

A logo for 'DLR Coordination' featuring the DLR star symbol and the text 'DLR Coordination' in a stylized font.

## WISSEN SCHAFFT SICHERHEIT

FORSCHUNG ZUM SCHUTZ UNSERER GESELLSCHAFT

Zum Thema:

- ▶ **SICHER IST SICHER**  
DLR-Technologien für Sicherheit und Verteidigung
- ▶ **NICHT STÖREN!**  
Wenn Stör- und Täuschsignale die Navigation beeinträchtigen
- ▶ **RETTUNG NAHT**  
Neue Technologien für humanitäre Hilfe

## Das DLR im Überblick

Das DLR ist das deutsche Forschungs- und Technologiezentrum für Luft- und Raumfahrt. In seinen Kerngebieten entwickelt das DLR Technologien für Luft- und Raumfahrt, Energie und Verkehr, sowie Sicherheits- und Verteidigungsforschung. Ein breites Spektrum an Ergebnissen und Innovationen bringen Nutzen für Industrie und Wirtschaft, Behörden und Verwaltung sowie für öffentliche Stakeholder. Durch einen intensiven Wissensaustausch und gezielten Technologietransfer stellt sich das DLR seiner Verantwortung gegenüber der Gesellschaft.

Seine institutionelle Förderung erhält das DLR vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und vom Bundesministerium der Verteidigung (BMVg). Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger arbeiten als Managementeinrichtungen für Forschungs- und Industrieförderung.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 54 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für die daraus resultierenden Herausforderungen zu entwickeln. Unsere 11.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall. Wir entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft und tragen durch den Technologietransfer dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

## Impressum

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

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

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

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

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten  
Gestaltung: bplUSD agenturgruppe GmbH, Am Kabellager 11–13, 51063 Köln, bplUSD.de  
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.



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.



## IN EIGENER SACHE

Ansprechende Ästhetik, verschiedene Veredelungen und variierende inhaltliche Schwerpunkte – der DLR-Wandkalender führt mit großformatigen Bildern über die Jahre quer durch alle Forschungs- und Themenbereiche. Erstmals ist er nun exklusiv über den Spaceshop des Sozialwerks im DLR erhältlich.

Im kommenden Jahr steht der Kalender unter dem Motto „Aura – Strahlkraft der Forschung“. Abhängig von den Lichtverhältnissen, dem Betrachtungswinkel und der Stimmung scheinen die Bilder aus sich selbst heraus zu leuchten und auf die Umgebung auszustrahlen. Die bildende Kunst hat dieses Phänomen schon vor Jahrhunderten als Stilmittel übernommen, zum Beispiel in Form des Heiligenscheins („Aureole“), später fand es Eingang in die Fotografie.

Zwölf Motive entführen in faszinierende Welten: Vom Inneren einer Solaranlage über den Polarkreis bis hin zur Oberfläche der Venus erzielt jedes Motiv eine ganz eigene Wirkung. Dabei besitzen sie trotz allem eine Gemeinsamkeit: das einzigartige Momentum, das der Wissenschaft innewohnt, wenn sie – im Labor oder im Feld – die Grenzen des Bekannten erweitert. Ihre Erkenntnisse strahlen letzten Endes auf uns alle aus und stärken unsere Gesellschaft, auch und gerade in unsicheren Zeiten.



## Liebe Leserinnen und liebe Leser,

die heutige Welt ist von Unsicherheiten geprägt. Die Kriege unserer Zeit werden nicht nur auf dem Schlachtfeld entschieden, sie wirken auch tief hinein in unsere zivile Gesellschaft: Cyberangriffe auf kritische Infrastrukturen nehmen zu. Wissenschaftliche Forschung im Bereich Sicherheit und Verteidigung hilft uns, einen größeren gesellschaftlichen Schutzschirm zu spannen. Dabei geht es nicht nur um militärische Technik oder politische Strategien, sondern auch um innovative Ansätze, die unser aller Leben sicherer machen. Das DLR arbeitet schon seit vielen Jahren in den verschiedensten Bereichen der Sicherheits- und Verteidigungsforschung, seien es sichere Infrastrukturen im All, Maßnahmen gegen Angriffe auf die Satellitennavigation, sogenanntes Jamming und Spoofing, oder Technologien für die humanitäre Hilfe. In dieser Ausgabe des DLRmagazins geben wir Ihnen einen Einblick in die große Bandbreite der Forschung.

Am DLR-Standort Trauen wurde beispielsweise das Kompetenzzentrum für reaktionsschnelle Satellitenverbringung (RSC<sup>3</sup>) eingerichtet. Mit der dortigen Laserbodenstation haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den gesamten Himmel im Blick – allen voran das globale Galileo-System. Fällt einer dieser Satelliten aus, ist schnelles Handeln gefragt.

Eine schnelle Reaktion ist auch im Bereich der humanitären Hilfe unerlässlich. Im Sommer zeigten DLR-Forschende gemeinsam mit dem Bayerischen Roten Kreuz und dem Welternährungsprogramm der Vereinten Nationen in Testläufen des Amphibienfahrzeugs SHERP, wie humanitäre Hilfe in Zukunft aussehen kann. Der SHERP kann autonom in Krisen- oder Flutgebiete fahren, Menschen mit Hilfsgütern versorgen sowie Verletzte aufnehmen und in sicherere Gebiete transportieren – und das alles, ohne das Leben der Einsatzkräfte zu gefährden.

Darüber hinaus werfen wir in diesem Heft einen Blick auf den Bahnverkehr der Zukunft. Die Digitalisierung der Bahn kann dringend notwendige Kapazitäten schaffen, um mehr Menschen und Güter auf den Schienen zu transportieren. In den Testlaboren des DLR werden dafür neue Konzepte und Technologien entwickelt und erprobt. Außerdem stellen wir Ihnen das Start-up heatbAln vor, das Kommunen dabei unterstützt, Wärmepläne aufzusetzen und Wärmenetze zu realisieren.

Wir wünschen Ihnen eine unterhaltsame und anregende Lektüre

Ihre Redaktion

# DLRmagazin 176



SICHER IST SICHER

8



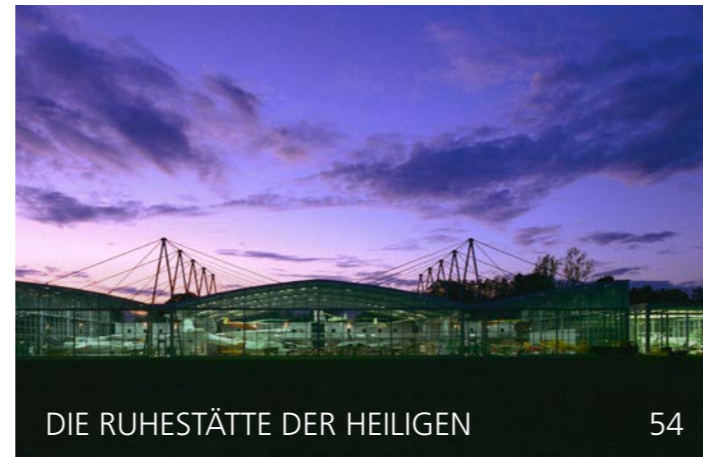
NICHT STÖREN!

14



RETTUNG NAHT

18



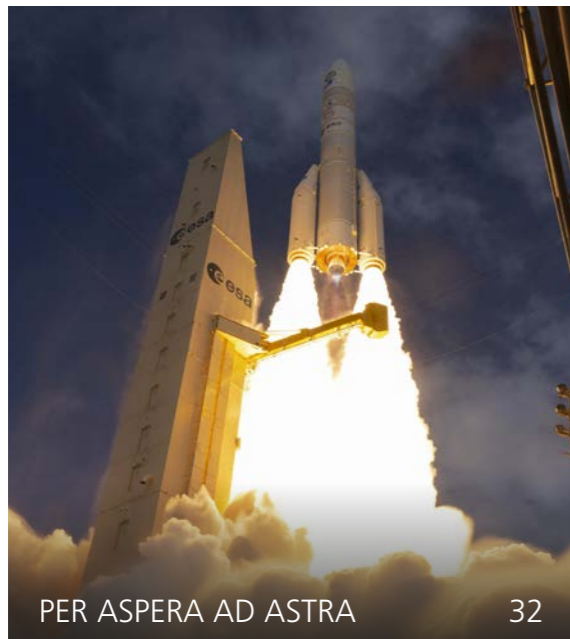
DIE RUHESTÄTTE DER HEILIGEN

54



DEN DIGITALEN KNOTEN ENTFESSELN

40



PER ASPERA AD ASTRA

32



SAUBERE LEISTUNG

24



START-UP-POWER FÜR DIE WÄRMEWENDE

46

<b>MELDUNGEN</b>	6
▶ <b>SICHER IST SICHER</b> DLR-Technologien für Sicherheit und Verteidigung	8
▶ <b>NICHT STÖREN!</b> Wenn Jamming und Spoofing die Navigation beeinträchtigen	14
▶ <b>RETTUNG NAHT</b> Neue Technologien für humanitäre Hilfe	18
<b>INFOGRAFIK</b> Technik im Grünen – das H <sub>2</sub> -Container-Technikum	22
<b>SAUBERE LEISTUNG</b> Gasturbinen für den Wasserstoffbetrieb umrüsten	24
<b>AUF DEM SPRUNG IN DIE PRAXIS</b> Quantencomputing in die Anwendung bringen	28
<b>EINBLICK</b> Schau mir in die Augen	30
<b>PER ASPERA AD ASTRA</b> Ariane 6: eine neue Ära der europäischen Raumfahrt	32
<b>VON DER ERDE INS ALL – UND WIEDER ZURÜCK</b> Wie Raketen wiederverwendbar werden	36
<b>DEN DIGITALEN KNOTEN ENTFESSELN</b> Das DLR bringt die Digitalisierung der Schiene voran	40
<b>GESTERN SCHON AN ÜBERMORGEN GEDACHT</b> Die Rolle des DLR Projektträgers in der Forschungsförderung	44
<b>START-UP-POWER FÜR DIE WÄRMEWENDE</b> heatbrAln liefert umfangreiche und präzise Daten	46
<b>DIE HUBSCHRAUBERIN</b> Im Gespräch mit Elizabeth Buron, DLR-Projektmanagerin	50
<b>AUS DEM ARCHIV</b> Simon Marius: bedeutender Astronom und ewiger Zweiter	52
<b>DIE RUHESTÄTTE DER HEILIGEN</b> Die Flugwerft Schleißheim des Deutschen Museums	54
<b>FEUILLETON</b>	58

# MELDUNGEN

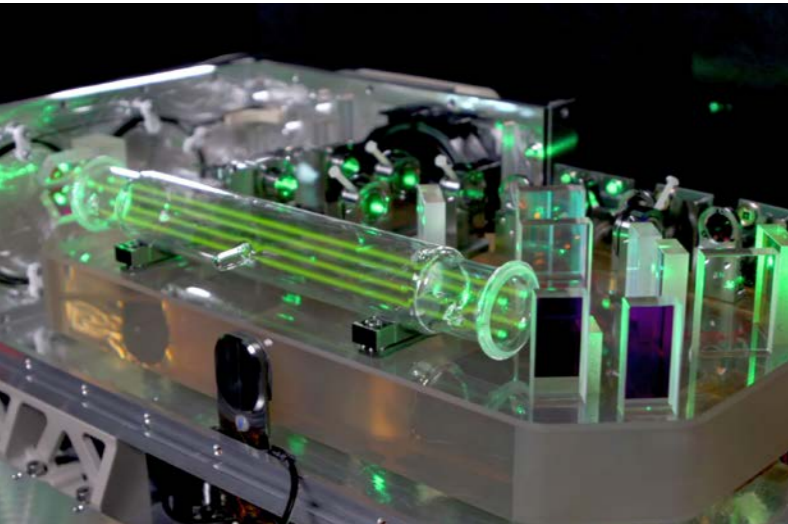
## FALLSCHIRMTESTS BEI DER MOBILEN RAKETENBASIS

Seit fast 60 Jahren verantwortet die Mobile Raketenbasis (MORABA) des DLR Planung, Vorbereitung und Durchführung von suborbitalen Höhenforschungsmissionen. Mit eigens entwickelten Trägersystemen bietet sie eine einzigartige Plattform für wissenschaftliche Experimente unter Weltraumbedingungen, unter anderem in der Atmosphärenphysik, Mikrogravitations- und Hyperschallforschung, hier als „fliegender Windkanal“. Drei in Art und Aufbau verschiedene Fallschirmbergungssysteme für Land und See werden in der Gruppe Mechanische Flugsysteme der MORABA entwickelt, integriert sowie während der Startkampagnen betreut.

Diesen Sommer führte die Gruppe erfolgreich einen sogenannten boden-gestützten Auszugsversuch auf dem Gelände des Sonderflughafens Oberpfaffenhofen durch. Ziel war es, eine weiterentwickelte Packmethode an einem Hauptfallschirmsystem für den Raumflugeinsatz zu qualifizieren. Hiermit entfaltet sich der Schirm noch zuverlässiger. Unterstützung erhielten die Forschenden dabei von der DLR-Sportfluggruppe Oberpfaffenhofen.



Eine Hochgeschwindigkeitskamera zeichnete auf, wie der Fallschirm aus der Packhülle herausgezogen wird.



Mit einem Laser wird die optische Uhr auf eine quantenphysikalisch gegebene Schwingung von Jodmolekülen abgestimmt. Wenn das Laserlicht und die Schwingung der Jodmoleküle in Resonanz sind, leuchten diese grün.

## DLR-LASERUHR ERREICHT SPITZENGENAUIGKEIT

Eine Laseruhr des DLR hat die Weltspitze an Genauigkeit für optische Uhren erreicht. Ihre Abweichung entspricht einer Sekunde in 30 Millionen Jahren. Die Quanteneigenschaften von Jodmolekülen geben den Takt der Laseruhr vor.

Aktuell entwickelt und baut das DLR im Projekt COMPASSO eine weltraumtaugliche Version der Laseruhr. Ab 2027 wird diese auf der Internationalen Raumstation ISS für den Einsatz auf Satelliten erprobt. Weltraumtaugliche Laseruhren sollen künftig zu einer zentimetergenauen Satellitennavigation beitragen. Sie versprechen neue Möglichkeiten in der vernetzten Mobilität oder beim autonomen Fahren und einen leistungsstärkeren Datentransfer in der weltweiten Kommunikation sowie in Handel und Logistik.

## REGIONALMELDUNGEN:

**BERLIN:** Das Projekt EXPERI erforscht die Verkehrswende in Städten. Um festzustellen, wie mehr Aufenthaltsqualität für den Fuß- und Radverkehr geschaffen werden kann, wurde die Zufahrt zu bestimmten Straßen für Pkw für einen begrenzten Zeitraum eingeschränkt. Für die Verkehrswende ist es wichtig, dass Autofahrende Mobilitätsalternativen mit anderen Verkehrsmitteln machen und die Stadt dadurch anders wahrnehmen.

**COCHSTEDT:** In Flugversuchen mit dem DLR-Forschungshubschrauber BO105 und mehreren Drohnen bestätigte das DLR die Funktion eines neuen Radarsystems. Dieses soll den unkontrollierten Luftraum über städtischen Gebieten überwachen. Die Flugversuche fanden im Rahmen des Projekts MIMO Air (Multiple Input and Multiple Output) am Flughafen Magdeburg-Cochstedt statt.

**DRESDEN:** Das DLR hat ein neues Gebäude des Instituts für Softwaremethoden zur Produkt-Virtualisierung eingeweiht. Das 2017 gegründete Institut widmet sich der Virtualisierung im Bereich Flugzeugbau wie der gesamten Prozesskette vom ersten digitalen Entwurf bis zur simulierten Außerdienststellung.

## INTELLIGENTER FLUGZEUGFLÜGEL SPART KRAFTSTOFF

Flugzeugtragflächen haben ihre Form und Größe im Laufe der letzten 60 Jahre auf den ersten Blick kaum verändert. Dabei können Flügel mit größerer Spannweite die Luftfahrt klimaverträglicher machen. Im Projekt INTELWI (Intelligent Wing) untersuchten sieben DLR-Institute mit Projektbeteiligten aus Wissenschaft und Industrie, wie effiziente Tragflächen der Zukunft aussehen müssen. Das Ergebnis: ein intelligenter, hochgestreckter Flügel, der bis zu fünf Prozent Kraftstoff einsparen könnte. Dieser Flügel ist etwa 30 Prozent schlanker als üblich und mit neuen Technologien ausgestattet: multifunktionalen Steuerflächen sowie zentralen und dezentralen Steuerungs- und Reglersystemen zur Böen- und Manöverlastreduktion. Das Verbundvorhaben wurde im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.



Simulation vom Start eines Langstreckenverkehrsflugzeugs mit hochgestrecktem, lastgeregeltem, ultraeffizientem und intelligentem Flügel



Der ESA-Astronaut Alexander Gerst schaltet den EML nach erfolgreicher Installation im Columbus-Modul zum ersten Mal ein.

## ZEHN JAHRE SCHWEBENDE METALLE IM ALL

Der elektromagnetische Levitator (EML) ist eine Anlage an Bord der Internationalen Raumstation ISS. Sie wurde 2014 von Astronaut Alexander Gerst in Betrieb genommen und befindet sich im europäischen Columbus-Modul. Die Anlage ist für Materialwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler von großer Bedeutung und wird von internationalen Forschungsgruppen genutzt. Mittels elektromagnetischer Felder werden hier Metallproben freischwebend positioniert und geschmolzen. So werden präzise Materialdaten bei verschiedenen Temperaturen vom flüssigen Zustand bis zur Erstarrung gewonnen. Dies geschieht ohne Kontakt zu einer Tiegelwand, welche die Messgenauigkeit beeinträchtigen könnte. Mit dem EML steht ein Labor mit vielfältigen Möglichkeiten zur Verfügung, das Proben von Metalllegierungen und

Halbleitern im Bereich von 400 bis 2.000 Grad Celsius schmelzen und erstarren lassen kann. Während des Prozessierens erhalten Forschende auf der Erde Echtzeitdaten und Videoaufnahmen. Sie können „live“ in den Prozess eingreifen. Die Experimente werden vom Kontrollraum des Microgravity User Support Center (MUSC) des DLR in Köln aus durchgeführt.

In den vergangenen zehn Jahren wurden 54 Proben prozessiert und die Anlage mehr als 500 Tage genutzt. Für die Durchführung der Experimente wurden weit mehr als 100.000 Kommandos vom Kontrollraum an die ISS geschickt. Aktuell wurde die vierte Probenkammer an den EML angebracht und das Programm wird mit den 18 integrierten Proben fortgesetzt.

### DLR.DE: MELDUNGEN AUF UNSERER WEBSITE

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

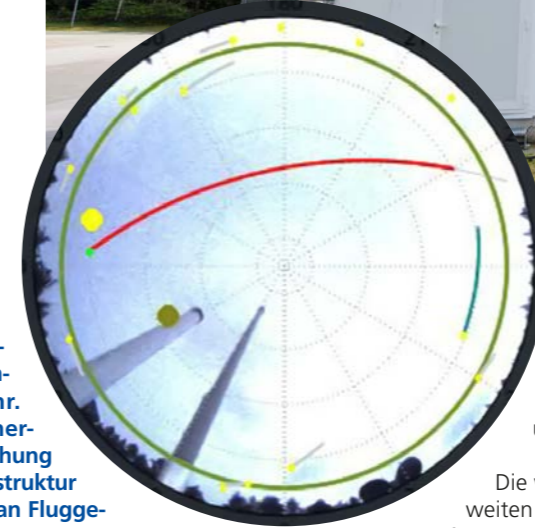
[DLR.de/meldungen](https://www.dlr.de/meldungen)

**GÖTTINGEN:** Forschende des DLR-Instituts für Antriebstechnik haben gemeinsam mit Rolls-Royce Deutschland umweltfreundlichere Flugzeugantriebe entwickelt. Dabei nutzten sie sogenannte Winglets an den Spitzen der Turbinenschaufeln, die deren Wirkungsgrad erhöhen. Diese Technologie kommt bereits in den neuesten Rolls-Royce-Antrieben der Pearl-Triebwerksfamilie zum Einsatz und hat den Treibstoffverbrauch deutlich reduziert.

**HAMBURG:** In der diesjährigen DLR Design Challenge erzielten Studierende der TU Berlin mit ihrem Konzept CHARGE den ersten Platz. Aufgabe war es, ein ökologisches und gleichzeitig wirtschaftliches Kurzstreckenflugzeug zu entwerfen. CHARGE (Carbon-neutral High-efficiency Aircraft for ReGional Electric flight) setzt auf die Kombination aus einer Box-Wing-Konfiguration mit verteilten elektrischen Antrieben, um hohe Effizienz in Aerodynamik und Vortrieb zu erzielen.



Die Laserbodenstation LaBoT in Trauen mit geöffneter Kuppel. Im Innern ist das Spiegelteleskop zu erkennen. Es kann Satelliten auf ihren Bahnen exakt verfolgen. Links: Innenansicht der LaBoT.



**Das DLR entwickelt Technologien für Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr. Außerdem ist es in der Sicherheits- und Verteidigungsforschung aktiv. Es geht darum, die Infrastruktur im All zu schützen, Schäden an Fluggeräten zu erkennen und bei Katastrophen zu helfen – und das sind nur drei Beispiele von vielen.**

Mausklick die Kuppel der LaBoT, zwei Klappen bewegen sich seitlich, das Teleskop richtet sich aus. Sonst ist nichts zu sehen. Der Laser bleibt im Nahinfrarotbereich und ist damit für das menschliche Auge unsichtbar.

Die vom RSC<sup>3</sup> betriebene LaBoT gehört zu einem europäischen Netzwerk von Laserbodenstationen. Dieses dient der Erforschung zukünftiger resilienter optischer Kommunikationstechnologien. Im nationalen Kompetenzzentrum des DLR geht es vor allem um die Themen Sicherheit, Bewältigung von Krisen und Schutz kritischer Infrastruktur im All.

