamten Energiebedarf selbst bereitstellen können. Doch das ist auch gar nicht das vorrangige Ziel. Vielmehr geht es darum, gemeinsam mit unseren europäischen Partnern die Netzinfrastrukturen für Strom und Wasserstoff zuverlässig zu verknüpfen und mit verlässlichen Drittländern Abkommen über Energieimporte zu schließen. Im Vergleich zu den fossilen Rohstoffen sind Sonne und Wind weltweit breiter verteilt. Das bringt uns mehr Flexibilität bei der Wahl unserer Handelspartner.

Hinsichtlich Sicherheit und Resilienz: Ist ein dezentral oder ein zentral aufgestelltes Energiesystem besser?

Weder das eine noch das andere ist per se überlegen. Dezentrale Strukturen mit regionaler, erneuerbarer Erzeugung, Speichern und Flexibilitätsoptionen erhöhen die Robustheit gegenüber Störungen und reduzieren die Abhängigkeit von einzelnen Großanlagen. Mit ihnen können im Krisenfall zukünftig Teilnetze temporär weiterbetrieben werden. Das ist allerdings technisch extrem anspruchsvoll und daher Gegenstand unserer Forschungen.

Zentrale Strukturen wie überregionale Netze, große Speicher und Kraftwerke bieten Vorteile hinsichtlich

Größe und Effizienz und können regionale Schwankungen ausgleichen. So erhöhen sie die Stabilität des Gesamtsystems, vor allem bei größeren Versorgungsengpässen oder saisonalen Schwankungen – etwa Dunkelflauten. Hohe Resilienz und Sicherheit entstehen deshalb durch die intelligente Kombination beider Ansätze: dezentrale Diversifizierung mit überregionaler Vernetzung – auch auf europäischer Ebene.

Wie trägt die DLR-Forschung mit aktuellen Projekten dazu bei, unser Energiesystem resilienter und sicherer zu machen?

Wir untersuchen zum Beispiel, wie man Energiesysteme oder Teilbereiche so auslegt und betreibt, dass sie möglichst widerstandsfähig gegenüber äußeren Einwirkungen sind – und entwickeln die dafür notwendigen Technologien. Dazu zählt insbesondere die Sektorenkopplung zwischen Energie und Verkehr. Wir analysieren auch, wie sich Extremsituationen im Energiebereich auf Märkte und Lieferketten auswirken können. So können wir zuverlässig einschätzen, wo die wichtigen Knackpunkte und Schwachstellen im System sind – bis auf eine gesamteuropäische und sektorübergreifende Ebene. Dafür nutzen wir sehr komplexe, am DLR entwickelte Computermodelle und Simulationen.

In der Netzleitwarte des Forschungslabors DLR_NESTEC wird die Sicherheit von Energienetzen getestet.



Ein weiteres Beispiel sind Technologien, die die Wahrscheinlichkeit von Blackouts so gering wie möglich halten. Sollte es doch einmal zu einem Ausfall kommen, ermöglichen sie einen schnellen „Schwarzstart“ – auch von immer komplexeren Energiesystemen. Das ist die Fähigkeit von Kraftwerken und Speichern, nach einem vollständigen Stromausfall ohne externe Energiezufuhr aus dem Netz selbstständig wieder anzufahren und den Wiederaufbau des Netzes zu ermöglichen.

Gemeinsam mit dem DLR-Institut für Technische Thermodynamik arbeiten wir derzeit ganz konkret und praxisnah mit Industrie, Wissenschaft und Zivilschutz – hier dem Technischen Hilfswerk – daran, ein zuverlässiges und effizientes „Dual-Fuel-System“ für den Einsatz bei Naturkatastrophen zu entwickeln und umfassend zu erproben. Zentraler Bestandteil dieses neuartigen Notstromaggregats ist eine speziell für diesen Einsatz ausgelegte Brennstoffzelle. Der Clou dabei: Sie kann sowohl mit Wasserstoff als auch mit Methanol betrieben werden, sodass man im Notfall zwei Optionen zur Verfügung hat – jeweils mit stark unterschiedlichen Vor- und Nachteilen bei Herstellung, Lagerung und Transport. Aktuell hängt die Energieversorgung vieler Einrichtungen des Bevölkerungsschutzes noch stark von fossilen Brennstoffen ab. Um diese Abhängigkeit zu reduzieren, benötigt es neue, ausfallsichere und nach Möglichkeit inselnetzfähige Infrastrukturen. Der Vorteil des angesprochenen Brennstoffzellensystems liegt in seiner hohen Effizienz und größeren Flexibilität bei Kraftstoff und Leistung. Am Ende des Projekts wollen wir den Prototyp eines solchen Systems entwickelt haben – alles integriert in einem einfach zu transportierenden Container.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR. Sie berichtet vorwiegend über die Forschungsbereiche Energie und Verkehr. Bereits im Studium interessierte sie sich für die Zusammenhänge zwischen Sicherheit und Energie.

Bild: DLR

Bild: DLR



Die Zukunft beginnt hier

Der INNOspace-Masters-Wettbewerb

von Daniel Pläßmann

Star-Trek-Fans wissen sofort Bescheid: Wer sich auf dem Raumschiff Enterprise verletzt, geht auf die Krankenstation. Dort wird die Wunde mit einem Hautregenerator innerhalb von Sekunden geschlossen. Die Realität jedoch sieht anders aus: Offene Wunden heilen in Schwerelosigkeit nur langsam. Verletzt sich eine Person auf der Internationalen Raumstation ISS oder während einer möglichen Marsmission, kann es zu schweren Komplikationen kommen.

Die Lösung des Problems ist trotzdem zum Greifen nahe. Noch nicht so elegant wie bei Star Trek, aber für die 2020er-Jahre ziemlich beeindruckend. Ihr Name: StellarHeal. Dabei wird die Wunde mit blutstillenden Fasern und spezialisierten Zellen aufgefüllt, sodass sie schnell und sauber heilen kann.

Die Idee ist so gut, dass sie zu den Gewinnern des jährlichen internationalen Innovationswettbewerbs INNOspace Masters gehört. Genauso wie der ultraleichte Schutzschild von FibreCoat, der Menschen und Elektronik vor kosmischer Strahlung im All schützt, der elektrische Hochschub-

plasmaantrieb der Plasma Rocket Company für Missionen zum Mars oder die Idee von Yank Technologies, mit der sich Mond- und Marsrover selbst unter schwierigsten Bedingungen kabellos aufladen lassen.

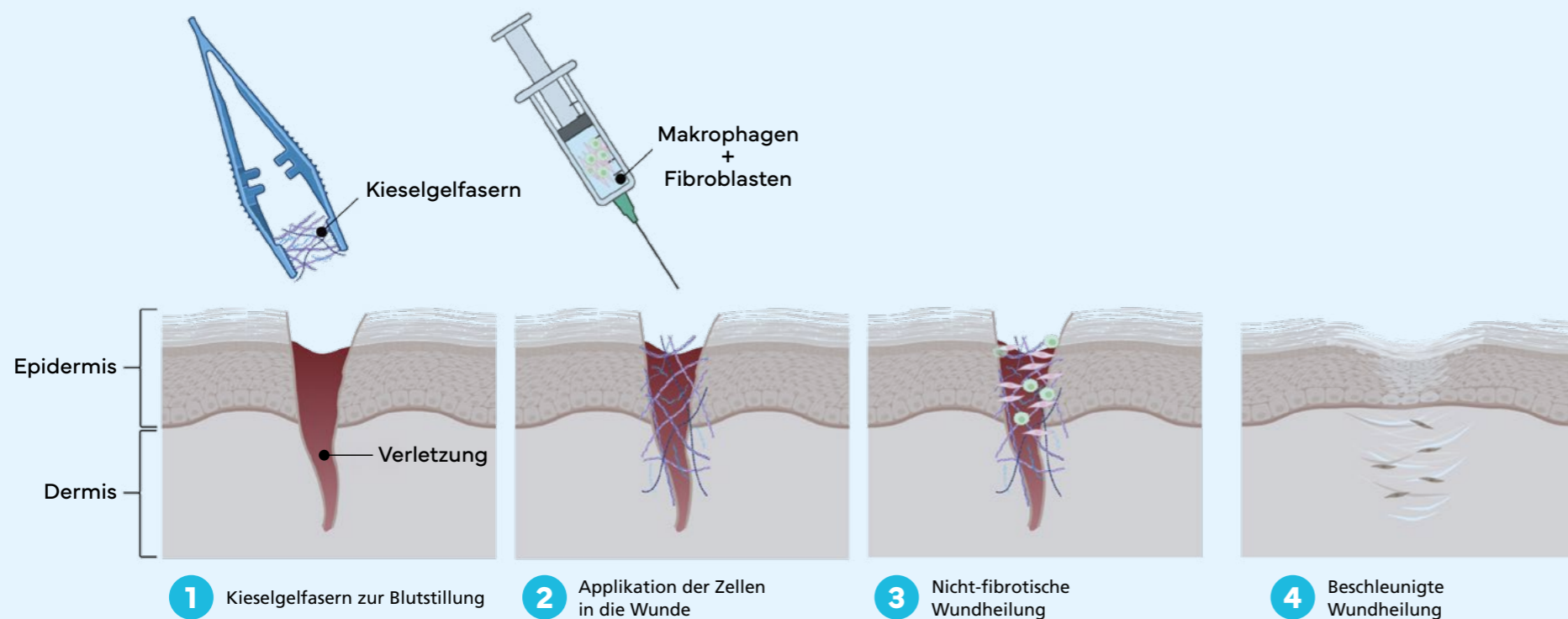
Ein Wettbewerb, viele Themen

Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR hat INNOspace Masters 2015 ins Leben gerufen und wird in der Umsetzung derzeit unterstützt vom DLR Projektträger und dem Institut für qualifizierende Innovationsforschung und -beratung (IQIB). Seitdem hat der Wettbewerb insgesamt 14,17 Millionen Euro an Preisgeldern und Fördermitteln vergeben und mehr als 130 Gewinnerinnen und Gewinner hervorgebracht. Aktuell kommen jedes Jahr rund 20 weitere hinzu: In den sechs verschiedenen Wettbewerbskategorien – den „Challenges“ – werden jeweils die Top-Drei-Gewinnerinnen und -Gewinner gekürt. Dazu kommt noch die wichtigste Auszeichnung als „Overall Winner“.