Dr. Alexander Köhler schaut auf seinen Monitor: Er sieht geschwungene Linien, gelbe, grüne, orangefarbene, rote, einige spitzer oder höher aufragend als die anderen. „Die roten Linien sind die Galileo-Satelliten“, erklärt Köhler. Er sitzt im mobilen Container der Laserbodenstation (LaBoT), umgeben von Bildschirmen, die Zahlenreihen, Kamerabilder und eben die bunten Linien zeigen. Jede Linie ist ein Satellit, der am Horizont auftaucht. Die LaBoT hat den gesamten Himmel im Blick und erkennt an diesem Nachmittag mehr als 30 Satelliten. In der Kuppel neben dem Container kann ein Spiegelteleskop den Satelliten folgen und Daten empfangen oder senden. Laserkommunikation mit Satelliten unter realen Bedingungen ist ein Forschungsschwerpunkt im Responsive Space Cluster Competence Center (RSC<sup>3</sup>), dem Kompetenzzentrum für reaktionsschnelle Satellitenverbringung, am DLR-Standort Trauen.

Und Trauen – wo ist das nochmal? Das Örtchen in der Lüneburger Heide liegt zwischen Hamburg und Hannover. Der DLR-Standort gehört zu Faßberg, wo die Luftwaffe der Bundeswehr vertreten ist. Die Umgebung ist ländlich, größere Städte Fehlanzeige. Wer will hier arbeiten? Bei einem Blick auf das Gelände ist leicht zu verstehen, warum man in der Gegend öfter „Hightech in der Heide“ hört. Dr. Andreas Ohndorf, kommissarischer Einrichtungsleiter von

*„Das Ziel von RSC<sup>3</sup> ist es, die technologischen Grundlagen zu schaffen für zukünftige Welt-rauminfrastrukturen, um sie resilienter zu machen gegen Ausfall.“*

**Dr. Andreas Ohndorf**  
Leiter Kompetenzzentrum für reaktionsschnelle Satellitenverbringung (RSC<sup>3</sup>)

Das globale Galileo-System wird für Verkehrsinformationen und das Flottenmanagement, in der Landwirtschaft, Industrie und Energiewirtschaft oder von Behörden genutzt. Köhler öffnet per



# SICHER IST SICHER

DLR-Technologien für Sicherheit und Verteidigung

von Katja Lenz

## SICHERHEITS- UND VERTEIDIGUNGSFORSCHUNG IM DLR

Das DLR steht für Forschung und Technologieentwicklung in der Luft- und Raumfahrt, in Energie und Verkehr, aber auch in der zivilen Sicherheits- und in der Verteidigungsforschung. Aktuelle Projekte befassen sich unter anderem mit der Luftverteidigung, der Positionsbestimmung orbitaler Objekte, den Fähigkeiten von Kleinsatelliten, einer hochfliegenden Plattform, Hubschraubereinsätzen in der maritimen Notfallvorsorge, der Ortung von Gefahrstoffen oder der Quantensensorik in der maritimen Aufklärung. Allgemeine Schwerpunkte in diesem Forschungsbereich sind maritime Sicherheit, wehrtechnische Forschung sowie zivile Sicherheitsforschung und Dual Use. 29 von 54 DLR-Instituten und -Einrichtungen leisten Beiträge für den Bereich Sicherheitsforschung.

Weitere Informationen zur DLR-Sicherheitsforschung:





*„Zur Not bringt man Strom und Wasser mit. Dann läuft der Einsatz komplett unabhängig von einer Infrastruktur vor Ort.“*

**Nora Riedel**  
Wissenschaftlerin am RSC<sup>3</sup>

Ein Projekt, das vom RSC<sup>3</sup> geleitet wird, ist REACTS (Responsive European Architecture for Space). 39 europäische Institutionen und Unternehmen aus 13 Ländern wollen ein reaktionsfähiges Netzwerk aufbauen. Das Ziel: innerhalb von 72 Stunden Satelliten in erdnahen Umlaufbahnen (Low Earth Orbit) zu platzieren. So sollen Lücken geschlossen werden, wenn nach einem Ausfall etwa die Satellitenkommunikation gestört ist. Drei Tage sind eine sehr kurze Zeit, um einen Satelliten zu starten und in Betrieb zu nehmen. Üblicherweise werden Satellitenmissionen über Jahre geplant.

#### Rütteltest für Satelliten

In einer grauen Schnellbauhalle verbirgt sich das RSTEC, das „Responsive Space Technology Evaluation Center“. Es gehört zur Abteilung Weltraumsegment des RSC<sup>3</sup>. Hier werden Kleinsatelliten weiterentwickelt und getestet, bis klar ist, dass sie den Start überstehen und im All funktionieren. Hannes Brandt zieht sich um, bevor er die Reinraumlabore betritt: Kittel, Hose, Haube, Handschuhe, Schuhüberzug. Kein Staubkorn soll dazwischenkommen, wenn er einen Satelliten in den Lageregelungsstand spannt. Die Konstruktion mit drei Rotationsachsen zeigt, ob und wie sich der Satellit im Orbit zurechtfinden würde. Hannes Brandt kann ein Magnetfeld oder eine künstliche Sonne zuschalten und Beschleunigungen simulieren. In einem anderen Reinraum prüfen die Forschenden, ob Satelliten Temperaturschwankungen und Vakuum aushalten. Unter welchen Bedingungen und wie lange können Satelliten startklar aufbewahrt werden? Um diese Frage zu beantworten, gibt es im RSTEC den glockenförmigen Transport- und

RSC<sup>3</sup>, sagt: „Innerhalb von drei Jahren konnten wir 30 Mitarbeitende gewinnen. Wir planen weitere 20 bis 30 in den kommenden Jahren einzustellen.“

#### Resiliente Weltraumsysteme entwickeln

„Das Ziel von RSC<sup>3</sup> ist es, die technologischen Grundlagen zu schaffen für zukünftige Weltrauminfrastrukturen, um sie resilienter zu machen gegen Ausfall“, sagt Andreas Ohndorf. Resilient bedeutet unter anderem widerstandsfähig gegen Belastungen, wehrhaft gegen Bedrohungen, schnell einsatzbereit und nachhaltig. Weltraumsysteme zählen zu den kritischen Infrastrukturen (KRITIS), sie müssen deshalb geschützt werden. Das gilt für die zivilen Anwendungen und ebenso für militärische. Auch das wird im RSC<sup>3</sup> berücksichtigt. „Wir antizipieren innovative und disruptive Technologien der Zukunft und entwickeln Antworten für Frieden und Krise sowie zur Landes- und Bündnisverteidigung“, ergänzt Wolfgang Jung, Leiter Technologie und Abteilungsleiter Technologiedemonstration im RSC<sup>3</sup>.

#### Raketenstart an jedem Ort

Wenige Schritte vom LaBoT entfernt befindet sich ein Standardcontainer, der auf Lkw, Schiffe oder Züge geladen werden kann. Unscheinbar von außen, nur der „MoHyPer“-Schriftzug und die Logos von DLR und RSC<sup>3</sup> fallen etwas auf. MoHyPer heißt Mobile Hydrogen Peroxide Transport and Storage Container, er wurde im RSC<sup>3</sup> entwickelt. Innen ist der Container mit blankem Edelstahl ausgekleidet, dazu sind verschiedene Zylinder, Rohre und Regler vorhanden. MoHyPer kann 1.100 Liter hochkonzentriertes Wasserstoffperoxid lagern. Das ist ein Treibstoff für Raketen- und Satellitenantriebe. Wo auch immer der Container steht – alles, was er zusätzlich braucht, sind ein Strom- und ein Wasseranschluss. Oder auch nicht: „Zur Not bringt man Strom und Wasser mit“, sagt Nora Riedel, die am MoHyPer arbeitet. „Dann läuft der Einsatz komplett unabhängig von einer Infrastruktur vor Ort.“ Aus dem Container kann problemlos eine Raketenoberstufe betankt werden, die zum Beispiel einen Kleinsatelliten in den Orbit transportiert. Kleinsatelliten wiegen 500 Kilogramm oder weniger, manche sind nur so groß wie ein Schuhkarton. Nora Riedel schreibt gerade ihre Doktorarbeit am DLR in Trauen, es geht passenderweise um die Zersetzung von Wasserstoffperoxid.

Im Lageregelungsstand des RSTEC in Trauen kann getestet werden, wie sich Satelliten im Orbit verhalten.



Lagerungsbehälter TULBE. „Wenn ein Satellit innerhalb von wenigen Tagen funktionsfähig im All sein soll, muss er bereits mit Betriebsstoffen und Antriebssystem am Startplatz lagern, um schnell reaktiviert werden zu können“, sagt Wolfgang Jung. „Zum Planen, Zusammenbauen und Testen ist dann keine Zeit mehr.“

Das RSTEC und seine Möglichkeiten werden nicht nur vom DLR, sondern auch von anderen Forschungsinstituten und der Industrie genutzt. Die Vernetzung nach außen und die Zusammenarbeit seien wesentlich für den Erfolg von RSC<sup>3</sup>, sagt Wolfgang Jung. „So leisten wir unseren technologischen Beitrag für eine höhere Sicherheit und Resilienz der zukünftigen Weltraum-Infrastruktur.“ Unterstützt wurden LaBoT, MoHyPer und RSTEC durch EFRE-Fördermittel (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung) des Landes Niedersachsen.



Versuchsaufbau an der Air-Brake: Mit dem Gerät können Belastungen ausgelöst und analysiert werden.

#### Sicherheit in der Luftfahrt

Von Trauen aus knapp 100 Kilometer weiter südlich: Szenenwechsel von der Raumfahrt zur Luftfahrt – aber auch hier ist die Sicherheit im Fokus. In einem Foyer des DLR-Instituts für Systemleichtbau in Braunschweig stehen unter anderem ein kreisrunder Tank, verschiedene Schutzhelme, ein Teil eines Passagierflugzeugs – und die Air-Brake, eine Bremsklappe aus einem Kampfflugzeug. „Wir zeigen hier, was mit Verbundwerkstoffen alles möglich ist“, sagt Dr. Robert Kaps. Alle ausgestellten Produkte haben ein charakteristisches schwarzes Muster: Einzelne Bündel von bis zu 24.000 Filamenten – also feinsten Kohlenstoff-Fäden – werden geflochten oder einzeln abgelegt, mit Harz getränkt, erhitzt und ausgehärtet. „Unser Institut entwickelt und erprobt neue Leichtbautechnologien, die Ressourcen schonen und klimafreundliche Systemlösungen ermöglichen“, ergänzt Robert Kaps.

Bremsklappen an Flugzeugen sind in der Regel aus Metall. Sie verringern die Geschwindigkeit eines Fluggeräts, wenn sie ausgefahren werden. „Die Struktur muss hohe Belastungen aushalten. Das funktioniert gut mit den besonderen Eigenschaften von Verbundwerkstoffen. Gleichzeitig können diese durch Funktionsintegration und die Reduktion von Teilezahlen die Produktion vereinfachen und Kosten senken“, sagt Kaps. Die Wissenschaftlerinnen und Wissen-



## TECHNOLOGIEN GEMEINSAM SCHÜTZEN

Die DLR-Vorstandsvorsitzende Prof. Dr.-Ing. Anke Kaysser-Pyzalla gibt einen Einblick in die Sicherheits- und Verteidigungsforschung am DLR.

### Frau Kaysser-Pyzalla, welche Bedeutung hat die Sicherheits- und Verteidigungsforschung im DLR?

■ Für das DLR bilden die zivile Sicherheits- und die wehrtechnische Verteidigungsforschung einen weiteren Fokus, entsprechend unserem gesellschaftlichen Auftrag. Die geopolitischen Entwicklungen seit 2014 haben eine für Europa einmalige und einschneidende Wende eingeleitet. Durch unsere Kompetenzen und die Beherrschung von Schlüsseltechnologien können wir einen wichtigen Beitrag für die Sicherheit der Gesellschaft und ihrer Infrastrukturen leisten. Die institutionelle Finanzierung unserer zivilen Sicherheits- und Verteidigungsforschung erfolgt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und das Bundesministerium der Verteidigung. Weitere Mittel erhalten wir durch Sonderfinanzierungen sowie durch Kooperationen mit Behörden und öffentlichen Einrichtungen, Organisationen und der Wirtschaft. Über unser Büro in Brüssel konnten wir auch Mittel des European Defence Fund akquirieren.

### Seit wann ist das DLR in der Sicherheits- und Verteidigungsforschung aktiv?

■ Die Sicherheits- und Verteidigungsforschung gibt es im DLR schon seit mehr als 30 Jahren. Aber lange Zeit stand sie nicht so sehr im Fokus der Öffentlichkeit. Es hat auch ehrlich gesagt früher nicht so viele Leute interessiert. Gestern wie heute forschen und kooperieren wir im Interesse der Sicherheit Deutschlands und seiner Bündnispartner.

### Was kann das DLR anbieten?

■ Durch das Verknüpfen unserer Expertise in der Luft- und Raumfahrt mit unseren Kompetenzen in Energie und Verkehr sowie Digitalisierung können wir zum einen das volle Potenzial für die Sicherheits- und Verteidigungsforschung im DLR entfalten. Zunächst ein Beispiel aus der zivilen Sicherheitsforschung: Wir haben während des Hochwassers im Frühsommer die Katastrophengebiete in Bayern überflogen und Echtzeitlagebilder erstellt. Mit diesen können Rettungskräfte unter anderem befahrbare Wege finden. Zum anderen forschen wir für den Schutz von Häfen im Bereich der maritimen Sicherheit. In der Raumfahrt geht es ebenfalls um den Schutz von kritischen Infrastrukturen, gerade auch bei der Sicherheit von Satelliten.

### Wie sehen die Kooperationen aus, welche gibt es?

■ Aufgabe des DLR ist es, Unterstützung zu leisten, zu beraten und mit Wissen und Technologien zur Sicherheit Deutschlands beizutragen – wie auch Innovationen und Entwicklungen voranzutreiben, diese schnell in Anwendungen und Fähigkeiten zu bringen. Gemeinsame Übungen mit Behörden, Polizei und Feuerwehr gehören für uns zum Tagesgeschäft, wie auch strategische Kooperationen mit dem World Food Programme (WFP) und der Bundespolizei. Auch leisten Mitarbeitende des DLR ihren Reservistendienst an verschiedenen Stellen und bringen sich mit ihren Kompetenzen ein. Außerdem führen wir gemeinsame Projekte durch, so mit I.S.A.R. Germany (International Search and Rescue Germany). Mit unseren Drohnen helfen wir bei der Kartierung von Katastrophengebieten und unterstützen damit die Rettungskräfte. Wir sind in der Lage, die für Kooperationen nötige Expertise in der kompletten Spannweite des DLR bereitzustellen. Durch den intensiven Wissensaustausch mit Behörden, wie dem WFP und dem Technischen Hilfswerk, und öffentlichen Stakeholdern sowie einem gezielten Technologietransfer mit der Wirtschaft stellt sich das DLR seiner Verantwortung gegenüber der Gesellschaft. Das verlangt aber auch, dass wir die Sicherheits- und Verteidigungsforschung mit der Industrie, der Politik und der Forschung neu, weiter und vor allem gemeinsam denken. Dazu gehören auch Maßnahmen, um unser Wissen und unsere Technologien gemeinsam zu schützen.



Im Lageraum des Zentrums für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) laufen alle Informationen zusammen. Hier werden aus Erdbeobachtungsdaten und weiteren Geodaten Lagebilder erstellt.

schaffler haben für die Air-Brake zwei Schalelemente entworfen und zusammengeklebt. Einiges an Entwicklungsleistung war notwendig, um die Elemente zu verbessern, zu testen und weiter zu optimieren. Mehr als 30 Sensoren stecken in der Unterseite und den Lastenleitungsbeschlägen zur Strukturüberwachung. Diese auch „Brackets“ genannten Beschläge, die an ein Knochenskelett erinnern, verteilen die Last in die Klappe beim Öffnen gegen den Winddruck. „Im Flugzeugbau gibt es gerade viele neue Herausforderungen“, sagt Robert Kaps. „Das DLR kann mit seiner Expertise wesentlich zur Lösungsfindung beitragen.“

#### Den digitalen Zwilling immer dabei

An der Air-Brake wird außerdem demonstriert, wie Flugzeuge gewartet werden können. Wenn ein Gegenstand auf die Außenhaut prallt, ist oft nicht sofort klar, wie schwerwiegend die Beschädigung ist. Deswegen bleibt das Flugzeug vorsichtshalber am Boden und Expertinnen und Experten müssen vor Ort eine Begutachtung durchführen. Das kann dauern, falls die Fachleute weit entfernt sind. Dr. Georgia Albuquerque vom DLR-Institut für Softwaretechnologie und Robert Kaps setzen Augmented-Reality (AR)-Brillen auf. Sie haben

jetzt nicht nur die reale Air-Brake vor sich, sondern zusätzlich die darauf abgebildeten Informationen des virtuellen Zwillings und der Analysewerkzeuge. „Das Bauteil kann über einen digitalen Zwilling komplett dokumentiert werden. Wir sehen den aktuellen Schaden und alle früheren Schäden und können eine Bewertung vornehmen“, erklärt Georgia Albuquerque. Dazu reicht es aus, wenn einer von beiden an der Air-Brake steht. Eine dritte Person, beispielsweise eine Expertin beim Hersteller, kann sich über eine eigene AR-Brille zuschalten und hat dasselbe vor Augen. Grüne, gelbe oder rote Flächen geben Hinweise für die Schadensbewertung. Die Anwendungsstudie hat vielversprechende Ergebnisse geliefert und kann so auch zu einer Verschlingung der Logistik im Einsatz- und Schadensfall beitragen.

#### Schnelle Hilfe bei Katastrophen

Von Braunschweig geht es weiter Richtung Süden nach Oberpfaffenhofen – zum Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI). Wenn eine Katastrophe passiert – eine Überschwemmung, ein Erdbeben, eine Explosion – dann trägt das ZKI Erdbeobachtungsdaten und weitere Geodaten



Dr. Robert Kaps (links) und Dr. Georgia Albuquerque arbeiten an der Air-Brake. Über Augmented-Reality-Brillen sehen sie nicht nur das Objekt vor sich, sondern auch den digitalen Zwilling mit seinen Analysewerkzeugen.

## INNOVATIONSSCHUB FÜR DIE WEHRTECHNIK

Generalleutnant Gert Nultsch über das Innovationsmanagement der Bundeswehr und darüber, wie Forschungsinstitutionen dabei unterstützen können.

**Globale Trends, neue technologische Entwicklungen und ein sicherheitspolitisches Umfeld, das sich ändert – die Bundeswehr hat ein eigenes Innovationsmanagement, das dabei hilft, passende Antworten auf diese Veränderungen zu geben. Was sind aus Ihrer Sicht die größten Herausforderungen?**

■ Wir bewegen uns in einem höchst dynamischen Umfeld, das ständigen Änderungen und neuen Risiken unterworfen ist. Kriege führen zu einem neuen Gefühl der Dringlichkeit innerhalb der Bundesregierung für die Bundeswehr. Es besteht eine klare Fokussierung auf die Landes- und Bündnisverteidigung. Gleichzeitig hat die Sicherheits- und Verteidigungsindustrie das Bedürfnis nach Planungssicherheit, um Investitionen zu tätigen. Wir brauchen deswegen ein kreatives, transparentes und verlässliches Innovationsmanagement, das die Bundeswehr zukunftsfest und zukunftsfähig macht. Konkret wurde im März dieses Jahres der Forschungs- und Innovationshub im Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) eingerichtet. Eine wichtige Rolle spielt dabei der Forschungs- und Innovationsdirektor, der den Innovationsgrad der Bundeswehr deutlich steigert – durch beschleunigte, innovative Beschaffung mit einem besseren Übergang von Forschung und Technologie zur Nutzung. Zusätzlich beziehen wir vorhandene Industriestrategien in unsere Überlegungen mit ein und setzen auf Reallabore oder die Neuerstellung einer Forschungs- und Innovationsstrategie.

**Das DLR ist ein bedeutender Akteur – auch in der wehrtechnischen Forschung. Wie wichtig ist die Zusammenarbeit für die Bundeswehr?**

■ Das DLR ist seit Jahren ein zuverlässiger und kompetenter Partner, sei es in der Beratung, beim Betrieb gemeinsamer Infrastrukturen und

Einrichtungen oder in der wehrtechnischen Forschung, bei der auch andere vom BMVg anteilig grundfinanzierte Forschungszentren wie die Fraunhofer-Gesellschaft und das Deutsch-Französische Forschungsinstitut in Saint-Louis eine wichtige Rolle spielen. Mithilfe der Forschung können wir neue Technologien übergreifend analysieren und bewerten. Das trägt zur Innovationsfähigkeit der Streitkräfte bei. Das DLR schafft dabei Synergien zwischen der Sicherheits- und Verteidigungsforschung und den zivilen Forschungsbereichen Luftfahrt und Raumfahrt sowie Verkehr und Energie. Damit profitieren alle Bereiche von neuen technologischen Erkenntnissen und wissenschaftlicher Infrastruktur.

**Was kann das DLR dazu beitragen, dass Bundeswehr und Bündnispartner auf die globale Dynamik in den technologischen Entwicklungen reagieren können?**

■ In der gegenwärtigen Situation erscheinen uns vor allem drei Aspekte besonders wichtig, die wir mit dem DLR verbunden sehen: Zum Ersten liefert uns die Gesamtsystemkompetenz insbesondere im Bereich der Luft- und Raumfahrtforschung elementare Impulse für die Ressortforschung. Zum Zweiten benötigen wir einen Innovationsschub in Bereichen, die im Zuge der Zeitenwende wieder an Bedeutung gewonnen haben. Dabei bauen wir auf Erfahrungen und Kompetenzen des DLR. Drittens werden wir einige Technologien nur gemeinsam mit unseren Partnern in Europa oder der NATO zu Fähigkeiten entwickeln können. Die langjährigen Kooperationen und das etablierte Netzwerk des DLR in Wissenschaft, Forschung und Industrie, sowohl auf europäischer als auch auf transatlantischer Ebene, werden jetzt umso mehr gefragt sein.



zusammen und erstellt daraus Lageinformationen. Sie bilden den Zustand vor, während oder nach der Katastrophe ab, damit Behörden und Hilfsorganisationen aktuelle Karten und Daten für ihre Einsätze haben. An planbaren Großereignissen ist das ZKI ebenfalls beteiligt. Dr. Monika Gähler leitet das ZKI, das zum Earth Observation Center des DLR gehört. „Satellitendaten bieten etwa bei Hochwasser einen großen Mehrwert. Wir können mit Radartechnologie durch Wolken schauen und die Hochwasserlage gut einschätzen“, sagt sie. Zusätzlich werden Luftbilder aufgenommen und wichtigen Akteuren zur Verfügung gestellt, wie im Frühsommer 2024, als Teile von Süddeutschland überschwemmt waren. Eine künstliche Intelligenz (KI) hat dabei geholfen, Schäden zu erkennen.

Das ZKI entwickelt sich ständig weiter. Krisenrelevante Informationen werden mit den neuesten Sensoren und Methoden aus der Forschung sowie in Absprache mit Anwendern generiert. So findet ein enger Austausch statt, der für beide Seiten vorteilhaft ist.

In Trauen, Braunschweig und Oberpfaffenhofen zeigt sich: Die enge Verzahnung zwischen Forschung und Entwicklung bis hin zu operationellen Diensten erweist sich im DLR als eine große Stärke. Das gilt für alle Bereiche: Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr – und eben auch Sicherheit.

Katja Lenz ist Presseredakteurin im DLR.

Das DLR-Forschungsflugzeug Dornier DO 228-212 war schon mehrfach bei Hochwassern im Einsatz, um hochauflösende Aufnahmen aus der Luft zu machen. Das Bild zeigt einen Ausschnitt des Donauhochwassers in Niederaltich im Frühsommer 2024.



# NICHT STÖREN!

Jamming und Spoofing – wenn Stör- und Täuschsignale die Navigation beeinträchtigen

von Julia Heil



Das DLR testet neu entwickelte Empfangssysteme und Verfahren zur Störunterdrückung unter realen Bedingungen beispielsweise mithilfe der Baltic Taucher in der Ostsee.

**Immer wieder hören wir Meldungen darüber, dass die Satellitennavigation von Luft- und Schiffsverkehr gezielt gestört wird. Insbesondere in der Nähe verschiedener Krisenregionen kommt es zunehmend zu solchen Vorfällen, die schlimmstenfalls bordeigene Navigationsgeräte lahmlegen können. Mit gefälschten Signalen lassen sich Schiffe und Flugzeuge sogar auf Abwege bringen. Das DLR untersucht schon seit vielen Jahren dieses sogenannte Jamming und Spoofing. Was es mit diesen Störungen auf sich hat und welche Gegenmaßnahmen es gibt, erläutert dieser Artikel.**

Es ist ein ruhiger Morgen auf der Ostsee. Ein Schiff fährt in Richtung Hiddensee und nähert sich dabei von achtern einem ankernden Schiff. Plötzlich ertönen an Bord mehrere Warnsignale, die darauf aufmerksam machen, dass etwas Ungewöhnliches passiert. Die Navigationsgeräte zeigen zeitweise keine oder eine falsche Position. Jetzt steht der Schiffsführer vor einer schwierigen Aufgabe, denn er muss in kürzester Zeit die Gefahr einschätzen können und die richtigen Entscheidungen treffen ...

Installation einer Galant-Antenne auf einem Schiff. Die Antennen des Galant-Systems sind so geformt, dass sie Störsignale räumlich ausblenden können.



## Was ist was? Jamming und Spoofing

Dieses Schiff wurde Opfer eines kombinierten Jamming- und Spoofing-Angriffs. Beim Jamming werden die Signale der globalen Satellitennavigationssysteme (Englisch: Global Navigation Satellite Systems, GNSS) von einem Störsignal überlagert. Das führt dazu, dass ein handelsüblicher Navigationsempfänger sie nicht mehr empfangen und keine Position ermitteln kann. Technisch sind solche Störungen einfach zu realisieren. Da Navigationsatelliten mehr als 20.000 Kilometer von der Erde entfernt sind, sind GNSS-Signale recht schwach. Für kleine, tragbare Jammer ist es daher leicht, diese Signale im Umkreis von einigen Kilometern zu blockieren. Obwohl Vertrieb und Nutzung solcher Geräte verboten sind, werden sie regelmäßig von Polizei und Zoll beschlagnahmt. Bei großflächigen Störungen kommen allerdings leistungsstarke Anlagen zum Einsatz, die nicht einfach im Handel erhältlich sind und mutmaßlich von staatlichen Akteuren eingesetzt werden. Anders als beim Jamming werden beim Spoofing Täuschsignale abgestrahlt, die für den Empfänger wie echte Satellitensignale aussehen, aber zu einer falschen Positions- und Zeitbestimmung führen. Ein solcher Angriff ist technisch deutlich anspruchsvoller.

## ROBUSTE EMPFÄNGER

Am DLR werden GNSS-Empfänger entwickelt, die Jamming und Spoofing erkennen und unterdrücken können. Sie besitzen digital steuerbare Antennen. So können sie die Einfallsrichtung des Signals präzise erkennen, Störer unterdrücken und die Echtheit von Signalen verifizieren. Solche robusten Empfänger können sowohl verschiedene Verkehrsträger als auch Referenzbodenstationen absichern und widerstandsfähiger machen. Im Technologietransferprojekt InVo entwickeln die Forschenden ein Gerät, das konventionellen GNSS-Empfängern vorgeschaltet werden kann, um diese Fähigkeit in bestehenden Systemen nachzurüsten. Dieses System steht kurz vor der Marktreife.

## MULTISENSORIK

Anwendungen, bei denen im Ernstfall wertvolle Güter oder gar Menschenleben von der korrekten Positionsinformation abhängen, erfordern eine besondere Zuverlässigkeit der Navigationssysteme. Dies ist beispielsweise bei automatischen Landungen von Flugzeugen unter Schlechtwetterbedingungen oder dem autonomen Fahren der Fall. Um die nötige Zuverlässigkeit zu erreichen, werden Messdaten verschiedener Sensoren wie Trägheitssensoren oder Kameras gemeinsam mit GNSS-Daten ausgewertet und verknüpft. Durch solche Multi-Sensor-Lösungen werden die Vorteile verschiedenartiger Sensoren vereint, die Nachteile einzelner Sensoren unterdrückt und Sicherheit durch Redundanz geschaffen. Die Forschenden berücksichtigen dazu die Fehlereigenschaften der Sensoren im Datenfusionsprozess, um möglichst zuverlässige Positionsinformationen abzuleiten. Neuartige im DLR entwickelte Sensoren auf Basis der Quantentechnologie werden dabei ebenso berücksichtigt wie klassische Sensoren.

Weder Jamming noch Spoofing sind neue Phänomene. Vor allem Jamming lässt sich seit geraumer Zeit im Umfeld von Krisenregionen beobachten. Aktuell registrieren die Expertinnen und Expertinnen starke Beeinträchtigungen des GNSS-Empfangs im Ostseeraum. Die Intensität von Spoofing-Zwischenfällen nimmt besonders im östlichen Mittelmeerraum zu.

## Forschung zu Land, auf dem Wasser und in der Luft

Das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation in Oberpfaffenhofen und Neustrelitz beschäftigt sich schon seit vielen Jahren mit Jamming und Spoofing. Beide Arten von Störsignalen können entdeckt werden. Dazu analysieren die DLR-Forschenden die empfangenen Signale im Detail und setzen spezielle Empfangssysteme ein, die es erlauben, die Einfallsrichtung von Störungen zu detektieren.



Sendeanne auf Helgoland, die R-Mode-Signale in den Nord- und Ostseeraum abstrahlt

Drohnen stützen sich zur Positionierung häufig auf GNSS. Auch sie sind daher von den Störungen durch Jamming und Spoofing betroffen.



Die Forschenden waren diesen Störungen in den letzten Jahren bereits rund um die Erde auf der Spur, zum Beispiel auf einem weltweit verkehrenden Handelsschiff, mit einem DLR-Forschungsflugzeug im östlichen Mittelmeer und zuletzt auch an Bord von Schiffen auf der Ostsee, um reale Jamming- und Spoofing-Angriffe zu detektieren.

Ist die Störung einmal entdeckt, kann sie analysiert werden. Dabei interessiert die DLR-Forschenden insbesondere, welche Systeme und Sendefrequenzen betroffen sind und welche Struktur die Störsignale haben. Ziel ihrer Arbeit ist es, wirksame Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Das sind beispielsweise stör- und täuschsichere GNSS-Empfänger (siehe Infokasten „Robuste Empfänger“) oder Back-up-Systeme für Positionierung, Navigation und Timing für die Luft- und Schifffahrt (siehe Infokasten „Alternative Navigationssysteme“). Diese Systeme können im Krisenfall als Rückfalloption dienen.

#### Simulation von Stör- und Täuschversuchen zu Forschungszwecken

Bevor diese Technologien zur Anwendung kommen, müssen sie umfassend getestet werden. Das geschieht beispielsweise am nationalen Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme, einem Forschungsflughafen des DLR bei Cochstedt, Magdeburg. Hier können die DLR-Forschenden in einem kontrollierten Rahmen GNSS-Stör- und -Täuschversuche durchführen. 2023 erprobten sie erfolgreich ein im DLR entwickeltes cybersicheres GNSS-basiertes



### ALTERNATIVE NAVIGATIONSSYSTEME FÜR SCHIFFE UND FLUGZEUGE

Als Back-up zu globalen Satellitennavigationssystemen (GNSS) entwickelt das DLR zusammen mit internationalen Beteiligten aus behördlichen Einrichtungen, Forschung und Industrie das System R-Mode und betreibt in der Ostsee ein entsprechendes Testfeld. R-Mode ist als ein maritimes Alternativsystem für GNSS konzipiert, das bei Ausfällen oder lokalen Störungen Navigationsinformationen liefert. R-Mode kann aber auch dazu genutzt werden, Situationen zu erkennen, in denen GNSS eine falsche Position liefert. Ein Vorteil gegenüber anderen GNSS-Alternativen ist, dass die Forschenden auf bestehende maritime Infrastruktur zurückgreifen. Sie nutzen sowohl vorhandene GNSS-Referenzstationen als auch Basisstationen, die auf dem in der Schifffahrt eingesetzten Funksystem AIS (Automatisches Identifikationssystem) beruhen. Diese modifizierten sie so, dass sie zusätzliche Signale abstrahlen, die von entsprechend ausgestatteten Empfängern verwendet werden können. Seit 2022 steht das R-Mode-Versuchsfeld Interessierten für ihre Erprobungen bereit.

Für die Luftfahrt führt das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation derzeit die internationale Standardisierungsgruppe des L-band Digital Aeronautical Communications System (LDACS). Es ist der kommende Standard für den digitalen, terrestrischen Flugfunk, denn aktuell wird ein Großteil des Luftverkehrsmanagements noch über analogen Sprechfunk abgewickelt. Für LDACS haben die Forschenden auch Lösungen entwickelt und in Flugversuchen, beispielsweise mit dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon, erprobt. Diese werden es ermöglichen auf Basis dieser Funksignale zu navigieren. Dieses als LDACS-NAV bezeichnete Verfahren wird derzeit gemeinsam mit der Industrie im Rahmen des europäischen SESAR-Programms (Single European Sky ATM Research Programme) in Richtung Produktreife vorangetrieben und soll künftig als Back-up-System für die Navigation in der Luftfahrt dienen.

Im Projekt CySNAB wird das Konzept eines cybersicheren automatisierten Landesystems (GBAS) entwickelt. In Cochstedt wurde das Gesamtsystem getestet. Anlagen im Bus sandten Störsignale – die störsicheren Antennen im Flugzeug und im Bodensegment ließen das Flugzeug trotzdem sicher landen.



Landesystem und zeigten, dass es immun gegen gezielte Störversuche war. Darüber hinaus untersuchen sie vor allem Drohnen, denn auch diese können von Jamming und Spoofing betroffen sein.

Vor der Küste der Halbinsel Darß in der Ostsee betreibt das Institut in Kooperation mit der Bundesnetzagentur das erste maritime Testgebiet zur Untersuchung der Auswirkungen von Jamming- und Spoofing-Angriffen. Darüber hinaus ist das DLR in verschiedenen Gremien vertreten. Dort werden technische Abstimmungen sowie Arbeiten zur Standardisierung von Systemen durchgeführt. Mit beteiligt daran sind die Deutsche Flugsicherung, die Europäische Luftfahrtorganisation Eurocontrol, die European Organization for Civil Aviation Equipment (EUROCAE), die International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA), die Internationale Seeschiffahrts-Organisation (IMO) sowie zahlreiche weitere Betroffene.



Für das Projekt MOSAiC installierten Forschende eine GNSS-Antenne auf einem Forschungsschiff für Messungen im Nordpolarmeer.

Noch einmal zurück zu dem Schiff auf dem Weg nach Hiddensee: In diesem Fall war die Crew zum Glück vorbereitet, denn das Szenario war Teil eines Experiments des DLR, das die Auswirkungen von Jamming und Spoofing untersuchte. Die Daten aus den Versuchen nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, um ihr selbst entwickeltes Antennensystem so zu verbessern, dass es unempfindlich gegen solche Angriffe ist.

**Julia Heil** ist Redakteurin in der DLR-Kommunikation. Sie ist immer wieder begeistert von der Vielfalt der Forschungsthemen im DLR.

### GEFAHR GEBANNT?

Dr. Florian David leitet das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation. Dort wird intensiv an Störungen von Navigationssignalen und an entsprechenden Gegenmaßnahmen geforscht.

#### Wie gefährlich können Jamming und Spoofing sein?

■ Durch Jamming und Spoofing können Systeme und Anwendungen beeinträchtigt werden, die globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) zur Positionsbestimmung nutzen. Dazu gehören neben vielen Anwendungen in Luftfahrt, Schifffahrt und Verkehr auch Bereiche wie Logistik, Landwirtschaft oder Tourismus. GNSS-Signale sind präzise Zeitsignale, die auch zur Synchronisierung von Systemen eingesetzt werden, zum Beispiel in Telekommunikations- und Stromnetzen oder im Finanzsystem. Auch hier sind grundsätzlich Angriffe denkbar und es könnten dadurch hohe wirtschaftliche Schäden entstehen. Gerade sicherheitskritische Systeme nutzen aber in der Regel mehrere Sensoren zur Positionsbestimmung, sodass bis heute noch keine gravierenden Schadensfälle bekannt sind. Aber natürlich sollten wir uns deshalb nicht zurücklehnen, sondern weiter an Gegenmaßnahmen arbeiten. Gerade mit Blick auf die zunehmende Automatisierung, beispielsweise im Mobilitätssektor, müssen wir auf Störungen vorbereitet sein und entsprechende Lösungen anbieten.

#### Welchen Beitrag kann das DLR hier leisten?

■ Wir beschäftigen uns schon seit vielen Jahren mit dieser Thematik und haben ein entsprechend großes Know-how im Bereich der Satellitennavigation. Das gilt für die Systeme selbst, aber auch für die Anwendungen in den Bereichen Luftfahrt, Verkehr und Schifffahrt. Außerdem stehen uns mit den Testfeldern in der Ostsee, dem Flughafen Cochstedt sowie unseren Forschungsflugzeugen und -booten hervorragende Infrastrukturen für Versuche und Tests zur Verfügung. Lösungen, die wir hier am Institut entwickelt haben, erreichen bereits einen hohen Reifegrad und können in den kommenden Jahren eingeführt werden. Gemeinsam mit vielen anderen arbeiten wir in zahlreichen Experten- und Standardisierungsgremien daran, solche Lösungen in den verschiedenen Anwendungsdomänen zu verankern und dort in der Praxis nutzbar zu machen.

#### Können wir uns auch künftig auf Satellitennavigation verlassen?

■ Aspekte der Resilienz und Zuverlässigkeit rücken heute wesentlich stärker in den Fokus. Redundanzen oder spezielle Schutzmaßnahmen spielen daher eine zunehmend wichtige Rolle bei der Entwicklung künftiger Systeme. Zudem greift es zu kurz, nur auf die Satellitennavigation allein zu schauen. Wir müssen die Navigation ganzheitlich betrachten und eine Vielzahl verfügbarer Sensoren so kombinieren, dass eine jederzeit verfügbare und verlässliche Positionierung möglich wird. Quantensensoren, wie sie heute bereits am DLR entwickelt werden, könnten dabei künftig eine wesentliche Rolle spielen. Wir arbeiten eng mit den entsprechenden Instituten zusammen, um diese Sensoren in unsere Lösungen zu integrieren. So können wir als DLR mit unserer Forschung dazu beitragen, dass auch in Zukunft eine leistungsfähige und sichere Navigation möglich ist.

# RETTUNG NAHT

Neue Technologien für humanitäre Hilfe

von Bernadette Jung



Auf dem Weg ins Wasser: Bei den Testläufen des Amphibienfahrzeugs SHERP sitzen Forschende zur Überwachung im Fahrzeug, das durchgehend ferngesteuert ist.



**D**ie weiße Fahrerkabine wirkt fast gedrungen zwischen den grobstolligen Reifen, die einem bis zur Schulter reichen. Beladen mit Lebensmitteln oder Medikamenten wälzt sich das Geländefahrzeug durch Dickicht und unbefestigtes Terrain – ohne jemanden am Steuer. Navigiert wird es aus der Ferne und es hat sein Ziel fast erreicht: Hilfesuchende, die von der Außenwelt abgeschnitten sind und dringend Versorgung benötigen. Der teilautonome SHERP-Truck hat die Betroffenen über seine Außenkameras erfasst, am gegenüberliegenden Ufer eines großen Sees. Lagecheck. Im entfernten Kontrollzentrum hat ein Teleoperator alles auf Monitoren im Blick. Er steuert das Fahrzeug an die steile Böschung, hinab in den See. Die Räder stoppen und für einen Moment treibt der bullige Offroader an der Oberfläche. Plötzlich sprudelt Wasser wie bei einem Mississippi-Dampfer – und der Hilfstransporter schwimmt los.



Einsatzbesprechung der Schnell-Einsatz-Gruppe G.I.L.T. des Bayerischen Roten Kreuzes mit Blick auf die Lagekarte. Diese ermöglicht einen schnellen Überblick über die aktuelle Situation der (simulierten) Hochwassergebiete, aufbereitet durch die DLR-Einrichtung ZKI.

Wir sind auf dem Übungsgelände der Bundeswehr in Nordheim am Main, bei der Projektdemonstration von AHEAD (Autonomous Humanitarian Emergency Aid Devices). Dr. Armin Wedler vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik orchestriert dazu unterschiedliche Einheiten mit insgesamt 70 Beteiligten. Technische Komponenten und Arbeitsabläufe müssen ineinandergreifen. Schließlich sollen sie in der humanitären Hilfe und beim Katastrophenschutz zum Tragen kommen. Im Projekt AHEAD entwickelt das DLR mit Beteiligten Lösungen für fahrerlose Transportfahrzeuge, die ferngesteuert schwer zugängliche Gebiete erschließen. Ziel ist es, Einsatzkräfte dort zu unterstützen, wo sie mit konventionellen Fahrzeugen nicht weiterkommen oder dabei Leib und Leben riskieren würden. „Unsere Technologien sollen humanitäre Hilfs- und Rettungskräfte ermächtigen, sicher vor Ort zu agieren. Mit der Live-Demonstration testen wir, wie zielgerichtet und praxistauglich unsere Entwicklungen der letzten viereinhalb Jahre sind“, sagt Projektleiter Armin Wedler.

*„In vielen humanitären Einsätzen treten Extremsituationen auf. Projekte wie AHEAD sind entscheidend, um humanitäre Hilfe auch in den entlegensten Gebieten sicher und effizient zu leisten.“*

**Bernhard Kowatsch**  
Leiter des WFP Innovation Accelerator

Die Demonstration erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Welternährungsprogramm der Vereinten Nationen (WFP) und dem Bayerischen Roten Kreuz (BRK). Im Juni 2024 spielen die Teams jeweils ein typisches Anwendungsszenario durch: zuerst eine humanitäre Hilfslieferung von Lebensmitteln, die durch unwegsames Gelände, dichtbewachsene und überschwemmte Gebiete führt. Die Vorgaben orientieren sich an Arbeiten des WFP im Südsudan beim Kampf gegen den akuten Hunger von rund 8,3 Millionen Menschen. Das zweite Testszenario simuliert einen Rettungseinsatz, bei dem eine Verletzte vom Hochwasser eingeschlossen ist und dringend versorgt werden muss. Das BRK bringt hier seine Erfahrungen aus dem Flutereignis im Ahrtal 2021 und den im Sommer 2024 erfolgten Hochwassern in Süddeutschland ein, die mehrere Todesopfer forderten.

## Aus Gefahrenzonen heraushalten und herausholen

Die Schweißperlen tropfen nur so während des hochsommerlichen Testeinsatzes, dennoch ist höchste Konzentration gefragt. Auch das gehört zum Realitätscheck, wenn Mensch und Maschine das Labor verlassen. In künftigen Zielgebieten wie dem Südsudan herrscht etwa eine Durchschnittstemperatur von 35 Grad Celsius. In der Regenzeit kommt es in dem von Dürren geplagten Land dann regelmäßig zu Erdbeben und großflächigen Überschwemmungen. Straßen werden unpassierbar und Hilfslieferungen noch schwieriger.