Die Bandbreite der eingereichten Ideen reicht von spezifischer Weltraumtechnologie

Gewinner und Gewinnerin der Challenge der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR des INNOspace-Masters-Wettbewerbs 2024 bei der Preisverleihung in Berlin, links das Team StellarHeal

So funktioniert Wundbehandlung in Schwerelosigkeit



46

über Medizin, Umweltschutz, Energie und Mobilität bis hin zu Sicherheit, Software und Digitalisierung. Unter den Einreichungen sind sowohl Konzepte für den Transfer von Technologie und Know-how aus anderen Branchen in den Raumfahrtsektor (Spin-in) als auch aus dem Raumfahrtsektor in andere Branchen (Spin-off). Das lässt sich am Eingangsbeispiel StellarHeal gut veranschaulichen: Das Wundheilungsverfahren wird speziell für die Raumfahrt entwickelt, kann aber auch hier auf der Erde bei der Behandlung von Menschen mit chronischen Wunden helfen – ein klassisches Spin-off.

Innovationen fürs All schaffen Fortschritt auf der Erde

Bereits 2013 hat die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR die INNOspace® Initiative gestartet. „Wir haben INNOspace damals gegründet, weil uns klar war, dass die Innovationskraft der Raumfahrt weit über die Branche selbst hinaus Wirkung entfalten kann“, erinnert sich Dr. Franziska Zeitler, Abteilungsleiterin Innovation & Neue Märkte bei der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR. „Besonders freue ich mich, dass es uns gelungen ist, Technologien aus dem All für neue Anwendungen auf der Erde nutzbar zu

Die Erfindung von StellarHeal lässt Wunden mithilfe blutstillender Fasern und spezialisierter Zellen schnell und sauber heilen – für den Einsatz in der Raumfahrt und hier auf der Erde.

machen – und gleichzeitig innovative Ideen aus anderen Branchen in die Raumfahrt zu tragen.“ Das beschleunigt den Technologietransfer, erschließt neue Märkte und stärkt Deutschland als Innovations- und Raumfahrtstandort, so Zeitler weiter. Teil der Initiative sind Konferenzen, Workshops und die INNOspaceEXPO „ALL.täglich!“ – eine Wanderausstellung, die Innovationen aus dem All für die Erde präsentiert: beispielsweise eine Technologie zur Entdeckung von Planeten, die auch die Früherkennung von Hautkrebs ermöglicht. Auch drei Technologie- und Kooperationsnetzwerke, die die Zusammenarbeit des Automobil-, Agrar- und Gesundheitssektors mit der Raumfahrt fördern, gehören zur Initiative.

Der INNOspace-Masters-Wettbewerb ist ein weiterer wichtiger Bestandteil. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR führt ihn aktuell zusammen mit der ESA, den ESA Business Incubation Centres Deutschland, dem ESA Business Applications and Space Solutions Kommerzialisierungsprogramm und den Unternehmen Airbus, OHB und Mercedes-Benz durch. Die Teilnehmenden können ihre Idee in einer der sechs Challenges einreichen. Teilnehmen können Großunternehmen, KMU, Start-ups, Forschungseinrichtungen

Grafik: S. 46 ILK Dresden; Bild: S. 47 David von Becker



TEILNAHME ABSCHLUSS-KONFERENZ

Am 12. November 2026 findet die Abschlusskonferenz im Futurium in Berlin statt. Neben der Ehrung der Gewinnerinnen und Gewinner steht ein besonderes Highlight an: das zehnjährige Jubiläum von INNOspace Masters. Hier geht's zum Anmeldeink:



Webseite
INNOspace
Masters
(Englisch)

und Universitäten sowie Einzelpersonen – je nach Challenge aus Deutschland, Europa und weltweit. Die Gewinnerinnen und Gewinner werden zum Jahresende bei der Abschlusskonferenz in Berlin gekürt, insgesamt wird eine Förderung von 2,4 Millionen Euro vergeben. „Die Preisgelder und Förderungen spielen zwar eine große Rolle“, erläutert Dr. Anja Simon, Projektleiterin von INNOspace Masters bei der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR. „Aber bei unserem Wettbewerb steht die gemeinsame ‚Reise‘ von Gewinnerinnen, Gewinnern und den Challenge-Partnern im Fokus, um aus den Ideen tatsächlich marktreife Anwendungen oder Dienstleistungen zu entwickeln.“

Gemeinsame Reise zu innovativen Ideen

Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR richtet den Wettbewerb 2026 bereits zum dritten Mal in Folge in Kooperation mit dem IQIB und dem DLR Projektträger aus. Während das IQIB für die Durchführung des Wettbewerbs und die Projektkoordination zuständig ist, verantwortet der DLR Projektträger Marketing und Kommunikation zum Wettbewerb und organisiert die Abschlusskonferenz. Damit die Teilnehmenden ihre

Ideen möglichst nutzerfreundlich einreichen und die Partner die Einreichungen effizient evaluieren können, wurde eine neue Online-Plattform eingerichtet. 2026 haben 864 Teilnehmende aus 38 Ländern 313 Projektideen eingereicht – der dritte Einreichungsrekord in Folge. „Bei diesem internationalen Wettbewerb ist es besonders herausfordernd, Forschende und Innovatoren weltweit anzusprechen und zur Teilnahme zu motivieren“, erklärt Rebekka Freitag-Li, Projektleiterin beim DLR Projektträger. „Wir haben dafür nicht nur die etablierten Netzwerke des DLR Projektträgers auf allen fünf Kontinenten aktiviert, sondern die Kommunikation und Bewerbung des Wettbewerbs auch im digitalen Raum erfolgreich ausgeweitet.“

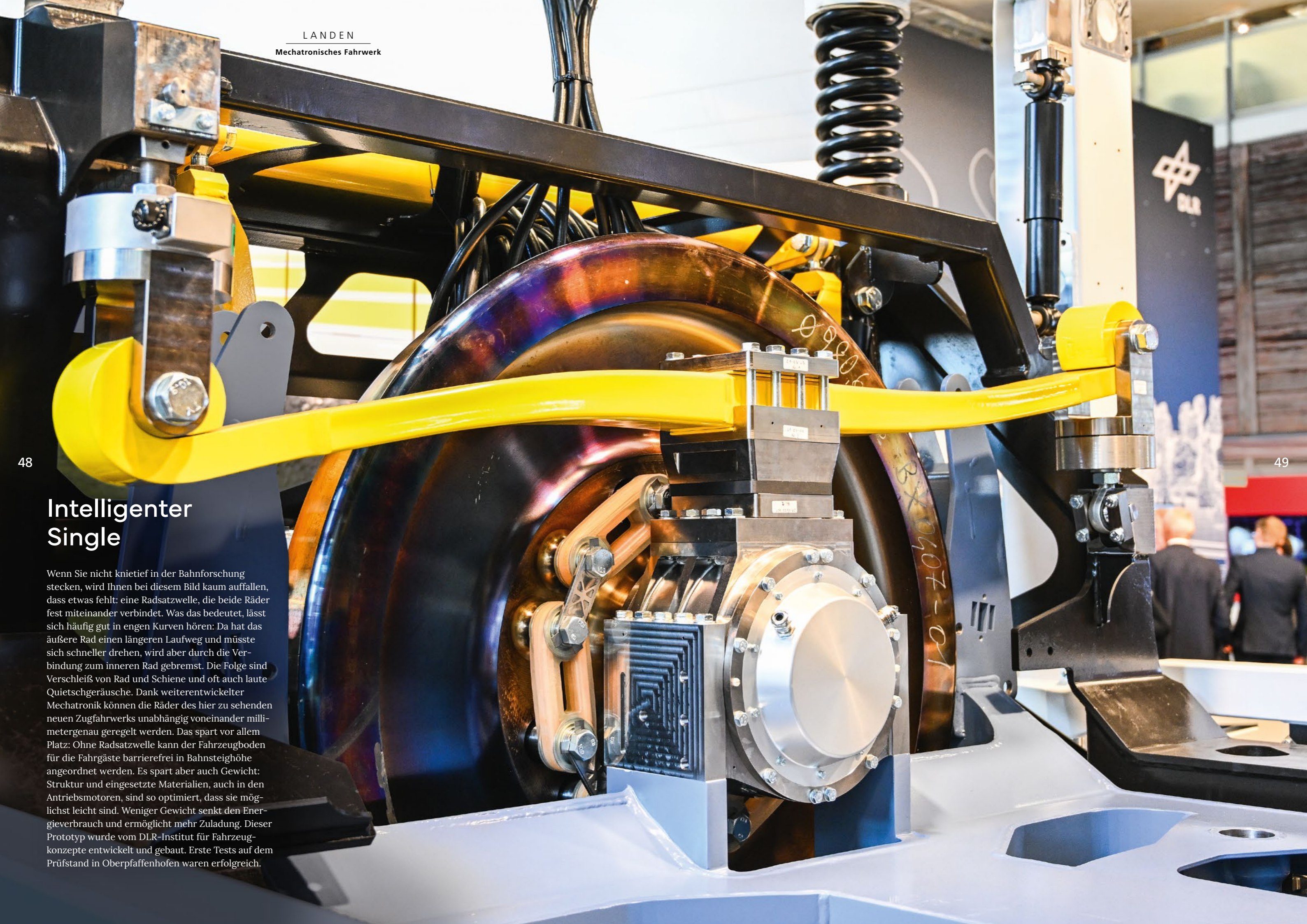
Gemeinsam coachen der DLR Projektträger und die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR die Gewinnerinnen und Gewinner, damit sie ihre Ideen bestmöglich präsentieren – sowohl vor der Jury als auch vor dem Publikum bei der Abschlusskonferenz. Dazu kommen die drei Bestplatzierten aller Challenges zum „Winner's Pitch“ nach Bonn-Oberkassel, wo sowohl die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR als auch der DLR Projektträger sitzen. Die zweitägige Veranstaltung verfolgt drei Ziele: Am Tag eins steht das Pitch-Training. Am zweiten Tag wird die Gesamtsiegerin oder der Gesamtsieger des Wettbewerbs bestimmt. Dazu präsentieren die Teilnehmenden ihre Ideen als Pitch vor einer Jury, in der alle Challenge-Partner vertreten sind. Beide Tage dienen zudem dazu, dass sich die Gewinnerinnen und Gewinner vernetzen können. „Für uns als Team war es eine fantastische Erfahrung“, resümiert Felix Schmidt von FibreCoat, einem der beiden Gesamtsieger 2025. „Besonders viel Spaß hat uns das Pitch-Training mit den Expertinnen und Experten gemacht, bei dem wir anhand ihrer Rückfragen testen konnten, wie überzeugend unsere Projektargumentation ist.“ Die Songs, zu denen die Gewinnerinnen und Gewinner der einzelnen Challenges bei der Abschlusskonferenz auf die Bühne kommen, sind übrigens die Titelmelodien der verschiedenen Star-Trek-Serien. Vielleicht ist das als kleiner Ansporn zu verstehen, Ideen, die wie Zukunftsmusik klingen, schon heute umzusetzen. So wie StellarHeal.