Bernhard Kowatsch, Leiter des WFP Innovation Accelerator, sagt: „In vielen humanitären Einsätzen treten Extremsituationen auf. Projekte wie AHEAD sind entscheidend, um humanitäre Hilfe auch in den entlegensten Gebieten sicher und effizient zu leisten. Die Zusammenarbeit mit dem DLR bringt uns der Fähigkeit näher, auch in diesen Extremsituationen Hilfe zu den Menschen zu bringen, die sie am dringendsten benötigen.“

Von den äußeren Bedingungen in Nordheim wenig beeindruckt ist das aufgerüstete AHEAD-Vehikel vom Typ SHERP, ein Amphibienfahrzeug, das 2012 in der Ukraine entwickelt wurde. Das WFP nutzt SHERPs für die „letzte Meile“ – die kritischen letzten fünf bis 50 Kilometer zum Zielort. Sie werden jedoch noch herkömmlich von einer Person im Fahrzeug gesteuert. Das soll sich so schnell wie möglich ändern, denn unterwegs lauern ernste Gefahren: krankheitsübertragende Insekten, Epidemien, Landminen und bewaffnete Überfälle. Hierzulande setzen sich Einsatzkräfte ebenfalls regelmäßig gefährlichen Situationen aus. Bei Hochwasser etwa kommt es zu plötzlichen Hangrutschungen und starke Strömungen lassen sogar Rettungsboote kentern. Ein teilautonomes SHERP ermächtigt die Helfenden, sicher vor Ort zu agieren. Darüber hinaus könnte er Menschen künftig auch aus Gefahrenzonen herausholen. In seinem Innenraum finden bis zu acht Personen Platz.

Für den Stresstest von AHEAD hat das BRK mehr als 20 Männer und Frauen aus der Schnell-Einsatz-Gruppe G.I.L.T. und weiteren Spezialeinheiten der Wasserwacht- und Bergwacht-Bereitschaften aktiviert.

Testlauf für den humanitären Einsatz: Das SHERP-Fahrzeug soll Hilfslieferungen des Welternährungsprogramms künftig ohne Fahrer an Bord ans Ziel bringen.





Blick auf das lokale Kontrollzentrum von AHEAD und die BRK-Einsatzzentrale auf dem Bundeswehrgelände Nordheim am Main. Bild unten: Abseits davon betrachtet das Team im globalen Missionskontrollzentrum die interaktive 3D-Lagedarstellung.



ausgedruckte Karten zum Mitnehmen ins Feld sowie eingespeist in eine interaktive Web-Anwendung. Bei einem künftigen Betrieb ist das GMOC eine feste Zentrale, die Einsätze auf der ganzen Welt betreuen kann. Für die Testläufe errichtete das Team sein Hauptquartier daher weit entfernt von den anderen Einheiten, ohne Sicht auf das Geschehen.

„AHEAD hilft uns, die immer häufiger auftretenden Naturkatastrophen besser zu bewältigen. Das automatisierte Fahren gefährdet kein Fahrpersonal und wir erreichen Krisengebiete, die aufgrund weggespülter Straßen oder zerstörter Brücken unpassierbar sind. Zusätzlich liefert uns die Technik an Bord des Spezialfahrzeugs Daten, mit denen wir schnell ein digitales Lagebild erstellen und die Such- und Rettungseinsätze noch gezielter als bisher durchführen können“, sagt Uwe Kippnich, Koordinator Forschung in der Stabsstelle Sicherheit der BRK-Landesgeschäftsstelle.

#### Erfolg im Wasser, Vorbereitung zu Land

Die Notsituationen sind zwar nur „gespielt“, aber die Spannung auf dem Truppenübungsplatz ist echt. Das AHEAD-Team hat zum ersten Mal Gelegenheit zu testen, ob ihr Fahrzeug auch im Remote-Betrieb schwimmt. Als die Ballonreifen anfangen, durch das Wasser zu pflügen, und der Routenvorgabe folgen, leuchten dutzende Augenpaare. Für Jubelschreie ist der Tag noch zu jung, aber die Forschenden wissen: Eine wichtige Hürde zur Einsatzreife ihrer Technologien ist geschafft.

Damit der SHERP seine Aufgaben ohne Fahrer erfüllt, arbeiten mehrere Organisationseinheiten zusammen. „Wir haben ein Kontrollzentrum für die Gesamtmission, eine Steuerungszentrale für das teleoperierte Fahrzeug und eine Kommunikationseinheit, die den gegenseitigen Datenaustausch ermöglicht“, fasst Armin Wedler zusammen, während er den Aussichtspunkt am Seeufer verlässt und zur knapp einen Kilometer entfernten Kaserne läuft. Dort haben sich die Kolleginnen und Kollegen vom Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) des DLR Earth Observation Center eingerichtet. Sie stellen bei dem Projekt das globale Missionskontrollzentrum (GMOC).

Das GMOC plant und überwacht die Remote-Truck-Mission. Um die Umgebung sowie die optimale Route zu bestimmen, holen sie alle verfügbaren Fernerkundungsdaten ein und werten diese aus: hochauflösende Satellitenbilder, Luftbilder und Drohnenaufnahmen. Die Ergebnisse gehen direkt an die Einsatzkräfte vor Ort – als Lagebilder, für klassisch

#### Feinfühlige und robuste Fernsteuerung

Am letzten sicheren Einsatzort steht das lokale Missionskontrollzentrum (LMOC) in einem mobilen, knapp sieben Meter langen Container. Es ist mit der globalen Missionskontrolle verbunden und kommandiert den Hilfstransporter. Die Fernsteuerung erfolgt größtenteils automatisiert, entlang der vorgeplanten Route. Das Fahrzeug übermittelt laufend seine Position und 360-Grad-Umgebungsdaten an das LMOC. Dazu ist es mit mehreren Funkkommunikationssystemen, Wahrnehmungssensoren, Tiefenkameras sowie einem Lidar-Lasersystem ausgestattet – ähnlich wie ein Mond- oder Mars-Rover. Technologische Unterstützung kommt hier vom DLR-Spin-off Roboception. Auf dem Fahrzeugdach befindet sich außerdem ein Landeplatz für Drohnen, die zusätzlich Informationen erfliessen können. Das Team in der Kommandozentrale beobachtet alles live auf einem Monitor.



Die Verletzte wurde im AHEAD-Amphibienfahrzeug aus der Gefahrenzone gerettet. Für die weitere Versorgung steht schon der lokale Krankentransport bereit.

Bei Bedarf greift ein Mitglied, der „Teleoperator“, ein. Er oder sie sitzt vor einer Eingabestation mit Hebeln zum Lenken und Gangwechseln, Schaltern für Funktionen wie Licht und Hupe sowie Fußpedalen zum Bremsen und Kuppeln. Die Besonderheit ist, dass der oder die Steuernde im LMOC dank Kraftrückkopplung fühlen kann, wie sich das Fahrzeug im Gelände verhält. Das Geheimnis liegt in den drehmoment-geregelten Antrieben. Wenn der Truck durch die grüne Wildnis des Testgeländes rumpelt, spürt die Person die Unebenheiten über den mechanischen Widerstand in den Lenkhebeln. Die feinfühligere Telerobotik-Technologie stammt aus der Raumfahrt. Im AHEAD-Projekt wird sie zusammen mit der DLR-Ausgründung Sensodrive für die humanitäre Hilfe und Kriseneinsätze auf der Erde weiterentwickelt.

Bricht die Verbindung zwischen dem SHERP und seinem Teleoperator ab, stoppt die Fahrt automatisch – ein Sicherheitsfeature der teilautonomen Fernsteuerung. Damit das gar nicht erst passiert und der Datenfluss zwischen allen Einheiten gewährleistet ist, sind der Hilfstransporter und die beiden Kontrollzentren über mehrere Kommunikationssysteme miteinander verbunden. Mobilfunk, Satellitenkommunikation und Breitband-Internet sind die gängigsten Kanäle. Zusätzlich sind LMOC und Gefährt per lokalem Funk verbunden. Hier zeigt das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation seine Expertise. In den Anwendungsszenarien des WFP und BRK berechneten die Forschenden für die Routenplanung, wo Kommunikation in ausreichender Qualität verfügbar



Über diese Station wird der SHERP ferngesteuert.

ist. Zusätzlich arbeiten sie an einem einfachen Vorhersagemodell für die Funkverbindung im Einsatzgebiet. Während der Live-Demonstration stellen sie sicher, dass die Funkverbindung zum Fahrzeug robust ist und nicht abreißt.

#### Technologietransfers für Hilfstransporte

Mit Sensodrive und Roboception arbeiten in dem Projekt zwei DLR-Ausgründungen mit ihrem Mutterinstitut zusammen, dem Institut für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen. Sie haben sich auf dem Markt im Bereich Telerobotik beziehungsweise Wahrnehmung erfolgreich etabliert. Neben ihrem technischen Know-how bringen sie wertvolle Erfahrungen hinsichtlich der Frage ein, wie Innovationstransfers aus der Forschung in die Wirtschaft gelingen. Das Team rund um Armin Wedler arbeitet mit aller Kraft daran, die AHEAD-Technologien und Konzepte dem WFP, dem BRK und zahlreichen anderen Akteuren so bald wie möglich zur Verfügung zu stellen. Wenn die Machbarkeit bewiesen ist, geht es an das Feintuning – Fähigkeiten ausbauen und noch effizienter werden.

Inzwischen hat der schwimmende Transporter das andere Ufer erreicht. Er nimmt Anlauf aus dem See und erklimmt die letzten Meter, hinauf zu den Hilfesuchenden. Diese öffnen die Heckklappe des tropfenden Fahrzeugs und laden die Säcke mit Grundnahrungsmitteln aus. Beim Hochwasserszenario wartet eine Verletzte. Daher kämpfen sich Rettungskräfte zusätzlich über den Wasserweg zum Einsatzort. Sie versorgen die junge Frau, tragen sie in den SHERP und steigen begleitend ein. Grünes Licht aus den Kontrollzentren für die Rückfahrt. Mit seiner neuen „Fracht“ sprudelt und wälzt sich der Hilfstransporter durch Wasser und Dickicht sicher an seinen Ausgangsort zurück. Mission erfolgreich abgeschlossen, Machbarkeit demonstriert. AHEAD ist bereit für die nächsten Schritte.

**Bernadette Jung** ist DLR-Presseredakteurin. Sie ist begeistert davon, wie Technologien aus der Raumfahrt eingesetzt werden können, um Menschen auf der Erde zu helfen.

#### DAS PROJEKT AHEAD

Das Projekt AHEAD wird vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik geleitet – in Kooperation mit dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation, dem Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) im Earth Observation Center des DLR, dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik, dem WFP Innovation Accelerator des Welternährungsprogramms der Vereinten Nationen (WFP), Roboception GmbH, Sensodrive GmbH, Blickfeld GmbH und dem Projektträger VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.

Zu AHEAD gehören außerdem die Partnerprojekte KI4HE, MaiSHU, MUSERO, iFOODis und RESITEK, unter anderem mit einer Förderung des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie.

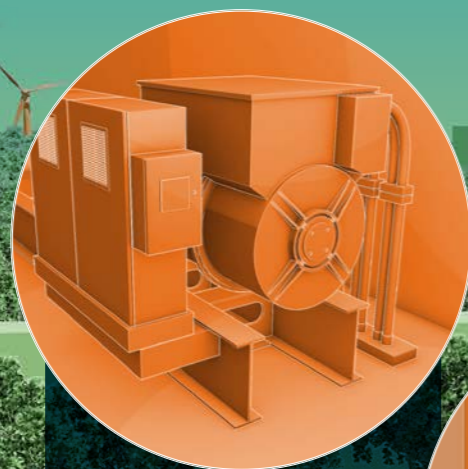


# TECHNIK IM GRÜNEN

## Das H<sub>2</sub>-Container-Technikum (H<sub>2</sub>CT) in Lampoldshausen

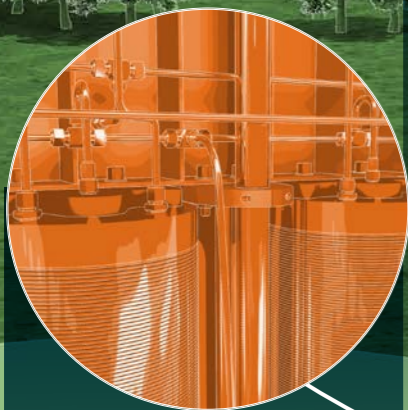
Das DLR-Institut für Raumfahrtantriebe verfügt über einzigartige Erfahrung im Einsatz von Wasserstoff in großen Mengen. Jährlich benötigt der Standort bis zu 300 Tonnen flüssigen und über 20 Tonnen gasförmigen Wasserstoff, um Raumfahrtantriebe zu testen. Um dieses Know-how und die bestehende Infrastruktur auch in anderen Sektoren nutzbar zu machen und so die Entwicklung großer Wasserstoffanwendungen hin zu hohen Technologiereifegraden zu unterstützen, forciert das DLR Transferprojekte, zu denen auch der Aufbau des H<sub>2</sub>-Container-Technikums zählt. Hier arbeiten DLR-Forschende gemeinsam mit Wissenschaft und Industrie daran, den Wasserstoff wirtschaftlich, wettbewerbsfähig und sicher in die breite Anwendung zu bringen. Die insgesamt vier Testpositionen ermöglichen realistische, präzise und wiederholbare Mess- und Versuchsbedingungen für unterschiedliche Anwendungsfälle beziehungsweise Fragestellungen. Ergänzt wird das Angebot künftig vom Hydrogenium. Hier sollen ab 2026 Tests mit flüssigem Wasserstoff in noch größerem Umfang möglich sein.

Hier entsteht das Hydrogenium.



### BLOCKHEIZKRAFTWERK

Zur nachhaltigen Energieversorgung des DLR-Standorts Lampoldshausen werden zwei Blockheizkraftwerke (BHKW) betrieben. Sie decken bis zu 45 Prozent des Strombedarfs sowie über 95 Prozent des jährlichen Wärmebedarfs. Durch den BHKW-Betrieb mit Erdgas und bis zu 60 Prozent Wasserstoff werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Standorts erheblich reduziert.



### WASSERSTOFFERZEUGUNG (ELEKTROLYSEUR)

In einem ersten Schritt haben die ZEAG Energie AG und das DLR eine Polymerelektrolytmembran (PEM)-Elektrolyse im Projekt H<sub>2</sub>ORIZON zur Produktion von gasförmigem Wasserstoff bei 300 bar errichtet. Im Zuge einer Ausbaustufe ist ein weiterer PEM-Elektrolyseur hinzugekommen. Bei der PEM-Elektrolyse wird Wasser mithilfe von Strom in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten.



### TESTPOSITION (MIKROGASTURBINE)

Die vier Testpositionen ermöglichen die Erprobung von verschiedenen H<sub>2</sub>-Anwendungen mit gasförmigem und flüssigem Wasserstoff. Ein Team des DLR-Instituts für Verbrennungstechnik untersuchte bereits den Einsatz von Wasserstoff in einer Mikrogasturbine.

### PIPELINE

versorgt den restlichen Standort und die Raketenteststände mit grünem gasförmigem Wasserstoff.

### WINDPARK

Der benachbarte Windpark der ZEAG Energie AG liefert den grünen Strom für die Produktion von Wasserstoff.

### BÜROCONTAINER

Kritische Tests können aus sicherer Entfernung gesteuert und überwacht werden.

### VERSORGUNGSCONTAINER

versorgt das H<sub>2</sub>CT mit Strom und Wasser.

### FLASCHENBÜNDEL

versorgt das H<sub>2</sub>CT mit Stickstoff und Helium.

### PUFFERSPEICHER

speichern Wasserstoff bei 300 bar, um die volatile Wasserstoff-erzeugung abzupuffern.

### LH<sub>2</sub>-TANK

versorgt das H<sub>2</sub>CT mit flüssigem Wasserstoff bei minus 253 Grad Celsius.

# SAUBERE LEISTUNG

Wie heutige Gasturbinen für den Betrieb mit Wasserstoff umgerüstet werden können

von Anja Tröster



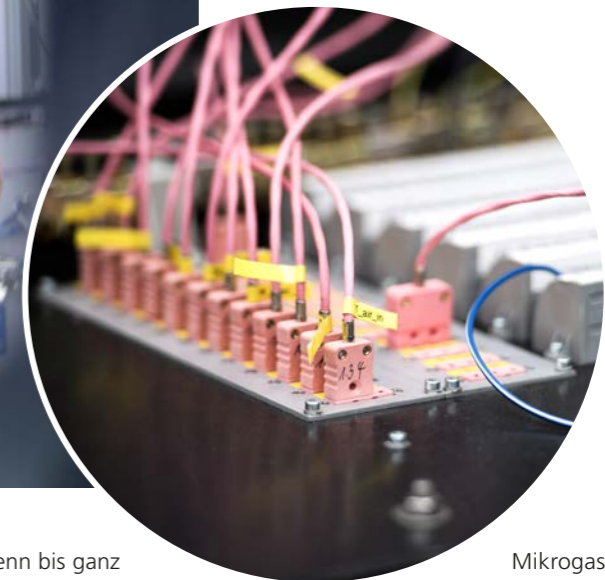
Im atmosphärischen Prüfstand wird die neue Brennkammer für die Mikrogasturbine ausgiebig getestet. Durch die transparenten Quarzglaswände lässt sich die Verbrennung des Wasserstoffs direkt beobachten.

**G**asturbinen können Zeiten der Flaute und der Dunkelheit bei den erneuerbaren Energien ausgleichen, die Netze stabilisieren und damit einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten – wenn sie mit Wasserstoff oder anderen nichtfossilen Brennstoffen laufen. Der Bau neuer Kraftwerke dauert jedoch Jahre. Die Umrüstung von bestehenden Anlagen könnte ein wichtiger Hebel sein, um die Energiewende zu beschleunigen. Ein Team des DLR-Instituts für Verbrennungstechnik hat nun gemeinsam mit dem Dienstleister Power Service Consulting GmbH (PSC) erstmals eine Mikrogasturbine komplett umgerüstet und am DLR-Standort Lampoldshausen mit grünem Wasserstoff getestet.



DLR

Die Projektleiterin Martina Hohloch prüft die gläserne Brennkammer im Labor ebenso wie die Verkabelung für die Messungen in Lampoldshausen (links).



Die Tugend der Energiewende heißt Beharrlichkeit. Denn bis ganz Deutschland mit Strom und Wärme ohne fossile Energieträger versorgt werden kann, sind noch viele kleine und größere Probleme zu lösen. Dr. Martina Hohloch und Timo Lingstädt vom DLR-Institut für Verbrennungstechnik und Tze-Yeung Cheung, Betriebsleiter bei der Firma Power Service Consulting GmbH (PSC), kennen diese Herausforderung – sie arbeiten im Projekt Retrofit H2, das vom Umweltministerium Baden-Württemberg mit mehr als 900.000 Euro gefördert wird, seit zwei Jahren an der Umrüstung einer Mikrogasturbine für den Betrieb mit reinem Wasserstoff sowie Mischungen aus Erdgas und Wasserstoff.

## Erste umgerüstete, kommerzielle Gasturbine

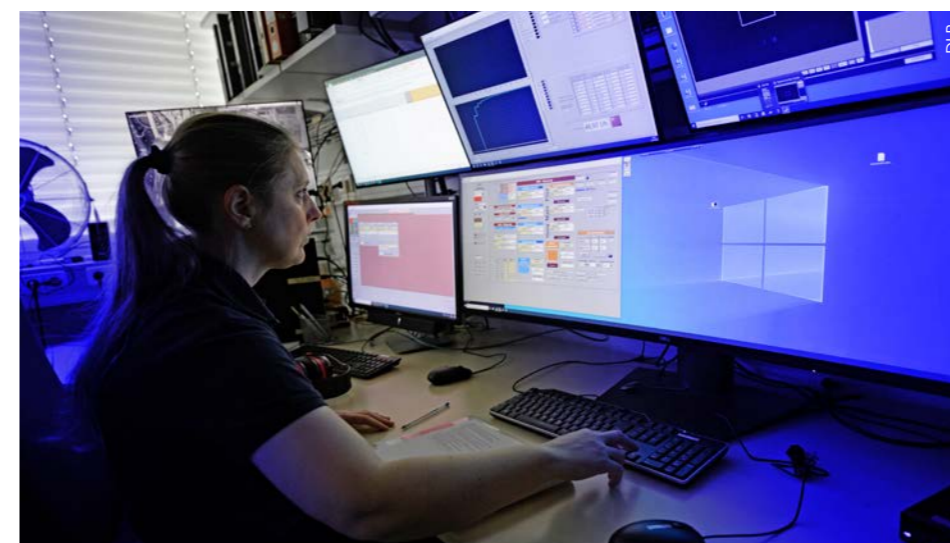
An einem windigen Frühsommertag am DLR-Standort Lampoldshausen ist es endlich so weit: Der Prototyp soll mit reinem Wasserstoff unter voller Leistung laufen. Während jenseits des Hügels ohrenbetäubendes Getöse von einem der Raketenprüfstände zu hören ist, sitzt Martina Hohloch vor einem unscheinbaren grauen Kasten, halb so groß wie ein Schiffscontainer. Darin stecken zwei Jahre harte Arbeit. Es ist die erste kommerzielle Gasturbine, die erfolgreich für den Betrieb mit reinem Wasserstoff umgerüstet worden ist. Die Anlage von Ansaldo Green Tech Spa verfügt über 100 Kilowatt elektrische Leistung.

Mikrogasturbinen dieser Größe werden häufig in Brauereien, Krankenhäusern und Hotels eingesetzt, um Strom und Wärme zu erzeugen. Martina Hohloch und ihr Team haben nicht nur die bisherige Brennkammer der Mikrogasturbine durch eine am Institut entwickelte neue Version ersetzt, die wasserstofftauglich ist, sie haben die Anlage auch komplett für die Nutzung mit dem hochreaktiven Brennstoff umgerüstet: Dank einer modifizierten Steuerung und einem vorgeschalteten brennstoffflexiblen Regel-, Misch- und Verteilungssystem von der Firma PSC stellt sich die Mikrogasturbine jetzt auf verschiedene Brennstoffe ein. Zu Beginn des Projekts hat das Team mehrere Konzepte für Gasturbinen unterschiedlicher Größe untersucht und verglichen, wie eine Umrüstung – ein sogenannter Retrofit – jeweils aussehen könnte. Die beste Lösung wurde dann im Prototyp in Lampoldshausen umgesetzt. „Das Zusammenspiel dieser Komponenten war eine echte Herausforderung“, sagt Tze-Yeung Cheung.

## Das H<sub>2</sub>-Container-Technikum bietet viele Vorteile

Dass sich die Stuttgarter Forschenden für Lampoldshausen entschieden, hat einen guten Grund: Das Institut für Raumfahrtantriebe bietet mit dem neuen H<sub>2</sub>-Container-Technikum (siehe Infografik auf Seite 22) optimale Bedingungen für Tests mit grünem Wasserstoff. Der Elektrolyseur, der Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufspaltet, steht nur einen Steinwurf entfernt von der Turbine. Für die Produktion des Wasserstoffs wird der Strom aus dem benachbarten ZEAG-Windpark im Harthäuser Wald genutzt. „Grüner geht's nicht“, sagt Martina Hohloch und blickt zu den Windrädern hinüber.

Dabei waren die letzten Wochen kein Spaziergang für das Team. Lieferschwierigkeiten bei Ersatzteilen, ein Mangel an Handwerkern oder fehlende Zertifizierungen waren Probleme, die es zu lösen galt. „Wir haben alle unterschätzt, wie komplex es ist, Teile zu finden, die sich auch für den Betrieb mit Wasserstoff eignen“, sagt Martina Hohloch. „Es findet sich in der Technik zwar immer eine Lösung“, sagt auch Tze-Yeung Cheung und



DLR

Von der Leitwarte aus können die Forschenden genau verfolgen, was im Prüfstand passiert.



Tze-Yeung Cheung hat die Umrüstung der Mikrogasturbine auf Wasserstoff als Betriebsleiter bei PSC Consulting begleitet. Die Firma hat eine Steuerung für den Mischbetrieb entwickelt.

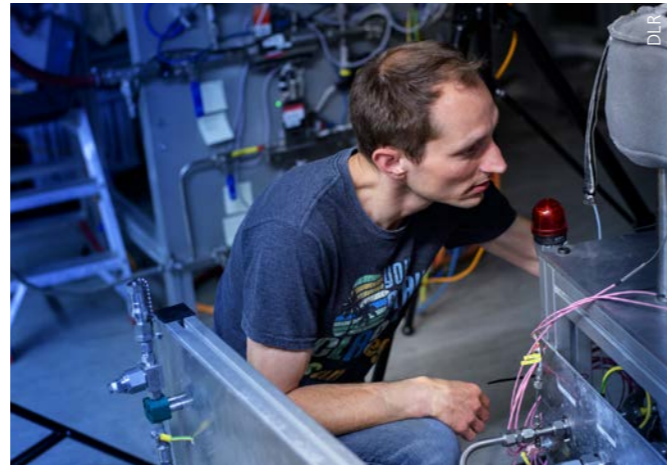
ergänzt: „aber die Frage ist, wie kompliziert diese Lösung aussieht.“ Leider hakt es auch an diesem Morgen. Woran es fehlt, soll eine Telefonkonferenz mit dem Hersteller Ansaldo Green Tech klären.

#### Umrüsten statt neu bauen

Viele Gasturbinen sind bereits in der Lage, Gasgemische mit bis zu einem Volumendrittel Wasserstoff zu verbrennen. Die hohe Kunst aber besteht darin, mit derselben Anlage sowohl Gemische als auch reinen Wasserstoff zu nutzen und beides so emissionsarm wie möglich verbrennen zu können. Weil Wasserstoff hochreaktiv ist und bei anderen Temperaturen verbrennt als Erdgas, ist ein solcher Mischbetrieb nicht einfach. Gasturbinen, die heute entwickelt werden, schaffen das. Aber nicht alle heute in Deutschland laufenden Anlagen – mit in der Summe etwa 35 Gigawatt Leistung – können gegen neue ausgetauscht werden. Das wäre eine gigantische Investition.

„Der Aufbau eines neuen Gasturbinenkraftwerks mit 15 Megawatt Leistung dauert etwa sechs Jahre und kostet 30 Millionen Euro – die Umrüstung einer Bestandsanlage dauert dagegen nur einhalb Jahre und kostet ein Zehntel dieser Summe“, veranschaulicht Dr. Peter Kutne, Leiter der Abteilung Mikrogasturbinen am Institut für Verbrennungstechnik. „Da wird der Hebel deutlich, den das Retrofitting bietet.“ Könnte man die bereits laufenden Kraftwerke umrüsten, zumindest zum Teil, wäre das nicht nur eine enorme Ersparnis, es könnte die Energiewende auch entscheidend beschleunigen.

Das neu entwickelte System des Instituts für Verbrennungstechnik ist die erste Anwendung, die im H<sub>2</sub>-Container-Technikum getestet wird. Links ist das Brennstoffmischsystem zu sehen, rechts das Innere der Mikrogasturbine.



Timo Lingstädt vom DLR-Institut für Verbrennungstechnik hat viel Arbeit in die Optimierung der wasserstofftauglichen Brennkammer gesteckt.

#### Geschäftsvorteil Brennstoff-Flexibilität

Bisher haben die Firmen, die Gasturbinen herstellen, wenig Interesse gezeigt, Zeit in die Entwicklung eines Retrofit-Konzepts zu investieren. Sie verdienen mehr mit dem Verkauf neuer Anlagen. Es sind Dienstleister wie PSC aus Sankt Leon-Rot, die im Retrofit ein Geschäftsmodell sehen. „Für uns ist eine solche Umrüstung eine Eigenschöpfung. Natürlich verwenden wir vorgefertigte Teile, aber am Ende steht ein neues Modell, dessen Nutzungsmöglichkeiten viel breiter gefächert sind als zuvor“, sagt Tze-Yeung Cheung. Aus seiner Sicht liegt der größte Vorteil in der Brennstoffflexibilität. Sie ermöglicht es beispielsweise Brauereien oder Kläranlagen, auch Gase zu verbrennen, die als Abfallprodukt entstehen. Denn bis das Wasserstoffnetz in Deutschland steht, wird es noch dauern. Den Aufbau dezentraler Kraftwerkssysteme hält er deshalb für einen guten Einstieg in die Nutzung von Wasserstoff.

#### Stabilisierte Verbrennung mit weniger Flammenrückschlägen

Die Forschenden vom Institut für Verbrennungstechnik haben den Brenner von diesem Brennstoff aus gedacht. „Wir wollten zunächst einmal eine gute Wasserstoffverbrennung erreichen“, erklärt der Luft- und Raumfahrtstechniker Timo Lingstädt, der im Projekt für die Optimierung der Brennkammer zuständig war. Dafür hat er einen neuen Brenner eingebaut, der auf dem Konzept der jetstabilisierenden Verbrennung basiert. Dieses wird am Institut schon seit längerem für die Wasserstoffverbrennung optimiert. Anders als bei den in der Industrie üblichen Drallbrennern wird der Brennstoff hier durch axiale Jets mit

hohen Geschwindigkeiten eingeleitet. „Der hohe Impuls sorgt für eine starke Rezirkulation in der Brennkammer und führt zu einer intensiven Vermischung des verbrannten Gases mit dem frischen Brennstoff-Luft-Gemisch“, erklärt Martina Hohloch. „Das stabilisiert die Flamme sehr effektiv.“ Die hohen Eintrittsgeschwindigkeiten mindern vor allem das Risiko für Flammenrückschläge. Sie sind gefürchtet, weil sie große Schäden verursachen – bei einer großen Industriegasturbine können allein der Ausfall und die anschließende Wartung nach einem solchen Flammenrückschlag Millionen kosten.

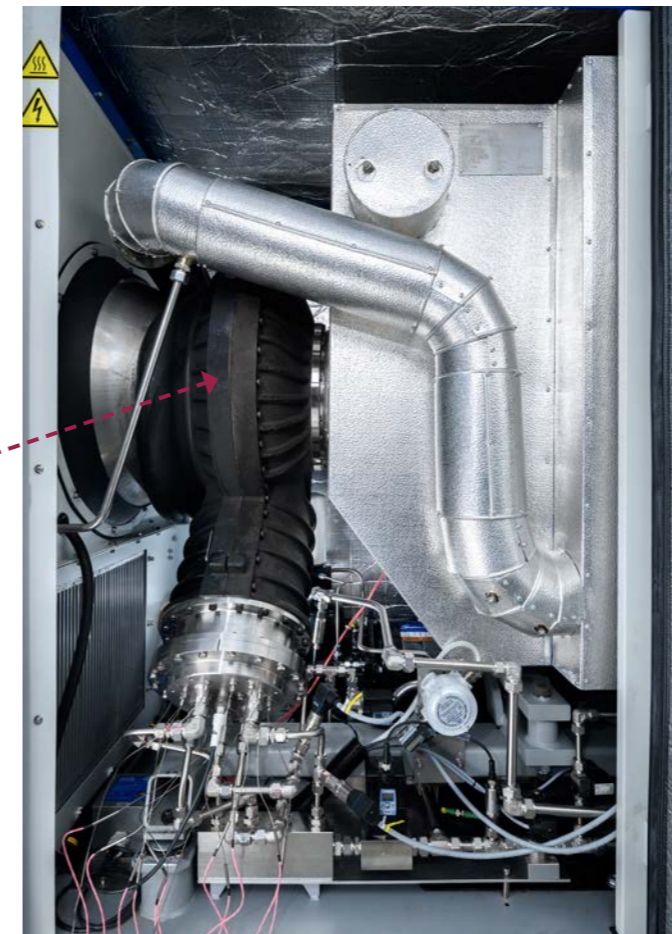
#### Premierenbetrieb mit reinem Wasserstoff

An diesem Morgen ist die Anspannung groß. „Es ist das eine, ob die Turbine überhaupt hochläuft“, sagt Hohloch. „Und das andere, ob sie die richtigen Temperaturen und Sollwerte erreicht, die im Betrieb vorgesehen sind.“ An diesem Tag zahlt sich die Beharrlichkeit des Teams endlich aus. Nach der Telefonkonferenz ist klar, welche Parameter in der Steuerung angepasst werden müssen. Die Turbine läuft jetzt zum ersten Mal mit reinem Wasserstoff auf voller Leistung – und das über mehrere Stunden. Das Ziel ist erreicht, die Freude groß.

Für das Team von Martina Hohloch ist die Arbeit damit noch nicht vorbei – ein Patent ist in Arbeit, die TÜV-Abnahme steht an und auch die Emissionswerte will es mit weiteren Tests an der Mikrogasturbine noch weiter verbessern. PSC Consulting wird das Konzept im nächsten Schritt für Gasturbinen anderer Größenklassen hochskalieren. Ein erstes wasserstofftaugliches Exemplar der kleinen Turbine hat die Firma auch schon ausgeliefert – an das nächste Forschungsprojekt. Dieses kann auf der Pionierarbeit von Retrofit H2 aufbauen.

Anja Tröster verantwortet die Öffentlichkeitsarbeit des DLR-Instituts für Verbrennungstechnik. Sie ist immer wieder beeindruckt, wenn sie Verbrennungstests in den Brennkammer-Prüfständen des Instituts miterlebt.

Einblick in die Mikrogasturbine: Unterhalb des schwarzen Gehäuses des Turbomoduls ist die montierte Brennkammer mit Brennstoffleitungen zu sehen.



## DEZENTRALE ENERGIESYSTEME FÜR DIE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT

Drei Fragen an Dr. Peter Kutne, Leiter der Abteilung Mikrogasturbinen am DLR-Institut für Verbrennungstechnik:

#### Was sind dezentrale Energiesysteme?

■ Davon spricht man, wenn Strom oder Wärme in unmittelbarer Nähe des Endverbrauchers erzeugt werden. Das können in sich geschlossene Systeme sein, etwa in abgelegenen Regionen, aber in den meisten Fällen handelt es sich um kleine Anlagen, die mit anderen, benachbarten Systemen interagieren. Ein solcher Verbund ist im Katastrophenfall deutlich resilienter als ein zentralisiertes Energieversorgungsnetz. Sollte ein Teil ausfallen, können andere Netze einspringen. Die Größe dezentraler Energiesysteme reicht von einigen Kilowatt auf Gebäudeebene bis zu mehreren Dutzend Megawatt im Falle von Stadtquartieren oder kleineren Gemeinden.

#### Wo wäre der Einsatz solcher Systeme in Deutschland sinnvoll?

■ Sie könnten unser Stromverteilnetz entlasten und helfen, Übertragungsverluste zu vermeiden. Sowohl Industriebetriebe als auch Wohnviertel könnten sich in Form eines solchen lokalen Netzes organisieren. Das Energiesystem nutzt, je nach Verfügbarkeit, verschiedene erneuerbare Quellen wie Wind, Fotovoltaik und Erdwärme. Diese Quellen lassen sich mit Wärme- und Batteriespeichern oder Elektrolyseuren für die Produktion von Wasserstoff kombinieren. Deshalb sind dezentrale Energiesysteme ein guter Einstieg in eine Wasserstoffwirtschaft, denn sie können vor Ort ihren eigenen Wasserstoff produzieren und als Speichermedium nutzen. Solche Systeme könnten ländliche Gemeinden, abgelegene Orte und die Industrie zuverlässig und kohlenstofffrei mit Energie versorgen.

#### Welche Vorteile haben Mikrogasturbinen für dezentrale Kraftwerke?

■ Mikrogasturbinen kommen heute schon im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung zum Einsatz – dort also, wo ein hoher Wärmebedarf besteht: in Hotels, Schwimmbädern oder Krankenhäusern. In diesen Bereichen werden die Energiesysteme künftig komplexer, weil ein Teil der Wärme und des Stroms aus unterschiedlichen erneuerbaren Energien gedeckt wird. Durch die Integration von zusätzlichen Speichern entstehen lokale Energiesysteme, die mit ihrer Umgebung interagieren. Mikrogasturbinen haben drei große Vorteile: Sie sind besonders schadstoffarm, sie können mit verschiedenen Brennstoffen betrieben werden und sie müssen vergleichsweise selten gewartet werden.



# AUF DEM SPRUNG IN DIE PRAXIS

Gemeinsam mit Start-ups und Industrie  
Quantencomputing in die Anwendung bringen  
von Felix Knoke

Dr. Hamidu Mbonde von QuiX Quantum, Sabine Wölk vom DLR-Institut für Quantentechnologien und Dr. Annika Zimmermann (von links) von der DLR Quantencomputing-Initiative im Labor von QuiX Quantum. Das Start-up entwickelt am Innovationszentrum Ulm photonische Quantencomputer.

**Quantencomputer haben in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Damit die neuartigen Rechner ihr enormes Potenzial aber auch in der Praxis entfalten, muss die Anwendungsentwicklung mitziehen. Das ist eine doppelte Herausforderung.**

Quantencomputer können bestimmte mathematische Probleme schneller oder effizienter lösen als klassische Rechner. Das ist theoretisch bewiesen, aber der praktische Nachweis für eine nützliche Anwendung steht aus: Die Hardware ist schlicht noch nicht so weit. Die zweite Herausforderung ist der Schritt in die Praxis: Forschung, Industrie und Wirtschaft müssen praktisch relevante Ansatzpunkte für Quantencomputing erkennen und für die neuartige Hardware umsetzen können. Das ist alles andere als trivial. Dabei braucht es beides, den Nachweis der Nützlichkeit und die tatsächlich nützlichen Anwendungsfälle, damit Quantencomputer den Weg in die Anwendung finden. Nur so entsteht ein innovatives Umfeld für Quantencomputing, das international konkurrenzfähige Hardware und Anwendungen – und damit einen funktionierenden Markt – hervorbringt.

In der DLR Quantencomputing-Initiative (DLR QCI) arbeiten Entwicklungsteams von DLR und Industrie deswegen gemeinsam daran, praxisrelevante Anwendungsfälle zu finden und auf den ersten funktionierenden

Quantencomputern umzusetzen. Die enge Zusammenarbeit mit den Industriebeteiligten stellt dabei sicher, dass die Entwicklung nicht an den praktischen Bedürfnissen der zukünftigen Anwender und Anwenderinnen vorbeigeht.

Besonders wichtig ist dabei die Nähe zu den Hardware-Start-ups, die in den Innovationszentren in Hamburg und Ulm die ersten Quantencomputer für die DLR QCI aufbauen (siehe DLRmagazin 173). Diese parallele – und oft gemeinsame – Entwicklung von Hardware, Software und praktischen Anwendungsfällen, die hervorragende technische Infrastruktur und das Miteinander von Industrie, Start-ups und Forschung machen die DLR QCI zu einer weltweiten Besonderheit.

Und sie zeigt: Quantencomputing steht auf dem Sprung in die Praxis. Für Wirtschaft, Gesellschaft und Forschung bedeutet das große Chancen und Herausforderungen, auf die sie sich rechtzeitig einstellen sollten. Die DLR QCI unterstützt das, indem sie nachhaltig die deutsche Quantencomputing-Branche stärkt, Expertise und Fachpersonal aufbaut und so für einen souveränen Zugriff auf eine wahrscheinlich umwälzende Technologie sorgt.

**Felix Knoke** bringt als Kommunikationsexperte für die DLR QCI Forschung, Start-ups und Industrie auf Augenhöhe zusammen.

## QLearning und eleQtron

Quantenprozessoren für das bestärkende Lernen

Maschinelles Lernen revolutioniert die Informationsverarbeitung. Bei den meisten Ansätzen geht es darum, Strukturen in großen Datenmengen zu finden. Beim „bestärkenden Lernen“ hingegen sucht ein sogenannter Agent die richtige Lösung für ein gegebenes Problem. Es findet Anwendung in vielen wissenschaftlichen und industriellen Bereichen, zum Beispiel in der Navigation, Biologie und Energieversorgung. Quantenalgorithmen können den Lernprozess beschleunigen. Deswegen untersucht Sabine Wölk vom DLR-Institut für Quantentechnologien mit der Industrie, welche Quantencomputer sich hier besonders eignen. Durch den direkten Hardwarezugriff in der DLR QCI kann Wölk eng mit den Hardwareherstellern diesen Ansatz erforschen, ausbauen und für echte Anwendungsfälle erproben.



*„Ich bringe das theoretische Hintergrundwissen mit, das Start-up die Hardwareexpertise. Gemeinsam bringen wir Quantencomputing voran.“*

**Sabine Wölk**

Projekt QLearning, DLR-Institut für Quantentechnologien



Forschung, Start-ups und Industrie entwickeln im Rahmen der DLR QCI in 22 Projekten und derzeit 17 Industriebeteiligungen Dutzende wirtschaftlich relevante Anwendungsfälle für Quantencomputer.

Alle Infos:  
[qci.dlr.de/projekte](http://qci.dlr.de/projekte)



## QMPC und E.ON

Quantum Mission Planning Challenges

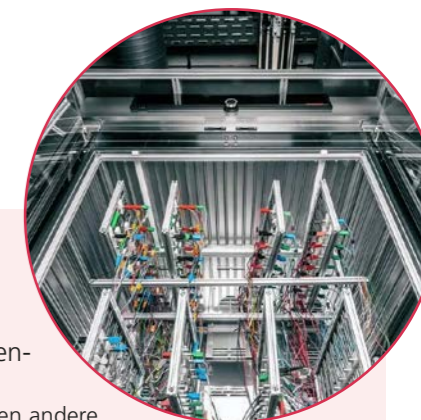
Quantencomputer können bestimmte Optimierungsaufgaben wesentlich schneller oder genauer lösen als klassische Computer. Notorisch schwierig ist das sogenannte Stundenplanproblem: Wie ordnet man bestimmte Aktivitäten so an, dass sie eine Vielzahl von Nebenbedingungen optimal erfüllen?

Das Projekt QMPC erforscht zwei praktische Anwendungsfälle für diese Art von Problem: Sven Prüfer von der DLR-Einrichtung Raumflugbetrieb und Astronautentraining in Oberpfaffenhofen möchte Quantencomputer für die Planung von Raumflugmissionen einsetzen – oft geht es dabei um zeitkritische und missionsrelevante Entscheidungen. Und Corey O'Meara vom Energieversorger E.ON erforscht die effiziente Einbindung von E-Fahrzeugen in die Stromnetze der Zukunft – hier können selbst kleine Effizienzgewinne große positive Folgen haben.

*„Wir treiben mit Quantencomputern die Energiewende voran.“*

**Corey O'Meara**

Chief Quantum Scientist, E.ON Digital Technology



## BASIQ und HQS Quantum

Batteriematerialsimulation mit Quantencomputern

Quantencomputer können andere Quantensysteme hervorragend simulieren. Deswegen werden in der Materialforschung und -entwicklung die ersten großen Vorteile des Quantencomputings erwartet. Im Projekt BASIQ nutzen Birger Horstmann vom DLR-Institut für Technische Thermodynamik und Michael Marthaler von HQS die Störanfälligkeit der ersten Quantencomputer für die Entwicklung effizienterer Batteriematerialien. Mit ihr simulieren Horstmann und Marthaler die äußeren Störungen, denen ein Quantensystem in einem echten Batteriematerial ausgesetzt wäre. Damit wird aus einer Schwäche der ersten Quantencomputer eine Stärke, mit der das Potenzial dieses innovativen Ansatzes erforscht werden kann.