Daniel Plaßmann ist wissenschaftlicher Referent beim DLR Projektträger und auch privat ein großer Science-Fiction-Fan.

47

Intelligenter Single

Wenn Sie nicht knietief in der Bahnforschung stecken, wird Ihnen bei diesem Bild kaum auffallen, dass etwas fehlt: eine Radsatzwelle, die beide Räder fest miteinander verbindet. Was das bedeutet, lässt sich häufig gut in engen Kurven hören: Da hat das äußere Rad einen längeren Laufweg und müsste sich schneller drehen, wird aber durch die Verbindung zum inneren Rad gebremst. Die Folge sind Verschleiß von Rad und Schiene und oft auch laute Quietschgeräusche. Dank weiterentwickelter Mechatronik können die Räder des hier zu sehenden neuen Zugfahrwerks unabhängig voneinander millimetergenau geregelt werden. Das spart vor allem Platz: Ohne Radsatzwelle kann der Fahrzeugboden für die Fahrgäste barrierefrei in Bahnsteighöhe angeordnet werden. Es spart aber auch Gewicht: Struktur und eingesetzte Materialien, auch in den Antriebsmotoren, sind so optimiert, dass sie möglichst leicht sind. Weniger Gewicht senkt den Energieverbrauch und ermöglicht mehr Zuladung. Dieser Prototyp wurde vom DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte entwickelt und gebaut. Erste Tests auf dem Prüfstand in Oberpfaffenhofen waren erfolgreich.



Beitrag zum kollektiven Gedächtnis

Die Aufarbeitung der Geschichte des DLR

von Julia Heil

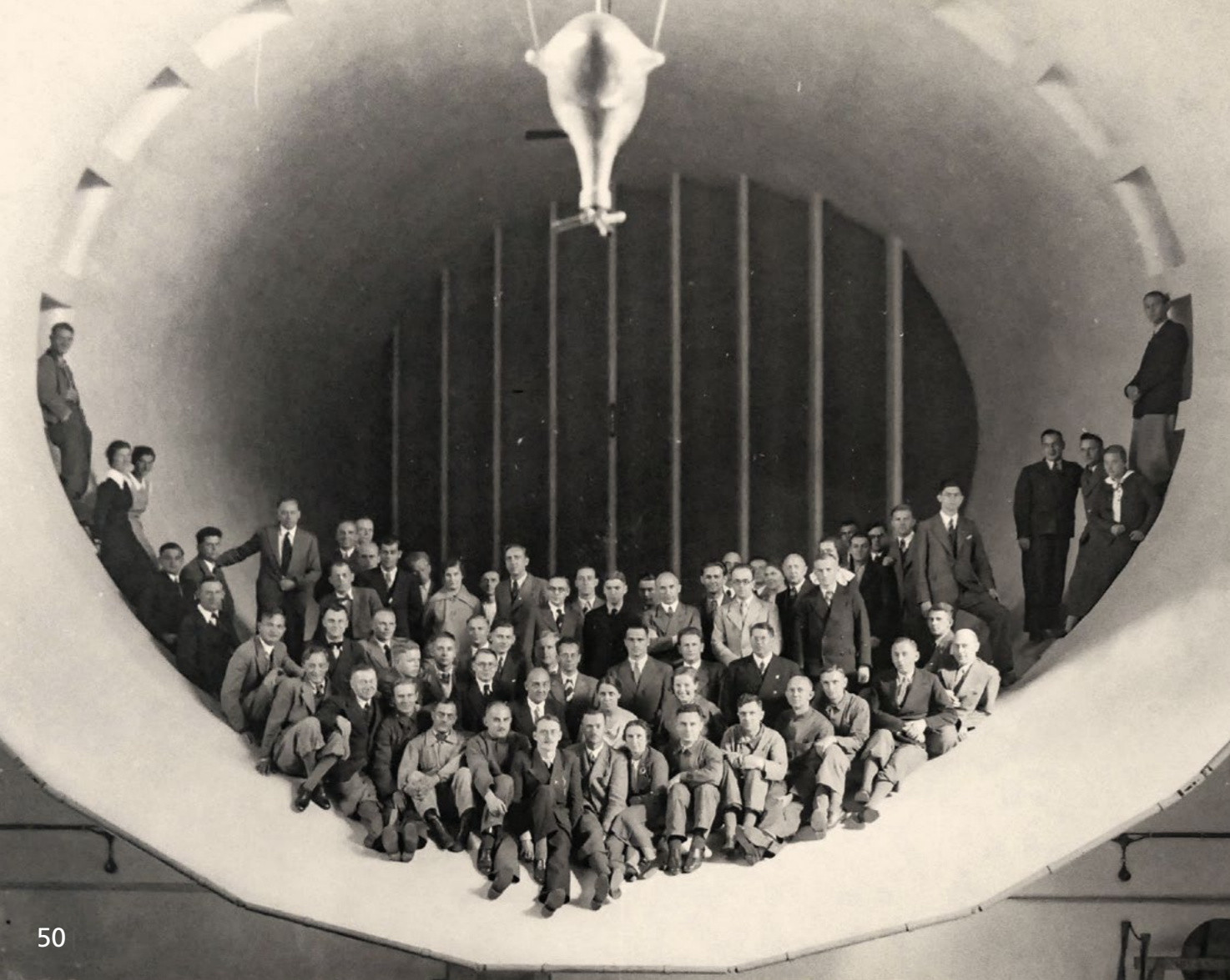
Das DLR ist heute eines der größten außeruniversitären Forschungszentren in Deutschland. Mehr als 11.000 Menschen arbeiten hier in den unterschiedlichsten Fachgebieten. Gleichzeitig stehen sie in einer langen Forschungstradition, denn das DLR blickt auf eine knapp 120-jährige Geschichte zurück mit Vorläuferorganisationen, die eine ähnlich exponierte Position innehatten. Als 1907 die Modellversuchsanstalt der Motorluftschiff-Studiengesellschaft, kurz MVA, in Göttingen ins Leben gerufen wurde, war sie eine der ersten Einrichtungen für Luftfahrtforschung weltweit. Als Leiter wurde Prof. Ludwig Prandtl bestimmt, der 1904 seine Grenzschichttheorie entwickelt hatte, eine wichtige Grundlage der Strömungsforschung. Aus der MVA wurde später die Aerodynamische Versuchsanstalt (AVA). Sowohl hier als auch in weiteren Vorgängerorganisationen wurden die theoretischen und experimentellen Grundlagen erforscht, ohne die die heutige Luftfahrt nicht möglich wäre. Ein Beispiel ist der Pfeilflügel, der heute bei Verkehrsflugzeugen zum Standard gehört.