*„Quantencomputer bieten Möglichkeiten bei der Entwicklung neuer Materialien und Wirkstoffe.“*

**Michael Marthaler**

Geschäftsführer, HQS Quantum Simulations

## QUANTITY – Industriebeteiligung gesucht

Quantengestützte Kryptoanalyse

Die Projekte der DLR QCI suchen regelmäßig nach Industriebeteiligungen. Ein Beispiel ist das Projekt QUANTITY. Darin untersucht das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation die Sicherheit von digitalen Verschlüsselungssystemen, die Quantencomputern standhalten müssen. Quantencomputer werden die gängigen kryptografischen Verfahren für digitalen Schlüsselaustausch und digitale Signaturen brechen können. Angreifer könnten wichtige Daten heute speichern und später, sobald es leistungsfähige Quantencomputer gibt, entschlüsseln. Das Projekt QUANTITY unterstützt Forschung und Industrie dabei, die Sicherheit neuartiger, sogenannter quantensicherer Verschlüsselungssysteme besser einschätzen zu können. Dann können sie Kryptoverfahren entwickeln, die auch in einer Welt mit Quantencomputern Bestand haben.

Alle Ausschreibungen unter: [qci.dlr.de/ausschreibungen](http://qci.dlr.de/ausschreibungen)

*„Wir wollen verstehen, welches Risiko von Quantencomputern für quantensichere Verschlüsselungssysteme ausgeht – und diese Systeme verbessern.“*

**Dr. Hannes Bartz**

Forschungsgruppenleiter, DLR-Institut für Kommunikation und Navigation

# SCHAU MIR IN DIE AUGEN

Dieses Bild zeigt eine Augenuntersuchung der besonderen Art: In der RIDGE-Studie (retinal circulation during gravitation changes in a human centrifuge) untersuchten Forschende des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin, wie und ob sich der Augeninnendruck und die Durchblutung der Netzhaut verändern, wenn die Schwerkraft variiert. In Schwerelosigkeit verschieben sich Flüssigkeiten aus der unteren Körperhälfte verstärkt in Richtung Kopf und Brustkorb. Das kann insbesondere bei Langzeitmissionen Sehstörungen und neurologische Beeinträchtigungen verursachen. In der Raumfahrtmedizin kennt man diese Symptome als Spaceflight-Associated Neuro-Ocular Syndrome (SANS). Ein großes Risiko für Astronautinnen und Astronauten.

Die RIDGE-Studie wird in Zusammenarbeit mit der Kardiologie der Universitätsklinik Düsseldorf durchgeführt und von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR

gefördert. In der Forschungsanlage :envihab am DLR-Standort Köln werden Probandinnen und Probanden auf der Kurzarm-Humanzentrifuge im Liegen gedreht. Dadurch wird gezielt eine Flüssigkeitsverlagerung in Richtung des Kopfes, aber auch in Richtung der Beine erzeugt. Währenddessen messen Forschende die Veränderungen des Augeninnendrucks sowie die körpereigenen Regulationsmechanismen bei unterschiedlichen Schwerkraftbedingungen. Damit die Pupille sich durch das helle grüne Licht bei der Augenuntersuchung nicht zusammenzieht, wird sie mit Augentropfen geweitet.

Die Ergebnisse dieser Studie sind nicht nur für die Raumfahrt von Bedeutung, sondern liefern auch für die klinische Forschung auf der Erde wertvolle Erkenntnisse, etwa für die Behandlung von Krankheiten, die mit einer gestörten Flüssigkeitsregulation im Körper einhergehen.



ESA/S. Convoja

# PER ASPERA AD ASTRA

Der Weg in die Zukunft der europäischen Raumfahrt führt über Lampoldshausen

von Diana Gonzalez Velden

Per aspera ad astra – durch Mühsal zu den Sternen. Die Ariane-Rakete bei ihrem Start vom Weltraumbahnhof Kourou am 9. Juli 2024

**A**m 9. Juli 2024 um genau 21:00 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit begann eine neue Ära der europäischen Raumfahrt: Das gewaltige Vulcain-2.1-Triebwerk zündet und mit einem Bilderbuchstart vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guyana begibt sich die europäische Ariane-6-Trägerrakete auf ihren Erstflug ins All. „Los, los, los!“ So wie tausende anderer Menschen in aller Welt sitzt Anja Frank wie gebannt vor dem Bildschirm. Doch für sie ist es nicht einfach eine Rakete, die dort startet – es ist „ihre“ Rakete. Anja Frank ist als Abteilungsleiterin am DLR-Institut für Raumfahrtantriebe am Standort Lampoldshausen verantwortlich für die Durchführung, Überwachung und Kontrolle der dort stattfindenden Raketentests. Bei jedem wichtigen Schritt fiebert sie mit: beim Start der Unterstufe, bei der Zündung der Oberstufe und dann bei der zweiten Zündung. All das hat sie schon einmal erlebt, allerdings nicht am Raketentestplatz oder vor dem Computer, sondern an einem ungewöhnlichen Ort nahe Stuttgart ...



ESA/ArianeGroup/Arianespace/CNES

In der Vorbereitungshalle des europäischen Weltraumbahnhofs Kourou wurden im Juni 2024 die ersten Nutzlasten auf der Ariane 6 installiert. Insgesamt transportierte die Ariane bei ihrem Erstflug 15 Kleinnutzlasten ins All.

Der Standort Lampoldshausen ist idyllisch gelegen, inmitten von bewaldeten Hügeln und umgeben von Feldern und kleinen Flusstälern. Vögel zwitschern in den Bäumen, ein Feldhase hoppelt gemächlich über eine Wiese. Ein kleines Naturparadies, könnte man meinen. Doch dann durchbricht ein Geräusch die Stille: Zehnmal ertönt ein lauter Warnton – dann öffnen sich die Schleusen der Hölle. Ein tiefes Grollen erfüllt die Luft und gewaltige Dampfschwaden ziehen gen Himmel. Wenn in Lampoldshausen große Triebwerke oder Raketentstufen getestet werden, dann ist es im gesamten Umkreis zu hören.

## Ein Konzept für eine zukunftsfähige Trägerrakete

Rund zehn Jahre ist es her, dass die Weichen für die Nachfolge der erfolgreichen Ariane-5-Trägerrakete auf der ESA-Ministerratskonferenz im Dezember 2014 in Luxemburg gestellt wurden. Zehn Jahre, in denen Anforderungen und Konzepte erstellt, verworfen und neu gedacht wurden. Zehn Jahre auch, in denen sich im Trägersektor und an den weltpolitischen Rahmenbedingungen einiges geändert hat.

Die Gründe für die Entscheidung zum Bau von Ariane 6 waren vielfältig. Dazu gehörten eine höhere Kosteneffizienz, die Unabhängigkeit von russischen Sojus-Trägerraketen und eine deutlich höhere Flexibilität der Raketentstufen, sodass auch neue Nutzungskonzepte wie Satellitenkonstellationen bedient werden können. Das Ziel war also kein geringeres, als die europäischen Trägerraketen fit für die Zukunft zu machen.

„Die wichtigste Aufgabe des europäischen Trägerraketenprogramms ist es schon immer gewesen, die Unabhängigkeit Europas in der Raumfahrt zu garantieren. Im Hinblick auf die weltpolitischen Entwicklungen ist dieses Ziel heute wichtiger denn je“, erklärt Dr. Walther Pelzer, Vorstandsmitglied des DLR und Generaldirektor der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR. „Mit der Fertigstellung der neuen Ariane 6 haben wir unsere Autonomie auch für die Zukunft sichergestellt.“

## Der lange Weg in den Weltraum

Der Weg dorthin war steiniger als zunächst angenommen. Bereits für das Jahr 2020 geplant, verzögerte sich der Erststart um vier Jahre. „Rückblickend kann man sagen, dass die Zeitplanung zu Beginn sehr optimistisch gewesen ist“, erläutert Denis Regenbrecht, Ariane-6-Programmverantwortlicher in der Deutschen Raumfahrtagentur. „Bei Neuentwicklungen in dieser Größenordnung sind die organisatorischen, planerischen und technischen Herausforderungen immens – das Risiko, dass es bei sol-

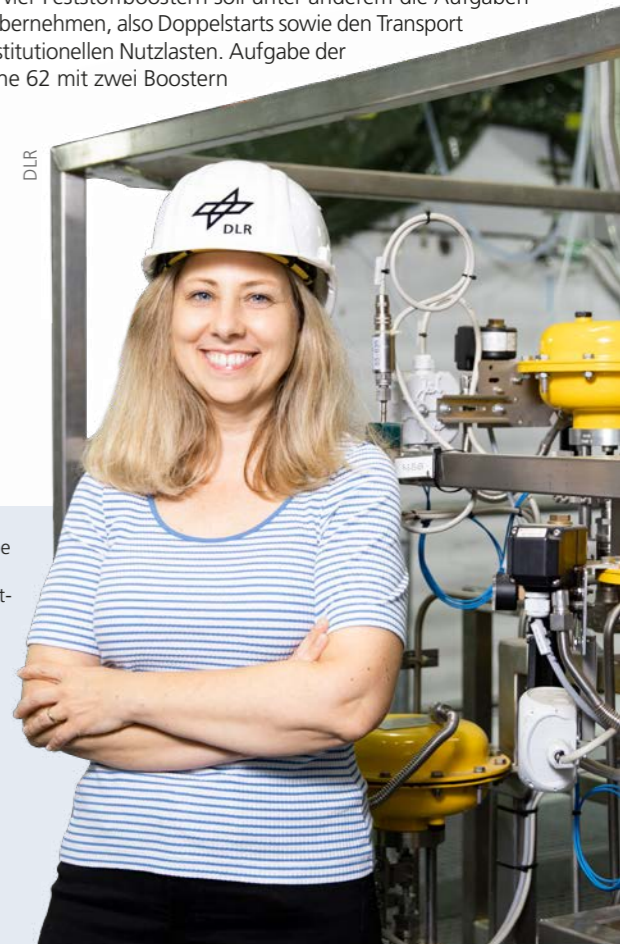
chen Projekten zu Verzögerungen kommt, ist daher besonders hoch.“ Die Mehrkosten für Entwicklung und Bau des Flugsegments trägt die Raumfahrtindustrie zum Großteil selbst, lediglich die höheren Kosten für das Bodensegment werden von den Teilnehmerstaaten des Ariane-Programms übernommen.

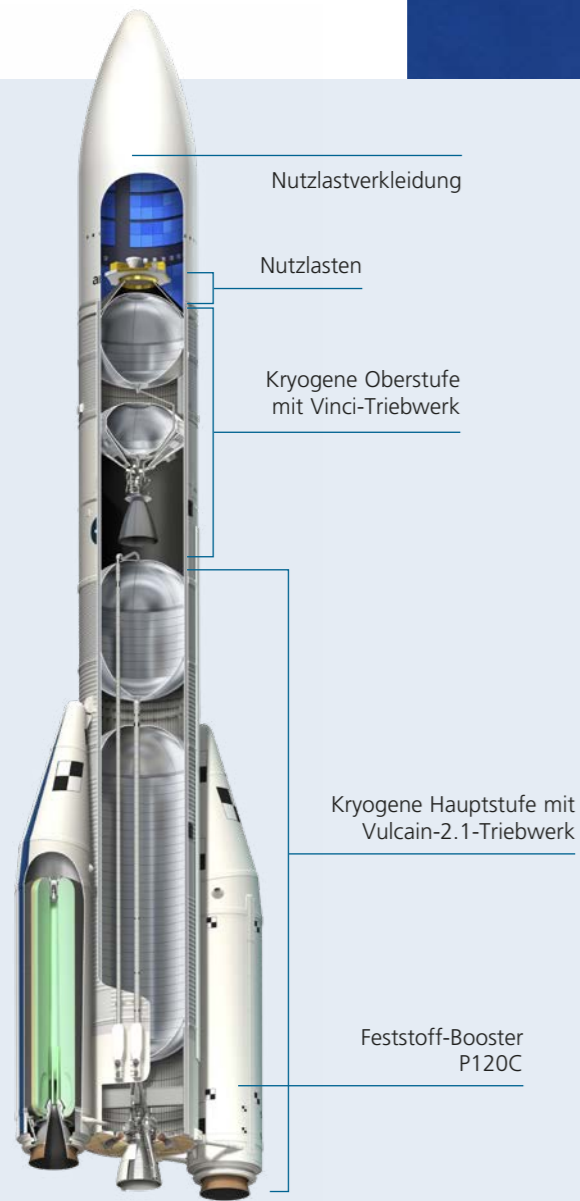
Zusätzlich wurden vor allem die Aufbauarbeiten am Startplatz in Kourou durch die Corona-Pandemie stark beeinträchtigt, aber auch die Entwicklungs- und Produktionsaktivitäten in Europa waren davon betroffen. „Jetzt sind wir glücklich, dass alle Hürden genommen wurden und Ariane 6 für den europäischen Nutzlastmarkt bereitsteht. Per aspera ad astra, also durch Mühsal zu den Sternen, könnte man sagen“, so Regenbrecht.

## Flexibilisierung bei den Nutzlasten

Ariane 6 wartet mit zwei verschiedenen Versionen auf: Die größere Ariane 64 mit vier Feststoffboostern soll unter anderem die Aufgaben von Ariane 5 übernehmen, also Doppelstarts sowie den Transport von großen institutionellen Nutzlasten. Aufgabe der kleineren Ariane 62 mit zwei Boostern

Seit 2006 leitet Anja Frank die Abteilung Versuchsanlagen im DLR-Institut für Raumfahrtantriebe am Standort Lampoldshausen.





Nutzlastverkleidung

Nutzlasten

Kryogene Oberstufe mit Vinci-Triebwerk

Kryogene Hauptstufe mit Vulcain-2.1-Triebwerk

Feststoff-Booster P120C

ESA/D. Ducros

## ÜBER DAS ARIANE-6-PROGRAMM

Die deutsche Beteiligung am Ariane-6-Programm der Europäischen Weltraumorganisation ESA wird durch die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR gesteuert. ArianeGroup als Hauptauftragnehmer ist verantwortlich für Entwicklung und Bau der gesamten Trägerrakete. Diese erfolgen in Zusammenarbeit mit der Industrie. In ihrem Auftrag werden die Triebwerks- und Oberstufentests am DLR-Standort Lampoldshausen durchgeführt. Die Vermarktung des Trägersystems übernimmt das ArianeGroup-Tochterunternehmen Arianespace. Die französische Raumfahrtagentur CNES ist verantwortlich für den Bau des Startplatzes in Kourou sowie für die dort durchzuführenden Tests.

wird es sein, vor allem leichtere Nutzlasten von institutionellen europäischen Kunden wie der Europäischen Weltraumorganisation ESA oder der Europäischen Union zu starten. Zu diesen Nutzlasten zählen etwa die Erdbeobachtungssatelliten des europäischen Copernicus-Programms oder die Satelliten des europäischen Galileo-Navigationssystems.

Doch nicht nur die Nutzlastkapazität von Ariane 6 ist flexibler als die ihrer Vorgängerin, sondern auch ihre Anwendungsmöglichkeiten. Verantwortlich dafür ist die Fähigkeit des erneuerten Vinci-Oberstufentriebwerks, mehrfach zu zünden. Hierdurch können Satelliten versetzt an verschiedenen Orten im Weltall ausgesetzt werden. Dies ist die Grundvoraussetzung dafür, sogenannte Megakonstellationen – also



Die Ariane-6-Oberstufe wird am DLR-Standort Lampoldshausen in den Prüfstand P5.2 eingebaut.

ganze Schwärme von Satelliten – im All zu installieren. Diese Orbiter fliegen dann, aufgereiht wie an einer Perlschnur, in Formation.

Das neue Konzept wird vom Nutzlastmarkt gut angenommen: Alle Starts bis zum Jahr 2027 sind „ausverkauft“. Das liegt nicht zuletzt an einem Vertrag mit dem kommerziellen Kunden Amazon, für den mit 18 Raketen ein Teil der Kuiper-Konstellation mit bis zu 40 Satelliten pro Start ins All transportiert werden soll. Auch für die Zukunft bietet die neue Technik Potenzial, denn die Wiederezündbarkeit und die Möglichkeit, auch komplexe Orbits anzusteuern, sind Voraussetzungen für Missionen zu Mond oder Mars.

### Raumfahrt „made in Lampoldshausen“

„Von den ersten Tests des Vinci- und des Vulcain-Triebwerks über deren Weiterentwicklung bis hin zur Qualifizierung der gesamten Oberstufe war der DLR-Standort Lampoldshausen an allen Entwicklungsschritten des Ariane-6-Antriebs maßgeblich beteiligt“, sagt Dr. Anke Pagels-Kerp, DLR-Bereichsvorständin Raumfahrt. „Grund hierfür ist die nicht nur in Europa einzigartige Prüfstands- und Testinfrastruktur, sondern auch die enge Verzahnung mit der Forschung am Standort sowie die Expertise unserer Fachleute.“

Bereits das Vinci-Triebwerk, das ursprünglich für Ariane 5 entwickelt wurde, wurde am ESA-Prüfstand P4.1 getestet und qualifiziert. Dort fanden auch die Höhensimulationstests statt – eine Möglichkeit, die nur der DLR-Standort Lampoldshausen bietet. Dabei wird das Triebwerk im Vakuum getestet – also unter den Bedingungen, denen die Technik in großer Höhe ausgesetzt ist. Sie haben Auswirkungen auf die Funktion des Raketentriebwerks, wie das Zündverhalten und den Thermalhaushalt.

Für Ariane 6 wurde Vinci modifiziert. Das erneuerte Oberstufentriebwerk kann bis zu viermal neu gezündet werden, mit einer maximalen Gesamtbrenndauer von 14 Minuten. Ebenso wie der Vulcain-2.1-Motor ist Vinci kryogen: Der Motor wird mit flüssigem Wasserstoff und flüssigem Sauerstoff betrieben. Bei den Testkampagnen wurden die Rahmenbedingungen für den Raketenflug so realistisch wie möglich nachgestellt. Der Prüfstand übernahm dabei die Aufgaben der Raketenstufe oder der Rakete selbst. Hier wurde das Triebwerk nicht nur gezündet, es wurden auch alle Prozesse vor, während und nach einem Flug simuliert. Der Motor wurde mit Treibstoff aus den Tanks am Prüfstand versorgt. Dieser Treibstoff wurde mittels Gasdruck gefördert und so geregelt, dass für das Triebwerk Flugbedingungen simuliert werden konnten. Dann zeigt sich erstmals, ob alle Anschlüsse optimal passen und alle Systeme reibungslos zusammenarbeiten.

„Die wichtigste Aufgabe des europäischen Trägerraketenprogramms ist es schon immer gewesen, die Unabhängigkeit Europas in der Raumfahrt zu garantieren. Im Hinblick auf die weltpolitischen Entwicklungen ist dieses Ziel heute wichtiger denn je. Mit der Fertigstellung der neuen Ariane 6 haben wir unsere Autonomie auch für die Zukunft sichergestellt.“

**Dr. Walther Pelzer**

Vorstandsmitglied des DLR und Generaldirektor der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR



Beim Heißlauf der Oberstufe tritt aus dem Prüfstand eine gewaltige Wolke aus Wasserdampf aus.

### Feuer und Eis: Heißlaufests als Belastungsprobe

„Die größte Herausforderung war die Erprobung der gesamten Oberstufe als Systemtest, was ungeheuer komplex ist“, so Frank. „Erstmals ist dabei auch die komplette Stufe mit integrierter Avionik, also der elektronischen Flugsteuerung, getestet worden. Dabei haben wir die Stufe ihren Flug selbstständig mit ihren eigenen Systemen machen lassen.“ Was Anja Frank so salopp formuliert, bedeutet nichts anderes, als dass die Raketenstufe alle Schritte eines regulären Flugs ins All selbstständig durchläuft – nur ohne dabei vom Boden abzuheben und natürlich mit der Kontrolle des Prüfstands. Die Kräfte, die dabei auf alle Komponenten wirken, sind enorm: Alles rüttelt und schüttelt.

Bis zu 24 Stunden dauerten die Testtage mit der Oberstufe, die in der Zeit von Oktober 2022 bis April 2024 stattfanden. Während dieser Zeit waren Material und Prüfstand extremen Belastungen ausgesetzt: Minus 253 Grad Celsius beträgt die Temperatur von tiefkalt, also flüssigem Wasserstoff, rund 3.000 Grad heiß sind die noch brennenden Abgase, wenn sie das Triebwerk verlassen. Der Wasserdampf wird in einem riesigen Kanal nach außen geleitet, wo ein Teil des abgekühlten Wassers in einem speziellen Becken aufgefangen und für die Wiederverwendung als Kühlwasser gesammelt wird. Stattgefunden haben die Ariane-6-Oberstufentests am eigens dafür entwickelten und gebauten ESA-Prüfstand P5.2.

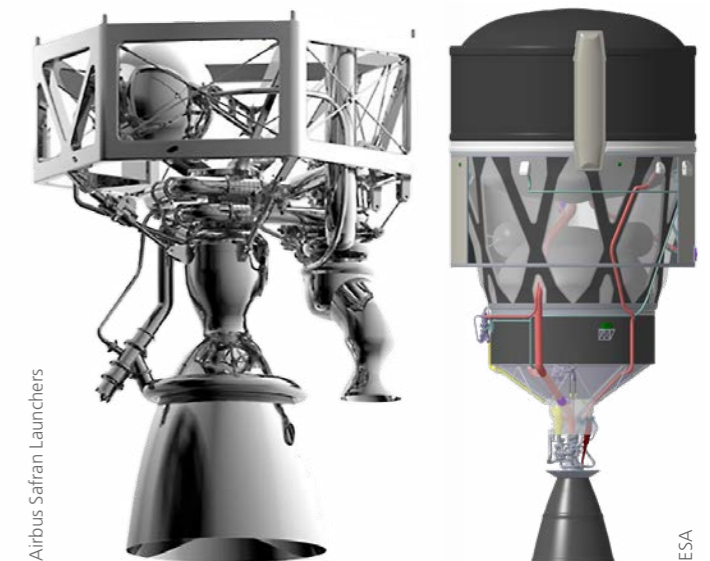
### Auf dem Weg in die Zukunft mit Astris, PHOEBUS und Prometheus

Nach dem erfolgreichen Start von Ariane 6 heißt es nun weiter in die Zukunft blicken, denn das europäische Trägerraketenprogramm soll kontinuierlich verbessert und an neue Gegebenheiten angepasst werden, um konkurrenzfähig zu bleiben. Ein Schwerpunkt im aktuellen Leistungsverbesserungsprogramm der ESA ist beispielsweise eine weitere Steigerung der Antriebskraft, da auch das Gewicht der Nutzlasten zunimmt. Mehr Schub ist außerdem Voraussetzung für zukünftige Explorationsmissionen, etwa zu Mond oder Mars. Dabei soll auch die Kickstufe Astris helfen, denn mit ihr werden komplexe orbitale Manöver möglich.