Aber die Einrichtungen waren auch gestaltende Akteure in Zeiten, die von Krieg und Unrecht geprägt waren. Zeitweise war ihre wissenschaftliche Autonomie aufgrund von militärischen und politischen Interessen stark eingeschränkt. Zwar liegen bereits eine Reihe von Studien zu Teilaspekten und Fragestellungen dieser Zeit vor, wie Prof. Helmuth Trischlers

Habilitationsschrift „Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1900–1970: Politische Geschichte einer Wissenschaft“. Eine umfassende Betrachtung, die auch das seit den frühen 1990er Jahren freigegebene Archivgut berücksichtigt, fehlte bislang allerdings. „Als DLR stehen wir zu unserer Verantwortung, unsere Vergangenheit nicht nur zu dokumentieren, sondern auch Lehren daraus zu ziehen. Unser Ziel ist es, die Geschichte für uns und für die Öffentlichkeit aufzuarbeiten und damit transparent zu machen. Damit wollen wir ein Bewusstsein schaffen für die Herausforderungen der Wissenschaft und Technik in verschiedenen Zeitepochen“, so die Vorstandsvorsitzende des DLR, Prof. Dr.-Ing. Kaysser-Pyzalla. 2023 startete ein Projekt zur Aufarbeitung der Geschichte des DLR. Dessen Ziel war eine möglichst lückenlose und umfassende Betrachtung bis 1945. Jetzt liegen die ersten Ergebnisse vor.

Vom ersten Vorläufer bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs

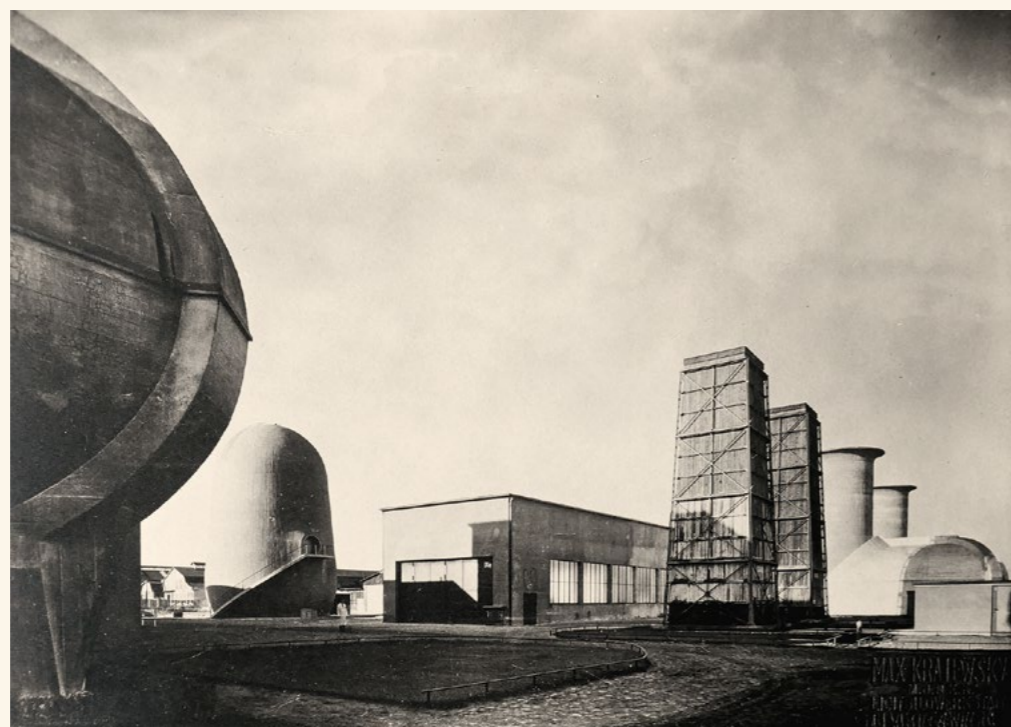
Der Zeitraum der Aufarbeitung beginnt 1907 mit der Gründung der MVA. „Um zu verstehen, wie sich die Luftfahrtforschung in Deutschland entwickelt hat, ist es notwendig, auch die Vorgeschichte der DLR-Vorläufer aufzuzeigen“, sagt Dr. Jessika Wichner. Sie leitet das Zentrale Archiv im DLR und kümmert sich gemeinsam mit Jens Wucherpennig und Daniel Beckmann seitens des DLR um die



50

Angestellte der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) im großen Windkanal, circa 1937

Gelände der DVL in Berlin-Adlershof, ebenfalls 1937: großer Windkanal (ganz links), Trudelwindkanal (das „Beton-Ei“ links) und schallgedämpfter Motorenprüfstand (ganz rechts). Die drei Versuchsanlagen wurden zwischen 1932 und 1936 auf dem DVL-Gelände errichtet und stehen heute immer noch.



Bilder: DLR

51

Umsetzung des Aufarbeitungsprojekts. Beckmann ist für das Corporate Design des DLR verantwortlich, Wucherpfennig verantwortet die Kommunikation an den Standorten Göttingen und Hannover: „Die Ergebnisse sind umfangreicher als wir gedacht haben, weil die beteiligten Historikerinnen und Historiker in externen Archiven neues Material ausgegraben haben, das wir bis dahin noch nicht kannten.“

In den insgesamt acht europaweit ausgeschriebenen Teilprojekten der Geschichtsaufbereitung nehmen die Forschenden sowohl festgelegte Zeiträume in den Blick als auch die Geschichte der Vorläuferorganisationen des DLR während des Ersten Weltkriegs, der Weimarer Republik und des Nationalsozialismus. Bearbeitet wurden sie sowohl von Geschichtsentwicklungen als auch von einzelnen Historikerinnen und Historikern. Ein speziell für das Projekt gegründeter ehrenamtlicher Beirat sicherte die Transparenz und Unabhängigkeit der Forschungsergebnisse. Dazu fanden regelmäßig Treffen mit den Bearbeitenden und dem DLR statt. Die Beiratsmitglieder haben teilweise leitende Funktionen in Museen oder Lehrstühlen an Universitäten.

Forschungslücken schließen

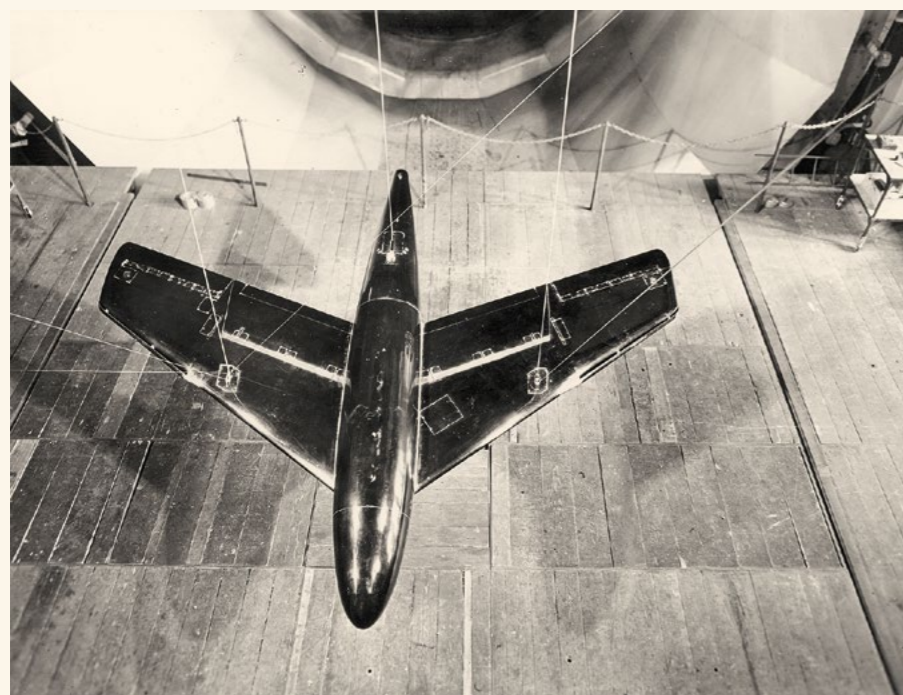
„Wir können zwar nicht unmittelbar aus der Geschichte lernen, aber die Ergebnisse aus der historischen Forschung und aus solchen Projekten helfen uns, Ähnlichkeiten zu erkennen, beispielsweise bei der Verknüpfung zwischen Politik und Wissenschaft. Das Wissen fließt in das kollektive Gedächtnis unserer Gesellschaft ein und trägt insbesondere auch dazu bei, die Resilienz der Forschung und die Autonomie der Wissenschaft gegenüber politischen

Eingriffen, wie wir sie heute weltweit leider wieder erleben, zu schützen“, sagt Trischler. Der Technikhistoriker war lange Jahre im Deutschen Museum für den Bereich Forschung verantwortlich und bearbeitete im Rahmen der Geschichtsaufbereitung zwei Teilprojekte. Aus vier Teilprojekten gingen umfangreiche Monografien als Ergebnisse hervor, die fünfte wird Ende 2026 abgeschlossen werden. Das Ziel war eine möglichst umfassende Darstellung des jeweiligen Zeitraums, in der sowohl die wissenschaftlich-technischen Errungenschaften als auch die Einbindung in das Regime des Nationalsozialismus dargestellt werden. „Es geht uns nicht darum, Koryphäen wie Ludwig Prandtl vom Sockel zu stürzen oder ihnen ihre Verdienste abzuspochen, sondern darum, die Verflechtungen von Wissenschaft und Politik differenzierter zu betrachten“, ergänzt Trischler.

Geschichte für die Zukunft

Neben den fünf Monografien sind im Laufe des Projekts auch zwei Bildbände entstanden. Diese sollen bis Ende 2026 gedruckt sein. Die Ergebnisse eines anderen Teilprojekts bilden die Basis für die Konzeption einer Ausstellung und eines dazugehörigen Ausstellungskatalogs. Ab Sommer 2026 werden die gedruckten Monografien über den Cuvillier-Verlag zu beziehen sein, 2027 dann über die Verlagsseite als kostenfrei herunterladbare Open-Access-Publikation. Ende 2026 wird das gesamte Projekt der historischen Aufarbeitung der DLR-Geschichte bis 1945 abgeschlossen sein.