Neue Ansätze in der Antriebstechnik verfolgen auch die Technologieentwicklungen PHOEBUS (Prototype for a Highly Optimized Black

Upper Stage) und Prometheus. Beide sind Teil des Future Launchers Preparatory Programme der ESA, also eines Technologieprogramms zur Vorbereitung zukünftiger Trägerraketen. Bei PHOEBUS handelt es sich um ein neues Oberstufenkonzept auf Basis von Faserverbundwerkstoffen. Durch Carbontechnologie soll vor allem Gewicht eingespart werden, um Startkosten zu senken oder alternativ eine höhere Nutzlastkapazität zu erreichen. Zudem bietet dieser Werkstoff den Vorteil, dass Arbeitsschritte wie das Schweißen, Drehen oder Fräsen beim Bau der Komponenten entfallen und auch neue Formgebungen möglich sind.

Im Prometheus-Programm von ESA und CNES wird derzeit das erste europäische Hauptstufentriebwerk entwickelt, das mit einer Kombination aus flüssigem Sauerstoff und flüssigem Methan angetrieben wird. Dabei soll der Motor kostengünstig, flexibel einsetzbar und wiederverwendbar sein. Ab dem Jahr 2030 soll die Prometheus-Technologie die nächste Generation der europäischen Trägerraketen antreiben.



Airbus Safran Launchers

ESA

Prometheus (links) ist ein für Wiederverwendbarkeit optimiertes Raketentriebwerk und wird mit Flüssigsauerstoff-Methan-Treibstoffen betrieben. PHOEBUS (rechts) ist ein Demonstrator für einen Treibstofftank aus kohlefaserverstärktem Kunststoff.

Egal ob Astris, PHOEBUS oder Prometheus – alle Antriebstechnologien werden am DLR-Standort Lampoldshausen erprobt. So wird dort nicht nur aktuell das Triebwerk der Astris-Stufe getestet, sondern ab dem Jahr 2025 auch die gesamte Astris-Stufe sowie die PHOEBUS-Stufe. Der Prüfstand P5 wurde bereits mit einem zusätzlichen Methantank ausgerüstet und steht in Kürze für die Tests mit Prometheus im Jahr 2025 bereit. „Was die Zukunft der europäischen Raumfahrt betrifft, führt kein Weg an uns vorbei“, sagt Frank selbstbewusst und lächelt.

**Diana Gonzalez Velden** ist Redakteurin in der DLR-Kommunikation. Raumfahrt findet sie nicht nur deshalb so spannend, weil sie uns in „unendliche Weiten“ schauen lässt, sondern vor allem auch, weil wir vom Weltall aus die Erde und deren Wandel am besten im Blick haben.



# VON DER ERDE INS ALL – UND WIEDER ZURÜCK

Wie Raketen wiederverwendbar werden

Interview mit Dr. Martin Sippel

**B**is auf die Trägerrakete von SpaceX, die inzwischen regelmäßig in den Weltraum fliegt, sind Raketen in der Regel Einwegprodukte. Aber das soll sich bald ändern: Dr. Martin Sippel leitet die Abteilung Systemanalyse Raumtransport des DLR-Instituts für Raumfahrtssysteme in Bremen. Er forscht schon seit Jahren an verschiedenen Ansätzen, wie Raketen nach ihrem Flug wieder auf der Erde landen können. Wie diese Technologien funktionieren und wann erste Prototypen starten könnten, erzählt er in diesem Interview.

## Die Falcon 9 ist bislang die einzige wiederverwendbare Rakete. Wie macht Elon Musk das?

■ Elon Musk ist nicht der Erste, der Raumfahrzeuge wiederverwendbar gemacht hat. Es gab ja schon das Space-Shuttle-Programm der NASA, in dem das Space Shuttle im horizontalen Landeanflug nach Cape Canaveral in Florida oder nach Kalifornien zurückkam. SpaceX verwendet für bestimmte Missionen die sogenannte raketentriebene Rückkehr zum Startplatz (siehe Infokasten „Senkrechte Landung“), bei der die wiederverwendbare Stufe mithilfe ihrer eigenen Triebwerke kontrolliert zur Erde zurückfliegt. Das Besondere: Sowohl beim Eintritt in die Atmosphäre als auch bei der Landung werden die Triebwerke erneut gezündet.

## Warum wurde das Space-Shuttle-Programm denn eingestellt?

■ Das Space Shuttle war mehr als 30 Jahre von 1981 bis 2011 aktiv. Der Hauptgrund, den Betrieb auslaufen zu lassen, lag in der damaligen Einschätzung der NASA, dass die Sicherheit der Astronauten an Bord beim Wiedereintritt geringer sei als bei einer Kapsel. Die Erfahrungen aus dem Absturz des Orbiters Columbia spielten dabei eine wichtige Rolle. Die Wartungskosten des Shuttles waren außerdem hoch. Dies hatte allerdings weniger mit der Wiederverwendbarkeit zu tun als mit der Organisationsstruktur im Kennedy-Space-Center der NASA. Außerdem waren die Anforderungen an das Space Shuttle, das wochenlang mit Menschen im Weltraum bleiben konnte, natürlich vollständig andere als bei einer unbemannten Raketenstufe, die nach wenigen Minuten zurück zur Erde kommt.

## Das Space Shuttle landete wie ein normales Flugzeug, die Raketen von SpaceX kommen nahezu senkrecht zur Erde zurück. Worin unterscheiden sich diese Technologien?

■ Zuerst einmal gibt es einen sichtbaren Unterschied: Bei einer vertikalen Landung ähnelt die wiederverwendbare Variante äußerlich einer herkömmlichen Rakete, die nur um kleine Steuerflächen und Landebeine erweitert wird. Eine horizontale Landung (siehe Infokasten „Horizontale Landung“) erfordert im Gegensatz dazu ausreichend große Flügel, aerodynamische Steuerflächen, ein Fahrwerk sowie gegebenenfalls Flugzeugtriebwerke. Zusätzlich müssen die Flügel mit einem Thermalschutzsystem ausgestattet werden, damit sich diese beim gleitenden Wiedereintritt in die Atmosphäre nicht zu sehr erhitzen. Bei der vertikal landenden Rakete werden die Belastungen des Wiedereintritts durch das Zünden der Triebwerke abgemildert.

## Ist eine der Technologien besser als die andere?

■ Wie so oft gibt es auf diese Frage keine einfache Antwort. Durch die erneuten Zündungen der Triebwerke bei Wiedereintritt in die Atmosphäre braucht die vertikal aufsetzende Rakete deutlich mehr Treibstoff. Im Gegensatz dazu benötigt ein geflügeltes System keinen Treibstoff, weil die Verzögerungen allein durch die aerodynamischen Kräfte bewirkt werden. Allerdings ist eine solche Konfiguration aufgrund der Flügel in ihrem Grundzustand schon schwerer. Ein geflügeltes System ist durch Klappen und Thermalschutz komplexer und teurer. Umgekehrt erfordern vertikal landende Systeme Raketentriebwerke, die mehrfach im Flug wieder gezündet werden können und außerdem in einem breiten Bereich drosselbar sein müssen. Letzteres ist für die

vertikale Landung notwendig, um ein sanftes Aufsetzen zu gewährleisten. Auch die Landung spielt bei den Unterschieden eine große Rolle: Für die vertikale Landung auf dem Meer muss eine Plattform in 500 bis 1.500 Kilometer Entfernung zur Küste platziert werden. Der Aufwand ist geringer, wenn die Rakete zurück zur Raketenbasis fliegt. Das wiederum bedeutet aber einen noch höheren Bedarf an Treibstoff, sodass dies nur für Missionen mit geringen Anforderungen und vergleichsweise kleinen Nutzlasten geeignet ist. Während mit Flugzeugtriebwerken ausgerüstete geflügelte Systeme autonom zum Startplatz zurückfliegen können, erfordert das Einfangen mithilfe des



Visuelle Darstellung des ReFEx-Flugexperimentes während seines Hyperschall-Wiedereintritts

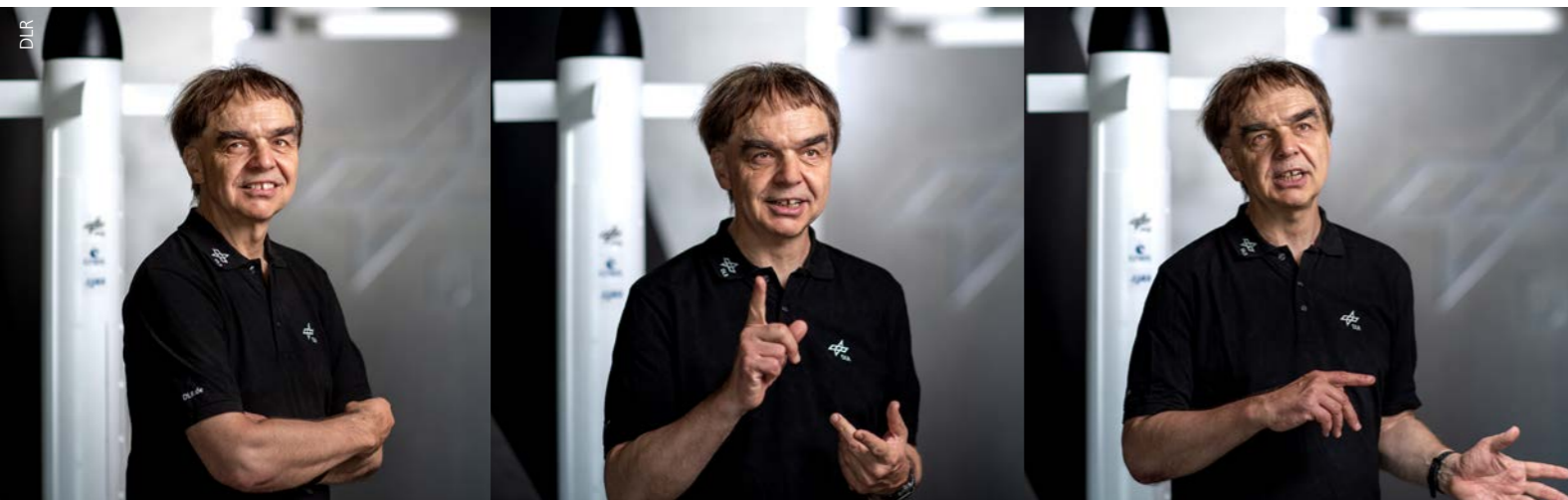


Integration des Strukturmodells von ReFEx im Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen im Dezember 2023

„Wir forschen im DLR an beiden Ansätzen der Wiederverwendung. Dabei gibt es zwei herausstechende Projekte: ReFEx und CALLISTO. In beiden geht es darum, mithilfe von Flugdemonstratoren die Hauptschwierigkeiten der jeweiligen Technologien zu untersuchen.“

**Dr. Martin Sippel**

Leiter der Abteilung Systemanalyse Raumtransport  
des DLR-Instituts für Raumfahrtssysteme



vom DLR entwickelten „In-Air Capturing“ ein speziell ausgestattetes Schleppflugzeug, das vorab in der Einfangzone platziert wird. Die wiederverwendbare Rakete wird dadurch allerdings sehr effizient.

#### In welche Richtungen forscht das DLR aktuell?

Wir forschen hier im DLR an beiden Ansätzen der Wiederverwendung. Dabei gibt es zwei herausstechende Projekte: ReFEx (Reusability Flight Experiment) und CALLISTO (Cooperative Action Leading to Launcher Innovation in Stage Toss back Operations). In beiden geht es darum, mithilfe von Flugdemonstratoren die Hauptschwierigkeiten der jeweiligen Technologien zu untersuchen. Flugdemonstratoren sind kleine Prototypen von Flugmaschinen, die mit vergleichsweise

geringem Aufwand unter realen Bedingungen testen, ob sich neue Technologien bewähren und wie sie sich auf das Gesamtsystem auswirken. Bei ReFEx wird ein geflügelter Gleiter mithilfe einer Höhenforschungsrakete in die obere Atmosphäre auf mehr als fünffache Schallgeschwindigkeit befördert. Anschließend fliegt der Demonstrator den typischen Wiedereintritt eines geflügelten Systems nach. Unser Hauptaugenmerk liegt dabei auf Aspekten der Gesamtintegration und auf dem kontrollierten aerodynamischen Flug vom höheren Überschall bis hinunter zum Unterschall. Eine schwierige Aufgabe, die in dieser Form von Europa bisher noch nie durchgeführt wurde. Aktuell beginnt die finale Integration aller Systeme. Ergänzend dazu demonstriert CALLISTO die vertikale Landung. Wir arbeiten hier mit der französischen Raumfahrtagentur CNES und der japanischen JAXA zusammen. Der CALLISTO-Demonstrator ist elf Meter hoch und soll selbstständig starten und wieder landen können. Entsprechend ist er mit Steuerflächen und ausklappbaren Landebeinen ausgestattet. Für CALLISTO sind mehrere Versuche mit zunehmender Schwierigkeit geplant. Während die ersten Flüge lediglich einige Meter vom Boden abheben, soll der finale Demonstrationsflug bis auf über zehn Kilometer Höhe reichen. Alle Flüge werden mit demselben Demonstrator durchgeführt. So ist CALLISTO bereits eine kleine wiederverwendbare Rakete. Aktuell wird die Hardware gebaut und getestet.

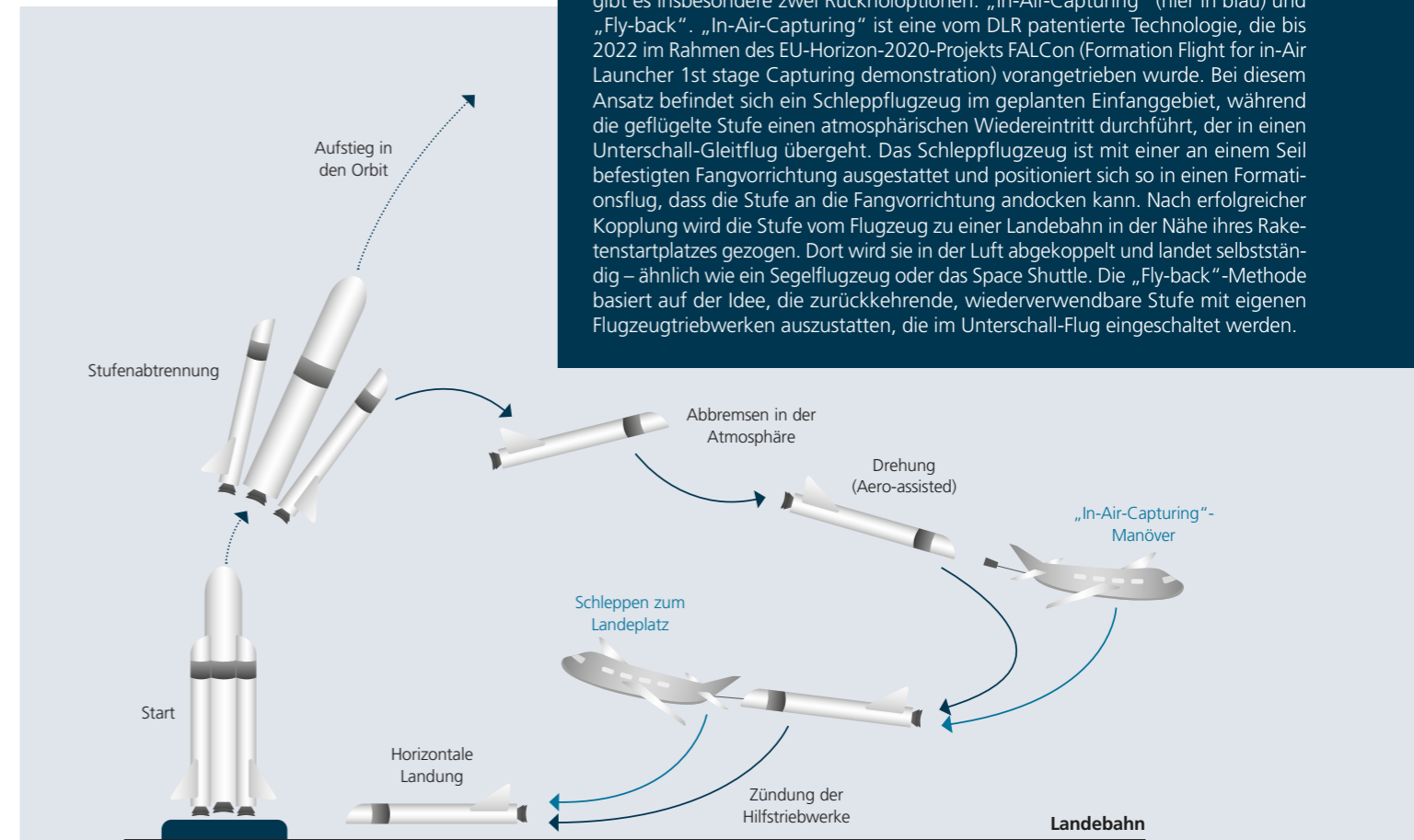
#### Ihre persönliche Meinung: Wie werden sich die Rückkehrtechnologien zukünftig entwickeln?

Das ist genau die spannende Frage und die tatsächlich gebauten Trägerraketen, die auf neuester Forschung basieren, werden letztlich die Antwort geben. Als Tendenz zeichnet sich ab, dass versucht wird, die Vorteile der unterschiedlichen Rückkehrverfahren zusammenzubringen. Man kann zum Beispiel durch kleine Flügel oder Finnen an der Raketenstufe die aerodynamischen Kräfte nutzen, um die Lasten beim Wiedereintritt auch ohne Antrieb deutlich zu reduzieren. Dann wird der Antrieb nur noch für das Aufsetzen benötigt, da diese Flügel für eine horizontale Landung zu klein sind.

Die Fragen stellte **Nele Vormschlag**. Sie arbeitet als Institutskommunikatorin am DLR-Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen und ist fasziniert von der kontinuierlichen Weiterentwicklung von Raumfahrtinfrastrukturen und -technologien.



Der CALLISTO-Demonstrator ist elf Meter hoch und soll selbstständig starten und wieder landen können.