Julia Heil arbeitet in der DLR-Kommunikation. Sie ist bekennender Bücherwurm mit einem Faible für historische Themen.



Zwei Forscher im Windkanal der Luftfahrtforschungsanstalt Hermann Göring (LFA), 1930er Jahre (rechts)

Modell einer Messerschmitt Me 263 mit gepfeilten Tragflügeln im Windkanal der AVA 1941 (links)



Bilder: DLR

Die Teilprojekte der DLR-Geschichtsaufbereitung



Diese vier Monografien sind in gedruckter Form ab Sommer 2026 verfügbar, die fünfte gibt es ab 2027.

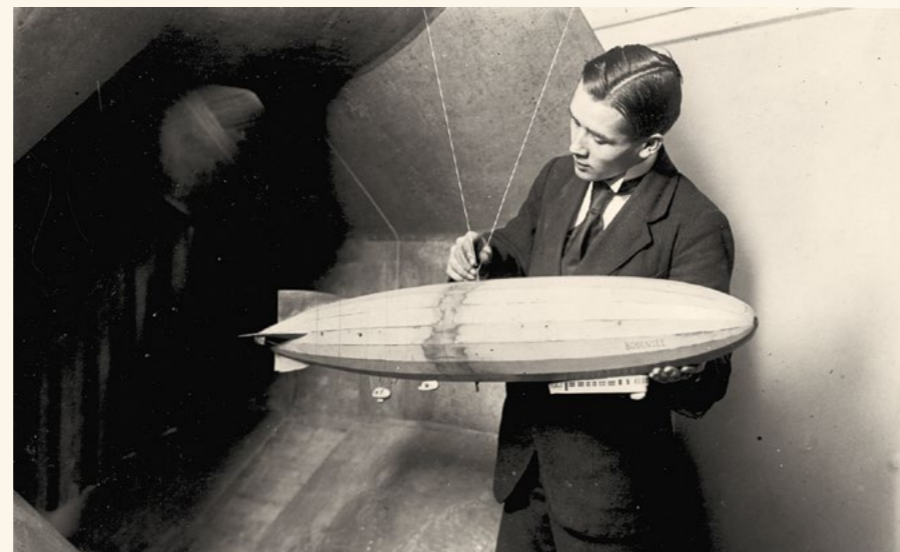
Zwischen Weltkrieg, Versailler Vertrag und Wiederaufrüstung. Militärische und zivile Luftfahrtforschung an der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen 1918 bis 1933

(Monografie, Autor: Michael Kamp)

Nach dem Ersten Weltkrieg legten die Siegermächte mit dem Versailler Friedensvertrag Deutschland eine Reihe von Verboten und Einschränkungen auf. Diese trafen auch die Luftfahrt, um eine militärische Wiederaufrüstung zu unterbinden. Das galt auch für die 1907 gegründete Modellversuchsanstalt der Motorluftschiff-Studiengesellschaft (ab 1920 Aerodynamische Versuchsanstalt, AVA). Nichtsdestotrotz setzte die DLR-Vorgängerorganisation ihre Forschungsaktivitäten fort. Dies zeigen die Ergebnisse dieser Studie.

In zivilen Luftfahrtprojekten, Industriekooperationen oder auch in der Forschung in angrenzenden Bereichen wie Fahrzeugtechnik oder Windenergie wurden militärisch relevante Arbeiten indirekt weitergeführt. So blieb aerodynamisches Wissen nicht nur erhalten, es wurde in der Zwischenkriegszeit sogar weiterentwickelt. Voraussetzung hierfür war institutionelle und personelle Kontinuität innerhalb der Organisation. Sie bildete die Grundlage für den späteren Ausbau der Luftfahrtforschung im Nationalsozialismus. Dabei war die AVA eng vernetzt mit staatlichen Stellen, militärischen Akteuren, Industrieunternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen. Seitens Politik, Wissen-

schaft und Teilen der Gesellschaft herrschte zudem breiter Konsens darüber, dass die Luftfahrt für die nationale Stärke Deutschlands strategisch wichtig sei. Insgesamt verdeutlicht die Geschichte der AVA, wie eng wissenschaftliche Forschung, politische Rahmenbedingungen und militärische Interessen in der Zwischenkriegszeit miteinander verflochten waren.



Modell des Luftschiffs LZ 120 Bodensee im Windkanal der AVA um 1920. Es war das erste Luftschiff, das nach dem Ersten Weltkrieg gebaut wurde. 1921 musste es als Reparationsleistung an Italien abgegeben werden.

Forschen und Prüfen für eine Nation des Fliegens. Die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt in Kaiserreich und Weimarer Republik

(Monografie, Autor: Helmuth Trischler)

Die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) war von 1912 bis 1945 eine zentrale Einrichtung der Luftfahrtforschung. Schon bei ihrer Gründung zeichnete sich ab, dass sie die Rolle einer nationalen Forschungs- und Prüfanstalt einnehmen sollte. Die DVL verband wissenschaftliche Erkenntnisse mit technischen Prüfaufgaben. Während des Ersten Weltkriegs geriet die Einrichtung teilweise stark unter militärischen Einfluss. Darunter litt ihre wissenschaftliche Autonomie. Erst gegen Ende des Krieges wurden Teile des Forschungsbetriebs wieder ausgeweitet. Dennoch zeichnete sich nach Kriegsende eine institutionelle und finanzielle Krise für die DVL ab. Mit der wirtschaftlichen Stabilisierung der Weimarer Republik setzte ein organisatorischer und personeller Neuaufbau ein. In diesem Zuge rekrutierte die Einrichtung qualifizierte Wissenschaftler und erarbeitete sich einen exzellenten Ruf in der Luftfahrtforschung, so wurden beispielsweise alle Musterprüfungen neuer Flugzeuge über die DVL abgewickelt.

Bilder: DLR

Verfolgung, Menschenversuche, Zwangsarbeit. Unrecht in den Vorläufern des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (1933–1945)

(Monografie, Autorinnen und Autoren: Christian Rohrer, Ina Deppe, Robert Kieselbach, Christian Schwartz)

Die Vorgängerorganisationen des DLR trugen auch zur Durchführung von Zwangsarbeit und grausamen Menschenversuchen bei. Die Forschung des Instituts für Flugmedizin innerhalb der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) war eng mit militärischen Anforderungen der Luftfahrt verbunden. Hier fanden Selbstversuche sowie Experimente an freiwilligen Versuchspersonen beispielsweise zu Höhenversuchen statt. Jedoch waren einzelne Luftfahrtmediziner auch an Höhen- und Unterkühlungsversuchen beteiligt, für die sie Häftlinge aus dem Konzentrationslager Dachau heranzogen. Die Studie beschreibt auch den Umgang der DLR-Vorläufer mit jüdischen Mitarbeitenden sowie politisch Verfolgten. Auch der Einsatz von Zwangsarbeit wird thematisiert: Die Arbeit rekonstruiert Umfang, Herkunft und Einsatzbereiche der ausländischen Arbeitskräfte in den Einrichtungen der DLR-Vorläufer. Sie analysiert auch Lagerstrukturen, Lebens- und Arbeitsbedingungen sowie Formen von Kontrolle, Repression und Ausbeutung. Die Kombination aus institutioneller Analyse mit biografischen Fallstudien macht sowohl strukturelle Rahmenbedingungen als auch individuelle Handlungsspielräume und Verantwortlichkeiten sichtbar.

Höher, schneller, weiter – langsamer. Innovationen und deren Prozesse in den Vorgängern des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) 1933 bis 1945

(Monografie, Autoren: Matthias Georgi, Lukas Wollscheid, Johannes von Wintzingerode, Marc Schmidt)

Im Nationalsozialismus war die Forschung der DLR-Vorläuferorganisationen eng eingebunden in militärische und rüstungspolitische Zielsetzungen. Das zeigen die Ergebnisse dieser Studie. Forschungsbereiche wie die Entwicklung des Pfeilflügels für Hochgeschwindigkeitsflugzeuge, die Arbeiten an Strahltriebwerken sowie Untersuchungen zur Drehflüglertechnik machen deutlich, dass die wissenschaftliche Forschung in enger Verbindung zu industriellen Kooperationen und militärischen Anforderungen stand. Die Einrichtungen erforschten darüber hinaus auch Anwendungen, die einen dezidiert militärischen Fokus hatten, wie die Entwicklung der Stickoxydul-Einspritzung („GM 1“) zur Leistungssteigerung von Flugzeugmotoren im Höhenflug oder akustische Ortungsverfahren. Viele dieser Projekte waren eine direkte Reaktion auf konkrete Anforderungen des Luftkriegs und wurden häufig in enger Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen und militärischen Dienststellen durchgeführt. Neben der Grundlagenforschung waren die Vorläuferinstitutionen des DLR in vielfältiger Weise an der Entwicklung und Erprobung neuer Technologien für die Luftkriegsführung beteiligt.

Luftfahrtforschung im Nationalsozialismus. Mobilisierung eines wissenschaftlichen Feldes

(Monografie, Autor: Helmuth Trischler)

Die Studie zeichnet den Ausbau der Vorgängerinstitutionen des DLR zu dem mit Abstand größten Forschungskomplex im „Dritten Reich“ nach. Im Fokus stehen erstens das dynamische Wechselspiel von Kooperation und Konkurrenz der Vorläuferinstitutionen untereinander und zweitens deren Verflechtungen mit Politik und Militär, Industrie und Gesellschaft. Im Ergebnis zeigt sich ein differenziertes Bild der Bedingungen, Denkstile und Praxisformen der Erzeugung und Anwendung luftfahrtbezogenen Wissens im Nationalsozialismus.

Die Geschichte der DVG von 1908–1945 und die Entwicklung des FFO von 1937 bis 1945

(Bildband, Autor: Markus Schreiber)

Der Bildband dokumentiert anhand von rund 200 Fotografien und Texten die Geschichte der Drahtlostelegraphischen und Luftpfelektischen Versuchsstation Gräfelting (DVG) und des Flugfunk-Forschungsinstituts Oberpfaffenhofen (FFO). Im Zentrum stehen die Arbeiten ihres Gründers, des Physikers Max Dieckmann, sowie die Entwicklung der Flugfunk-, Peil- und Radarforschung. Der Band verbindet Bildquellen mit neuen Forschungsergebnissen zur institutionellen Entwicklung, die insbesondere die Rolle von Max Dieckmann in ein neues Licht rücken.

Akteure, Versuchsanlagen und -einrichtungen in den Vorgängerorganisationen des DLR von 1933 bis 1945

(Bildband, Autoren: Andreas Lehmann, Thomas Prüfer)

Im Mittelpunkt dieses Bildbands stehen Einrichtungen wie AVA, DVL, DFL/LFA sowie DVG und FFO. Die Darstellung verbindet Bildquellen mit einer thematischen Übersicht zentraler Forschungsbereiche – von Strömungs- und Motorenforschung über Radar bis zur Luftfahrtmedizin – und ordnet sie in den Kontext der nationalsozialistischen Luftfahrtpolitik ein.



Die Flugzeughalle der DVL in Berlin-Adlershof mit einem Teil der Forschungsflugzeuge der Versuchsanstalt (1941/42). Im Hintergrund erkennt man den ehemaligen Flugplatz Johannisthal.

Die Schreinerei der Luftfahrtforschungsanstalt Hermann Göring in Braunschweig, um 1940

Bilder: DLR

„Als DLR stehen wir zu unserer Verantwortung, unsere Vergangenheit nicht nur zu dokumentieren, sondern auch Lehren daraus zu ziehen. Unser Ziel ist es, die Geschichte für uns und für die Öffentlichkeit aufzuarbeiten und damit transparent zu machen. Damit wollen wir ein Bewusstsein schaffen für die Herausforderungen der Wissenschaft und Technik in verschiedenen Zeitepochen.“

Prof. Dr.-Ing. Kaysser-Pyzalla,
Vorstandsvorsitzende des DLR

Forschen im Verbund – Die deutsche Luftfahrtwissenschaft im Zeichen der Aufrüstung (1933 bis 1945)

(Ausstellung sowie Ausstellungskatalog, Autoren: Andreas Lehmann, Thomas Prüfer)

In welchem Verhältnis stand die deutsche Luftfahrtforschung zu Krieg und Rüstung? Dieser Frage widmet sich die Ausstellung inklusive Ausstellungskatalog, die innerhalb dieses Teilprojekts erarbeitet wurden. Chronologisch gegliedert behandelt sie die Zeit vom Ende des Ersten Weltkriegs über die Aufrüstung im „Dritten Reich“ bis zum Zweiten Weltkrieg und die Nachkriegszeit. Fallstudien, Dokumente und Forschungsergebnisse zeigen die Wechselwirkungen zwischen Wissenschaft, Militär und Politik und machen deutlich, wie eng diese drei in dieser Zeit miteinander verbunden waren.



Heiße Luft und unendlicher Kosmos

Ein Besuch im Science Museum London

von Rosa Jesse



In der Ausstellung „Mathematics: The Winton Gallery“ steht dieser Computer zur Vorhersage der Gezeiten aus dem Jahr 1872.

Soviel vorab: Das Science Museum in London ist riesig. Ich besuchte es an einem Samstag mit einem Gefühl, das sich im Laufe der folgenden Tage als handfeste Grippe entpuppen sollte. Lag es am steigenden Fieber oder an dem Treppauf und -ab durch das historische Gebäude mit seinen mehr als 300.000 Exponaten, dass mein Zustand an diesem Tag zwischen Aufregung, Anstrengung und einem leichten Gefühl von Unwirklichkeit oszillierte? Ich weiß es bis heute nicht und werde bald wiederkommen müssen, um es herauszufinden.

Der Eingang des Museums führt direkt in die „Energiehalle“. Sie wird beherrscht von den massiven Maschinen, die die industrielle Revolution vorantrieben. Die Ausstellungstexte sprechen zwar von der „Kraft des Dampfes“, doch fällt es mir schwer, mir vorzustellen, dass diese eisernen Kolosse allein von heißer Luft in Bewegung gesetzt werden sollen.

Große Fragen für kleine Leute

Der Ort, der für mich den Geist der Wissenschaft lebendig werden ließ, war das „Wonderlab: The Equinor Gallery“. Es ist für Kinder konzipiert und befindet sich im obersten Stockwerk des Museums. Hier knistern Blitze aus einer riesigen Tesla-Spule. Die jungen Besucherinnen und Besucher können auf einer rotierenden Plattform um ein Zentralgestirn kreisen, während charismatische Museumsmitarbeitende ihnen das Sonnensystem erklären. Trockeneis flitzt durch ein Becken und hinterlässt dabei faszinierende Spuren. Ausführliche Erläuterungen oder Hintergrundinformationen sucht man im Wonderlab vergeblich, hier wird nichts wirklich erklärt. Doch die Möglichkeit, seltsame Dinge zu beobachten und mit ihnen zu experimentieren, ist erfrischend.

Kuchen, Codes und Karrieren

Es ist unmöglich, die schiere Menge an Wissenschaft, Exponaten und Geschichten bei einem einzigen Besuch zu erfassen. Nach dem fünften Ausstellungsraum war daher ein Stopp im Café unvermeidbar. Danach begab ich mich in die Ausstellung „Technicians: The David Sainsbury Gallery“. Sie zeigt die Vielfalt von Berufen im technischen Bereich. Hier schweißte ich virtuell eine Achterbahnschiene, schrieb einen Code, der einen

Bilder: Sonny Malhotra

echten Roboterarm steuert, und vieles mehr. Überall laden Schilder zum Mitmachen ein, und man kann sich vorstellen, wie inspirierend dieser Ort auf junge Menschen wirkt.

Endliche Weiten

Zu guter Letzt landete ich in der Weltraumgalerie im Erdgeschoss. Ich saß da und beobachtete, wie sich eine große rotierende Kugel von der Sonne in die Planeten und Monde unseres Sonnensystems verwandelte, begleitet von Erläuterungen zu ihren Eigenschaften und unseren Plänen, sie zu besuchen – von BepiColombo auf dem Weg zum Merkur bis hin zur Reise von JUICE zu den Jupitermonden. Raumschiffmodelle, Raketentriebwerke, Raumanzüge und sogar ein drei Milliarden Jahre altes Stück des Mondes sind hier zu finden, genauso wie eine Probe des Asteroiden Ryugu.

Wenn Sie in London sind, ist das Science Museum ein Muss, aber planen Sie im Voraus, was Sie sehen möchten. Der Kinderbereich ist meine klare Empfehlung, auch wenn Sie offiziell erwachsen sind. Vor der Antwort steht die Frage und nicht immer geht es darum, schnell zur „richtigen Antwort“ zu gelangen. Manchmal kann gerade Nichtwissen Kreativität beflügeln.

Rosa Jesse ist Redakteurin bei EJR-Quartz und verantwortet das englische DLRmagazin. Als Trekkie freut sie sich auf den „Star Trek Warp Trail“ im Science Museum.



SCIENCE MUSEUM LONDON

Adresse
Exhibition Road,
South Kensington,
London, SW7 2DD,
England

Öffnungszeiten:
Täglich 10–18 Uhr

Eintrittspreise:
Der Eintritt zum Museum ist kostenlos, eine Online-Reservierung vorab wird empfohlen.

Das Wonderlab kostet 17 £, eine Jahreskarte 24 £. Familien erhalten Rabatt und Kinder unter drei Jahren haben freien Eintritt.



Zur Webseite des Science Museums



Tausende von Exponaten füllen die Ausstellungsflächen und -räume des Londoner Science Museums.

Eine Hymne auf die Wissenschaft mit Popcorn-Leichtigkeit



Wenn ein Film mit der Prämisse beginnt, dass die Menschheit vor einer Bedrohung aus dem All gerettet werden muss, erwartet man das übliche Hollywood-Katastrophenkino. Doch die filmische Adaption des Andy-Weir-Bestsellers **Der Astronaut – Project Hail Mary** schlägt einen anderen Weg ein: Hier wird der Kinosaal nicht in erster Linie zum Ort eines generischen Effektgewitters und zur Bühne eines strahlenden Superstars, sondern zum wissenschaftlichen Labor. Und in dem werden zwei Dinge nachgewiesen: die Macht des Verstandes und die Kraft der Kooperation.

Ryan Gosling spielt den Wissenschaftler Ryland Grace. Lichtjahre von der Erde entfernt erwacht dieser allein und ohne Gedächtnis auf einem Raumschiff. Nach und nach erinnert er sich an seine Mission: Er muss die Bedrohung allen Lebens auf der Erde durch die Verdunklung der Sonne abwenden. Bei diesem sehenswerten und trotz einer Laufänge von zweieinhalb Stunden sehr kurzweiligen Wettlauf gegen die Zeit erhält Grace unerwartete Hilfe – und es gilt, im Team über sich hinauszuwachsen, um gleich zwei Welten zu retten.

Bei aller Unterhaltung bleibt nur ein Wermutstropfen: der Trend zum überbordenden Humor im modernen Blockbuster-Kino, der auch vor dieser Mission nicht haltmacht. Während der Galgenhumor der Hauptfigur in Weirs Roman als Bewältigungsmechanismus dient, ist er im Film omnipräsent und der Stil „marvelesque“: selbstironisch, sarkastisch, trocken. Es gibt viele Momente, in denen die existenzielle Bedrohung zweier Zivilisationen hinter einem lakonischen Spruch zurücktritt.

Dennoch ist „Der Astronaut“ ein sehr solider Sci-Fi-Film mit viel Science und einer intelligenten Geschichte um eine ganz besondere Partner- und Freundschaft im All. Die Stärke liegt insbesondere in der Begeisterung für die wissenschaftliche Methodik. Erfrischend ist auch, dass der von Gosling verkörperte Grace nicht als unfehlbarer Held inszeniert wird, sondern als „echter Mensch“, der Ängste hat und sich durch Trial-and-Error an ein Ziel herantasten muss. Sandra Hüller als ESA-Mitarbeiterin verkörpert die „bürokratische Unerbittlichkeit“, die ein solches globales Projekt erfordert, und verleiht dem Plot erzählerische Tiefe. Fazit: Genrefans wie wissenschaftlich Interessierte wird der Film gleichermaßen zu unterhalten wissen.

Philipp Burtscheidt arbeitet als Redakteur in der DLR-Kommunikation und liebt es, wenn im Kino Science auf Fiction trifft.



DER ECHE WEG DES MARSIANERS

„Der Astronaut – Project Hail Mary“ ist nach „Der Marsianer“ aus dem Jahr 2015 die zweite Verfilmung eines Science-Fiction-Romans des amerikanischen Schriftstellers Andy Weir. Zum Kinostart von „Der Marsianer“ erstellte das DLR-Institut für Weltraumforschung aus realen wissenschaftlichen Daten der Mission Mars Express eine Animation des Weges, den die von Matt Damon dargestellte Hauptfigur Mark Watney im Film zurücklegt.



Hier geht es zum Video aus Daten der Mission Mars Express

Bild: 2025 Sony Pictures Entertainment Deutschland GmbH

Roter Mars, grüne Sonne



In seinem neuen Buch **Die Farben des Universums (Hanser)** nimmt uns der promovierte Astronom und bekannte Sternengeschichten-Erzähler Florian Freistetter mit auf die Reise durch das nahe und ferne Weltall. Die „Farben“ des elektromagnetischen Spektrums dienen ihm dabei quasi als Einstiegstore für eine populärwissenschaftliche Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Objekten und Phänomenen, die die neuzeitlichen Naturwissenschaften empirisch und theoretisch erhellen haben.

Der kreativen Ader des Autors mag es geschuldet sein, dass die Wahl einzelner Themen, die er mitunter etwas ausholend, doch stets unterhaltsam und mit einschlägigen Wissenschaftsanekdoten gewürzt angeht, weniger einer stringenten Logik, sondern eher assoziativen Einfällen folgt. So nimmt er uns mit zum roten „rostigen“ Mars, zur grün leuchtenden Sonne und zu den orangefarbenen Zwergsternen, deren Planeten beste Kandidaten für eine lang-

währende biologische Evolution zu sein scheinen. Auch führt uns die Reise zum Schwarzen Körper und zu den schwarzen Löchern, zum Echo des Urknalls, zur blauen Tscherenkow-Strahlung, zur Entstehung des Regenbogens sowie zur frühen, eventuell violett leuchtenden Erde und etlichen weiteren Stationen. Dabei fällt dem physikalischen Vorgebildeten beim Lesen freilich auch auf, dass manches zu „rund“ und anderes wiederum leicht unstimmig erklärt wird.

Gut wäre es gewesen, wenn außer Schutzumschlag und Vorsatzblatt auch die 250 Textseiten wohl-dosiert mit farbigen Abbildungen versehen worden wären. Dennoch kann man das handliche Buch allen, die sich von den Errungenschaften der modernen Astrophysik und Planetologie inspirieren lassen möchten, als eine engagiert und kenntnisreich geschriebene Einstiegslektüre ans Herz legen.

Manfred Gaida ist Astrophysiker und unterstützt seit Dekaden die DLR-Kommunikation.



Über Flugzeugabstürze

Unfälle können eine eigenartige Faszination ausüben, insbesondere von großen Maschinen wie Flugzeugen. Manchmal sind es regelrechte True-Crime-Stories: Wie Juliane Koepcke nach dem Absturz einer Lockheed Electra tagelang durch den peruanischen Regenwald irrte oder warum eine Boeing 737-300 mit scheinbar leerem Cockpit über Athen kreiste. Solchen Unglücksfällen widmet sich der Podcast **Flugforensik – Abstürze und ihre Geschichte**, ein Tipp des Newsletters „Oh my Pod“.

Benjamin Denes und **Andreas Spaeth** nehmen die Ereignisse mit journalistischem Präzisionswerkzeug und großem Fachwissen auseinander. Sie sprechen mit Zeitzeugen, Expertinnen und Experten, reisen zu Absturzorten oder zitieren aus Funkverkehr und Unfallberichten. Es geht dabei nicht nur um technische Probleme, sondern auch um mentale Gesundheit, Teamarbeit und darum, dass solche Tragödien dazu geführt haben, dass das Flugzeug heutzutage als eines der sichersten Verkehrsmittel gilt. Für Menschen mit Flugangst scheint es vielleicht absurd, sich einen Podcast über Abstürze anzuhören, Spaeth und Denes berichten aber immer wieder von positiven Rückmeldungen ebenjener. Kurzweilig, spannend und ein bisschen nerdy.

Julia Heil



Der Weg des Sternenvolks

Anfang der 2030er Jahre soll die Internationale Raumstation ISS außer Betrieb genommen werden. Doch was folgt danach? Welche neuen Technologien können wir von der Raumfahrt erwarten? Mit diesen Themen beschäftigt sich der Journalist und Autor **Guido Meyer** in seinem Buch **Sternenwärts – Die Zukunft der Raumfahrt** (Springer).

Aktuell arbeiten zahlreiche Firmen an privaten Raumstationen, im Blick der Forschung sind innovative Technologien wie aufblasbare Module und modulare Konstruktionen. Trägerraketen befinden sich ebenfalls „auf der Rampe“. Dabei spielen aufstrebende Raumfahrtationen wie China und Indien eine immer bedeutendere Rolle. Auch die Pläne für die nächsten Mondmissionen nehmen konkrete Formen an: Nicht nur die NASA und SpaceX haben das Ziel, den Erdtrabanten zu einem bemannten Außenposten der Menschheit zu machen.

Gleichzeitig wird der Mars als nächstes großes Ziel immer bedeutender, ist aber nur ein Zwischenstopp auf dem Weg, der die Menschheit zu einem Sternenvolk macht, so der Autor. Wer sich einen Überblick über die Zukunft der Raumfahrt verschaffen möchte, ist mit dieser gelungenen Lektüre gut beraten.

Andreas Schütz

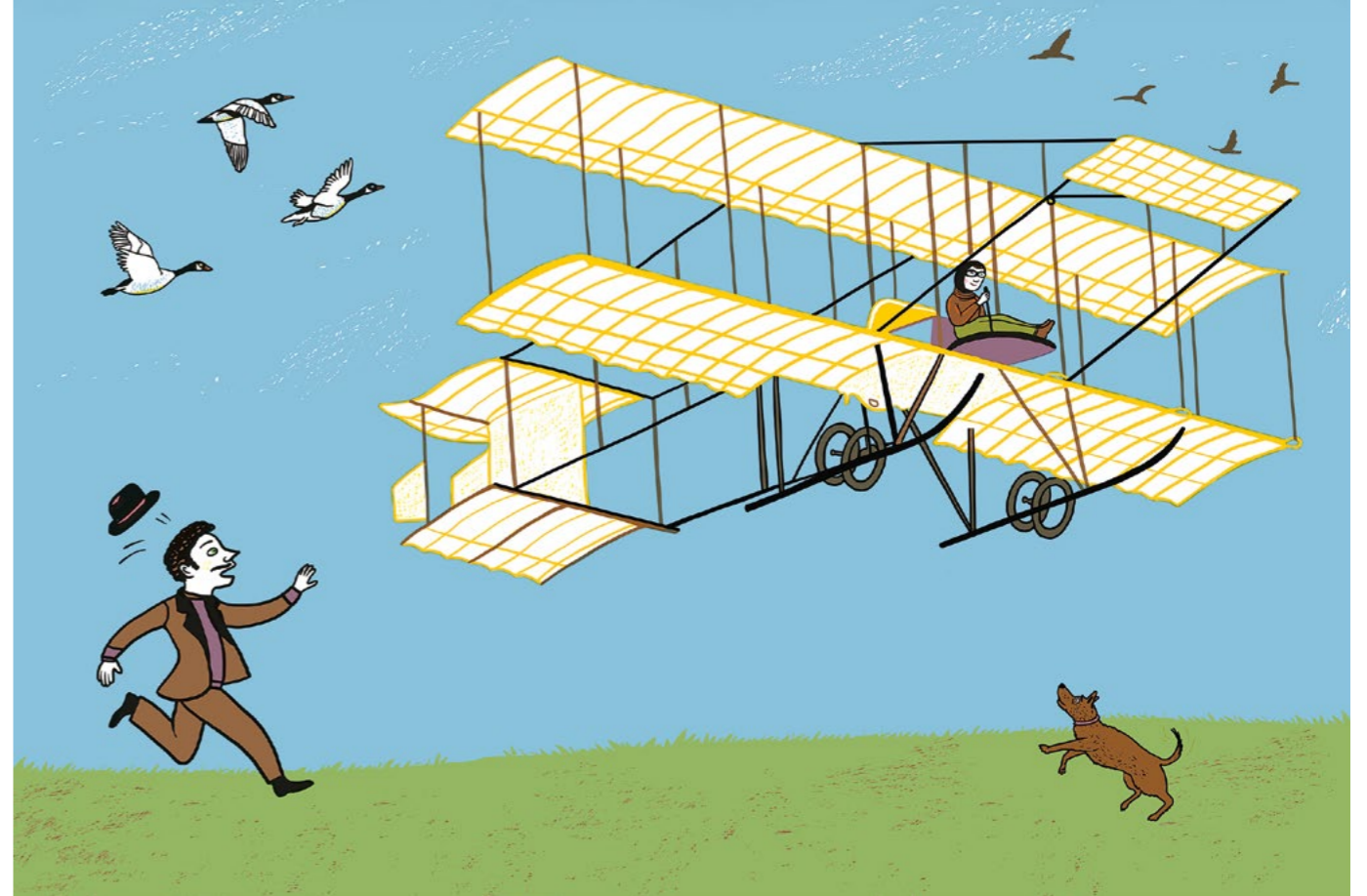


Zwischen Sonden und Schrott

Woher wissen wir, wie das Wetter wird? Und wieso kennt die Navigations-App auf dem Handy den Weg? Vieles auf der Erde ist nur dank der Raumfahrt möglich. In der neuen Ausgabe der Jugendsachbuchreihe „Was ist was?“ mit dem Titel **Raumfahrtkontrollzentrum – Kontakt ins All** (Tessloff) veranschaulicht **Dr. Thomas Uhlig** von der DLR-Einrichtung Raumflugbetrieb und Astronautentraining diesen Zusammenhang und zeigt, was die Satelliten und die Raumstation, die das Nationale Raumfahrt-Kontrollzentrum des DLR steuert, damit zu tun haben.

In gewohnter Was-ist-was-Mannier erklärt Physiker Uhlig die Bedeutung von Flugdirektoren, wie Bodenstationen funktionieren, warum die Telemetrie so wichtig ist oder warum Sonden schlafen müssen. Hilfreich sind dabei die übersichtlichen Grafiken und kleinen Infokästen, die die anspruchsvollen Inhalte verständlich darstellen. Jede Doppelseite widmet sich einem Thema. Auf insgesamt 49 Seiten reisen Kinder und Jugendliche (aber sicher auch interessierte Erwachsene) mit dem Autor von der Erde zur Internationalen Raumstation ISS und sogar weiter bis zum Mond. Raumfahrt, macht Uhlig deutlich, ist immer auch Teamarbeit.

Claudio Steffes-tun



Frauenpower in den schönsten Farben

Ich gebe es zu: Ich habe **Die Abenteuer der ersten Pilotinnen** von **Gareth Harmer (Tulipan)** ganze drei Mal gelesen – und das, obwohl keine Kinder anwesend waren. Zwei Mal wegen der fesselnden Porträts der mutigen Frauen, die als Flugpionierinnen mit ihrer Abenteuerlust und Neugier die Welt verändert haben – und wegen der Zeichnungen von **Katja Spitzer**, die die Geschichte des Fliegens und die atemberaubenden Biografien so eindrücklich verbildlichen. Als Illustratorin gelingt es ihr, kleine und große Leserinnen visuell auf Entdeckungsreise zu schicken. Ich jedenfalls wollte jede einzelne Seite herauslösen, einrahmen und an die Wand hängen. Ein drittes Mal las ich meinem Mann die Geschichten dieser waghalsigen Heldinnen vor, die vor 100 Jahren in Höhen von bis zu 2.000 Metern bei Nebel – praktisch im Blindflug und ohne Kompass –

Gipfelketten passierten. Sie setzten sich riesigen Gefahren aus, überquerten Ozeane und wappneten sich mit Messern für den Fall, dass sie nach möglichen Flugabstürzen Haien im Wasser oder wilden Tieren in der Steppe begegnen würden. Der Kälte und den Unwettern trotzten sie in offenen Flugzeugen und in schwindelerregenden Höhen – in Regenmänteln, Stolen aus Robbenfell und mit Wärmflaschen. Die 56 Seiten des Buchs richten sich nach Verlagsangaben an Leserinnen und Leser von 8 bis 99 Jahren. Die Geschichten voller Frauenpower haben mich nachhaltig beeindruckt und meinen Horizont erweitert.

Andrea Haag arbeitet als Online-Redakteurin bei der DLR-Kommunikation und bringt mit Neugier und Abenteuerlust frischen Wind in Technik und Freizeit – sei es bei der Weiterentwicklung von DLR.de oder beim Segeln und Klettern.



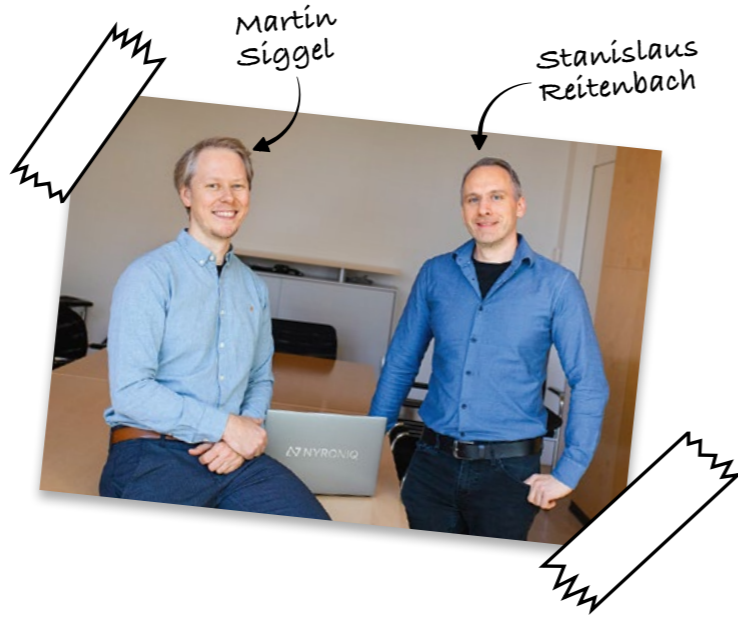
In Gareth Harmers Buch über die „Abenteuer der ersten Pilotinnen“ setzen die liebevollen Illustrationen von Katja Spitzer den Ton.





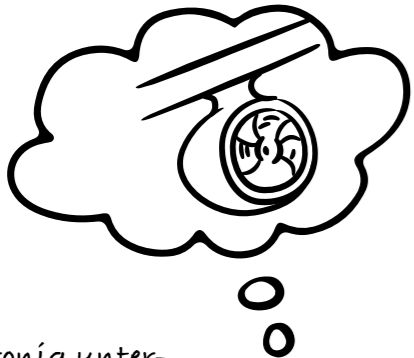
DLR-Institut für Antriebstechnik

LANDEN
Marktreif



Gut simuliert ist halb gebaut

Virtuelle Simulation von Triebwerksentwicklung und -betrieb



Idee

Nyroniq unterstützt Unternehmen dabei, GTLab in ihre Entwicklungsprozesse zu integrieren und weiterzuentwickeln. Mit dieser am DLR entwickelten Software lassen sich Flugtriebwerke und Gasturbinen virtuell modellieren.

Hintergrund

Von der ersten Idee bis zum Moment, in dem ein neues Triebwerk unterm Flugzeugflügel hängt, vergehen viele Jahre. Schneller geht's, wenn möglichst viel aus der realen in die digitale Welt verlagert wird.

Nyroniq macht die Welt besser, weil ...

... Vom Design bis zur Integration und anschließenden Wartung eines Triebwerks alle Prozessschritte virtuell abgebildet werden können. Das spart Zeit, Geld und Material.



Nächste Herausforderung

Die vollständige Integration der GTLab-Software in die bestehenden Designtools eines Kunden noch in diesem Jahr.



Bild: Sofia Wagner/Nyroniq

LANDEN
Gute Frage



Hier geht es zum Forschungsfeld Sichere KI-Methoden

Was bringt ihn auf die falsche Fährte?

Um sicher am Straßenverkehr teilnehmen zu können, müssen autonome Fahrzeuge Verkehrsschilder sicher erkennen. Dazu werden sie mit einer Unmenge von Daten gefüttert. Sind diese Trainingsinformationen jedoch manipuliert, etwa indem einzelne Pixel in Abbildungen verändert werden, ließe sich das Assistenzsystem auch falsch programmieren. Im schlimmsten Fall könnte das gezielt ausgenutzt

werden, sodass derartig trainierte, autonome Fahrzeuge ein Stoppschild immer als Vorfahrtszeichen interpretieren oder einen bestimmten Aufkleber auf dem Schild als Zeichen für „Vollgas“ erkennen. Forschende des DLR-Instituts für KI-Sicherheit arbeiten deswegen daran, die Algorithmen von KI-Anwendungen immun gegen diese Art der Datenvergiftung zu machen. Damit Autos nicht auf die falsche Fährte geraten.