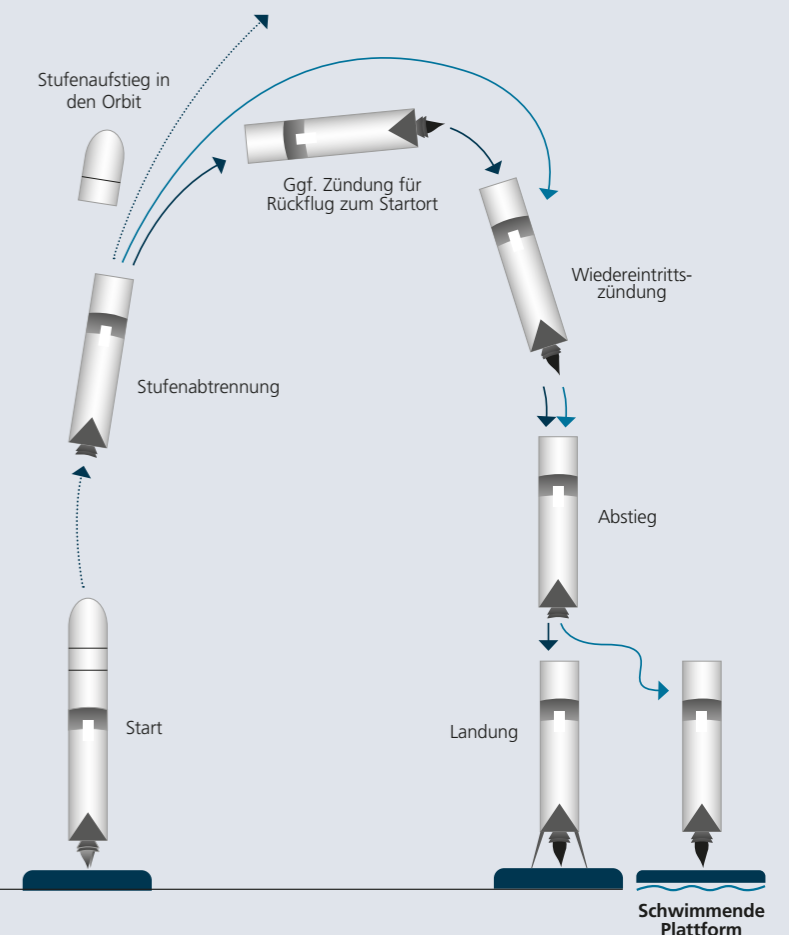


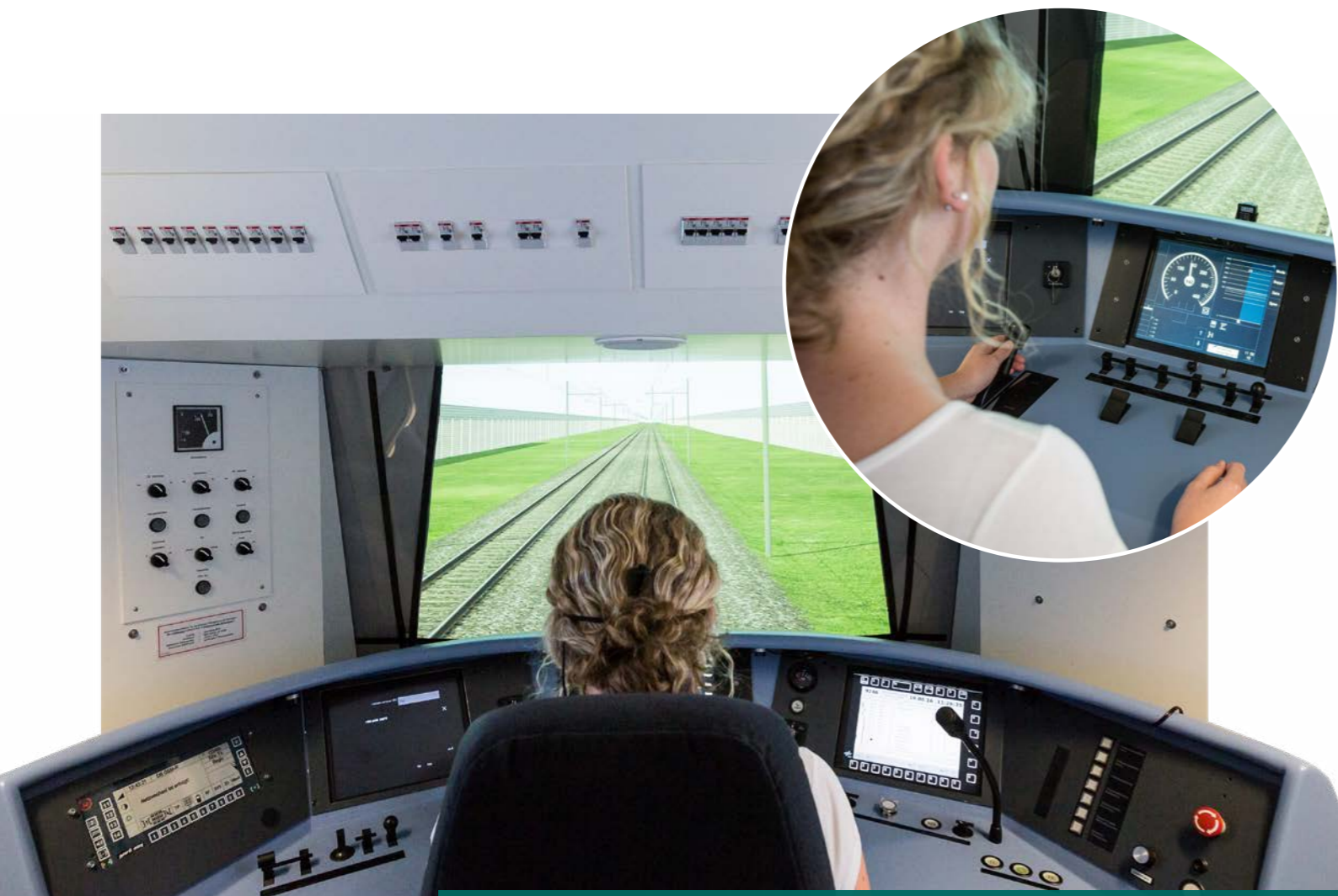
### HORIZONTALE LANDUNG

Bei der horizontalen Landung setzt die Raketenstufe wie ein Flugzeug auf einer Landebahn auf. Außerdem dient der Flügel zur Verringerung der Lasten beim Wiedereintritt, ohne dass dafür ein Antrieb nötig ist. Für horizontal landende Systeme gibt es insbesondere zwei Rückholoptionen: „In-Air-Capturing“ (hier in blau) und „Fly-back“. „In-Air-Capturing“ ist eine vom DLR patentierte Technologie, die bis 2022 im Rahmen des EU-Horizon-2020-Projekts FALCon (Formation Flight for in-Air Launcher 1st stage Capturing demonstration) vorangetrieben wurde. Bei diesem Ansatz befindet sich ein Schleppflugzeug im geplanten Einfanggebiet, während die geflügelte Stufe einen atmosphärischen Wiedereintritt durchführt, der in einen Unterschall-Gleitflug übergeht. Das Schleppflugzeug ist mit einer an einem Seil befestigten Fangvorrichtung ausgestattet und positioniert sich so in einer Formationsflug, dass die Stufe an die Fangvorrichtung andocken kann. Nach erfolgreicher Kopplung wird die Stufe vom Flugzeug zu einer Landebahn in der Nähe ihres Raketenstartplatzes gezogen. Dort wird sie in der Luft abgekoppelt und landet selbstständig – ähnlich wie ein Segelflugzeug oder das Space Shuttle. Die „Fly-back“-Methode basiert auf der Idee, die zurückkehrende, wiederverwendbare Stufe mit eigenen Flugzeugtriebwerken auszustatten, die im Unterschall-Flug eingeschaltet werden.

### SENKRECHTE LANDUNG

Bei der senkrechten Landung werden die Raketentriebwerke nicht nur beim Aufstieg, sondern auch bei der Stufenrückkehr zur Erde eingesetzt. Man unterscheidet zwei Varianten: die raketentriebene Rückkehr zum Startplatz (Englisch: Return-to-Launch-site) und die Landung auf einer schwimmenden Plattform im Meer in größerer Entfernung vom Startort (Englisch: Down Range Landing, hier in blau). In beiden Fällen werden beim Eintritt in die Atmosphäre die Triebwerke gezündet, um Hitze und hohe Kräfteinwirkung auf die Stufe zu verringern. Dies wurde unter anderem im Rahmen des vom DLR geführten und von der EU geförderten Projekts RETALT systematisch untersucht. Kurz vor der Landung werden oberhalb der geplanten Landestelle Beine ausgefahren, die Stufe wird durch ein Triebwerk genau positioniert und zum sanften Aufsetzen abgebremst. Wenn die wiederverwendbare Stufe zum Startplatz zurückkehren soll, wird sie unmittelbar nach Abtrennung der Oberstufe gedreht. Anschließend zündet sie ihre Triebwerke, um umzudrehen und so zum Startplatz zurückzufliegen. Dieses Manöver braucht bereits viel Treibstoff, bevor anschließend nochmals die Triebwerke benutzt werden, ähnlich wie bei der Landung auf der Seeplattform.





# DEN DIGITALEN KNOTEN ENTFESSELN

Simulationen und virtuelle Tests des DLR bringen die Digitalisierung der Schiene voran  
 von Denise Nüssle

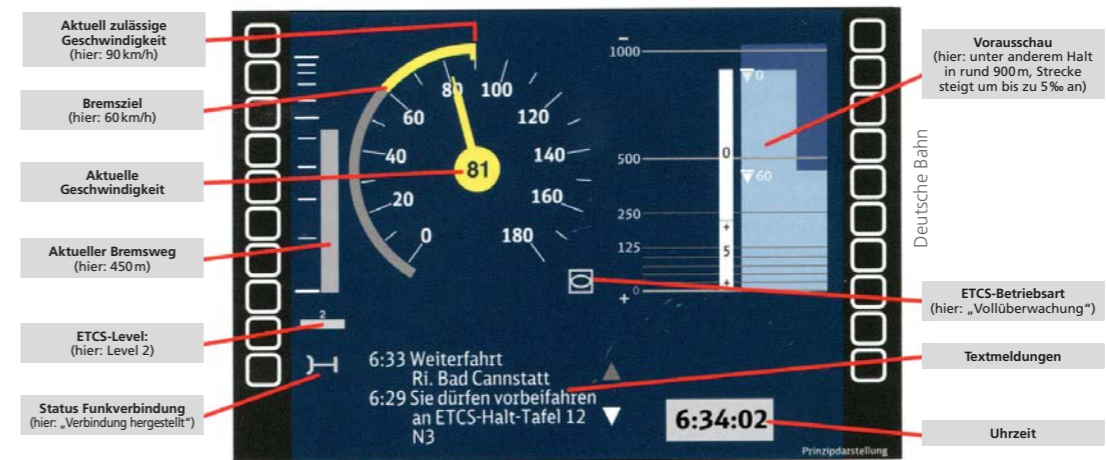
Führerstand im RailSite-Labor mit allen Elementen zur Bedienung eines Zugs. Hier kann das DLR auch untersuchen, wie Triebfahrzeugführende mit ETCS und steigender Automatisierung bei der Zugsteuerung umgehen.

**Im Bahnnetz wird es immer enger, vor allem an Knotenpunkten. Gleichzeitig sollen in Zukunft mehr Menschen und Güter auf der Schiene transportiert werden als je zuvor. Wenn es darum geht, die dafür notwendigen Kapazitäten zu schaffen, ruhen große Hoffnungen auf der Digitalisierung – besonders im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik. Die Verkehrsforschung des DLR unterstützt diesen Prozess mit Know-how, langjähriger Erfahrung und einmaligen Testlaboren für die digitale Zertifizierung und Weiterentwicklung von Komponenten und Systemen.**

Bahnknoten sind neuralgische Punkte im Schienennetz: Mehrere Strecken kommen dort zusammen oder kreuzen sich. Sie sind deshalb extrem wichtig für den Betriebsablauf. Meist befinden sich an ihnen auch große Bahnhöfe. Die Kapazität der Bahnknoten, also wie viele Züge in einem bestimmten Zeitraum abgefertigt werden können, ist maßgebend für die Funktion des Schienennetzes und dessen weiteren Ausbau. Denn neue, zusätzliche Gleise oder Weichen sind bei komplexen Bahnknoten oft nur schwer umsetzbar. Die bestehende Bebauung in Innenstädten, Infrastruktur wie Tunnel und Brücken oder

eine spezielle geografische Lage machen solche Vorhaben langwierig und teuer. Beispiele dafür sind die Hohenzollernbrücke in Köln oder die Stuttgarter Kessellage.

Die Digitalisierung der Bahn und vor allem der Bahnknoten verspricht im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit große Potenziale freizusetzen. Die Erwartungen liegen zwischen 20 und 35 Prozent mehr Kapazität. Dafür sollen die Knoten möglichst im laufenden Betrieb und stufenweise digital umgerüstet werden.



Ein Display zeigt dem Triebfahrzeugführenden beim Betrieb mit ETCS Level 2 alle wichtigen Informationen an. Konventionelle Signale auf der Strecke sind deshalb nicht mehr notwendig.

## Digitale Bahnknoten: Betrieb und Wartung virtuell gesteuert

„Unter einem digitalen Knoten versteht man zum Beispiel einen großen Bahnhof, bei dem der ganze Betrieb und die Instandhaltung digital organisiert und abgewickelt werden“, beschreibt Dr. Michael Meyer zu Hörste vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig. Seit mehr als zwanzig Jahren arbeitet er dort als Bahnforscher, vor allem im Bereich der Leit- und Sicherungstechnik. „In einem digitalen Knoten entstehen auch riesige Datenmengen. Diese Daten kann man systematisch sammeln und nutzen, um die Funktion einzelner Komponenten oder des ganzen Knotens zu analysieren und zu verbessern – auch mit Methoden der künstlichen Intelligenz“, blickt Meyer zu Hörste in die Zukunft. Für eine „vorausschauende Wartung“ – auf Englisch Predictive Maintenance – könnte man die teilweise in Echtzeit zur Verfügung stehenden Daten außerdem verwenden, um möglichst genau vorherzusagen, wann Komponenten ermüden. So ließen sich Verschleißteile rechtzeitig austauschen und Ausfallzeiten verringern.

## ETCS: vier Buchstaben für die digitale Schiene

Das Europäische Zugbeeinflussungssystem – abgekürzt ETCS für Englisch European Train Control System – spielt eine zentrale Rolle beim digitalen Bahnknoten und bei der Digitalisierung des gesamten Bahnsystems. Bereits in den späten 1980er Jahren gab es erste Überlegungen dazu, wie sich der Schienenverkehr in Europa digitalisieren und vereinheitlichen ließe. Im Mittelpunkt standen der Zugfunk, die Verkehrssteuerung und die Zugbeeinflussung.

## CRASHKURS ZUGFAHREN

Trotz hoher Geschwindigkeiten und langer Bremswege zählt die Bahn zu den sichersten Fortbewegungsmitteln. Das liegt an den durch Schienen vorgegebenen Wegen und der weit vorausschauenden Leit- und Sicherungstechnik. Anders als beim Autofahren muss im Zugbereich schon gehandelt werden, weit bevor man Dinge wie Hindernisse überhaupt sieht. Bahnfahren hat seine eigene Logik und erfolgt immer im Dialog zwischen Lokführern und Fahrdienstleitenden. Für alle Bahnstrecken gibt es ein genaues Streckenprofil. Darin sind alle wichtigen Informationen enthalten: zu vorgegebenen Geschwindigkeiten, den Standorten von Signalen und Weichen sowie zu Haltepunkten. Das Streckenprofil müssen die Lokführer gut kennen. Deshalb fahren sie auch nie unbekannte Strecken.

Alle Bahnstrecken sind in sogenannte Blockabschnitte aufgeteilt. In ihnen darf sich immer nur ein Zug aufhalten. Je nachdem wie frequentiert eine Strecke ist, können die Blockabschnitte wenige hundert Meter oder auch mehrere Kilometer lang sein. Vor Bahnhöfen werden die Abschnitte immer kürzer. Lokführer dürfen nur nach Freigabe durch die Fahrdienstleitung in einen Blockabschnitt einfahren. Innerhalb eines Abschnitts haben die Lokführer dann – basierend auf den Angaben des Streckenprofils – eine gewisse Freiheit, wie schnell sie fahren, beschleunigen oder abbremsen wollen. Das Fahren nach Blockabschnitten ist seit Jahrzehnten etabliert und sehr sicher. Es ist computergesteuert, funktioniert mit mechanischen und elektrischen Komponenten sowie Funkverbindungen. Ein bedeutender Nachteil des Verfahrens ist sein Mangel an Dynamik und Flexibilität: Man weiß nur, dass ein Zug gerade in einem Blockabschnitt unterwegs ist, aber nicht genau wo. Will man die Kapazität von Bahnstrecken erhöhen, muss man die Blockabschnitte verkleinern. Dazu muss man exakt wissen, wo sich ein Zug im jeweiligen Abschnitt befindet. Dafür ist eine andere und bessere Technologie für die Ortung und Kommunikation notwendig – wie ETCS.

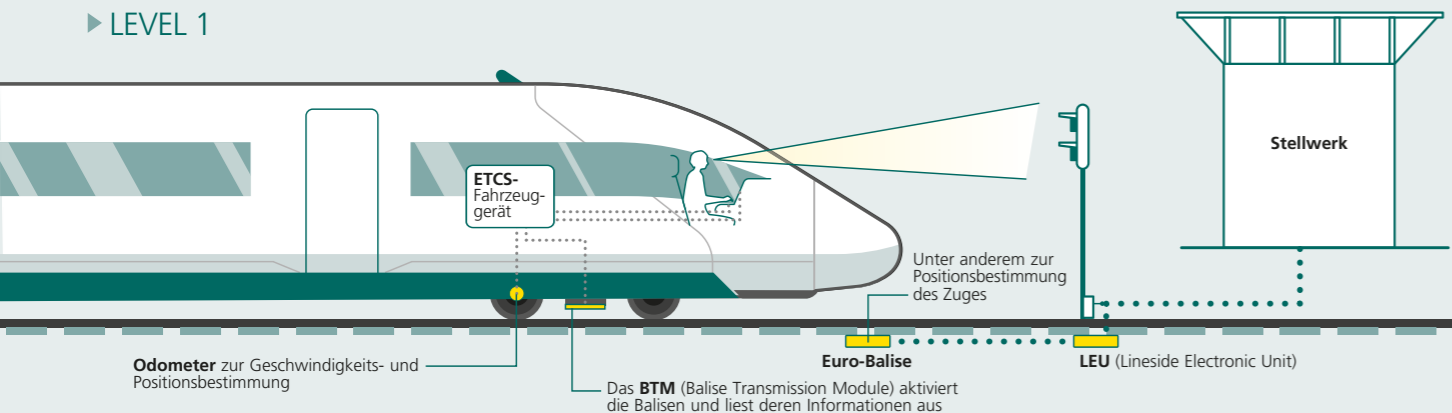


Der Münchener Hauptbahnhof ist mit 34 Gleisen der größte Bahnhof Europas, nur die Grand Central Station in New York mit 67 und der Shanghai Bahnhof Hongqiao mit 41 Gleisen sind noch größer.

## DIE ETCS-LEVEL

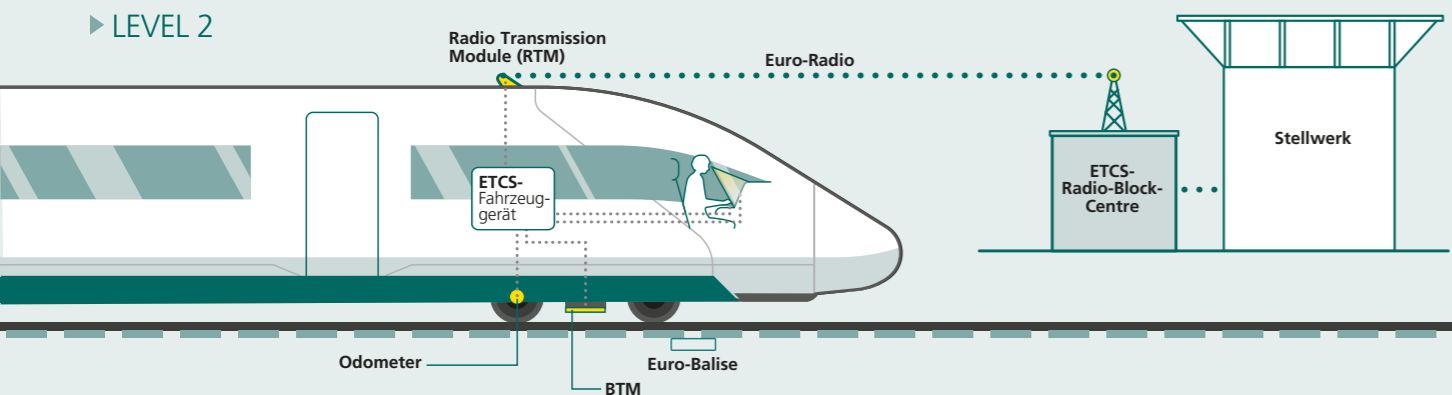
Beim Europäischen Zugbeeinflussungssystem ETCS (European Train Control System) gibt es unterschiedliche Funktionsstufen, die als Level bezeichnet werden. Sie beschreiben, wie und mit welchen Komponenten das Zusammenspiel von Zugfahrt und Fahrerlaubnis gesteuert und kontrolliert wird. Neben Level 1 und Level 2 gibt es auch die Erweiterung „Moving Block“, bei dem die Abstände der Züge zueinander automatisch erkannt werden. So können sie in kürzeren Abständen hintereinander fahren und die Kapazität der Strecke erhöhen.

### ▶ LEVEL 1



Bei **Level 1** kommen noch klassische Signale entlang der Strecke zum Einsatz, welche die Triebfahrzeugführenden beobachten müssen. Das Stellwerk sendet die Information, ob ein Zug in den nächsten Streckenabschnitt einfahren darf, an die Signale, die wie eine Ampel auf Rot oder Grün schalten. Diese Information wird über die LEU (Lineside Electronic Unit) digital codiert und an eine Balise übertragen. Der Balisenleser des Zuges erhält diese Information, wenn der Zug die Balise überquert, und gibt sie an das ETCS-Fahrzeuggerät sowie das Display im Führerstand weiter. Dieses kann den Fahrzeugführenden warnen, wenn nicht rechtzeitig gebremst wird.

### ▶ LEVEL 2



Bei **Level 2** kann auf herkömmliche Streckensignale verzichtet werden. Die Streckensignale existieren nur noch virtuell und werden auf Monitoren im Führerstand im Voraus angezeigt. Dafür sendet das Stellwerk die Information, ob ein Zug in den nächsten Block einfahren darf, an das ETCS-Radio-Block-Centre. Dieses übersetzt die Information in ein Funktelegramm und sendet es an den Zug, der es über sein Radio-Transmission-Module (RTM) empfängt. Falls der Zug nicht weiterfahren darf, berechnet das ETCS-Gerät an Bord, wie früh der Lokführende bremsen muss, um rechtzeitig zum Stehen zu kommen. Die Informationen erhält das Gerät aus dem Odometer im Zugrad. Notfalls kann das ETCS-Gerät auch selbst eine Bremsung einleiten. In Zukunft wird es sogar automatisch fahren können.

■ Aktive Komponenten

Letztere ermöglicht eine sichere Kontrolle: Fährt ein Zug zu schnell oder ohne Genehmigung auf einem Abschnitt, wird er automatisch vom System gebremst oder gestoppt. Bis heute kommen dazu in Deutschland und Europa eine Vielzahl an Systemen unterschiedlicher Hersteller zum Einsatz. Ihre Interoperabilität, also das reibungslose Zusammenspiel aller Komponenten im Zug und der Infrastruktur, muss deshalb vorher intensiv geprüft und zertifiziert werden.

ETCS soll für ein einheitliches, hohes Sicherheitsniveau sorgen und mehr Kapazität auf der Schiene ermöglichen. Notwendig sind dafür eine wesentlich genauere Ortung und mehr Kommunikation zwischen Schienenfahrzeugen, Infrastruktur und Fahrdienstleitung. ETCS dient zudem als Grundlage dafür, um hochautomatisiertes Fahren zu ermöglichen. In Deutschland und vielen anderen europäischen Ländern sind bereits einige Strecken und Fahrzeuge mit ETCS in Betrieb. Die Schienennetze der Schweiz und Luxemburgs sind nahezu vollständig damit ausgerüstet.

Allerdings haben mehr Kapazität und Flexibilität im Bahnverkehr mit ETCS ihren Preis: „Allein das deutsche Schienennetz umfasst nahezu 40.000 Kilometer. Täglich sind auf ihm mehr als 50.000 Personen- und Güterzüge unterwegs – mit steigender Tendenz. Auch wenn man nicht alle Strecken und Züge mit dem höchsten ETCS-Level ausrüsten kann und muss, ist das eine Mammutaufgabe für alle Beteiligten“, fasst DLR-Experte Michael Meyer zu Hörste zusammen. „Auf Basis unserer wissenschaftlichen Arbeit und der langjährigen Erfahrung des DLR in der Bahnforschung können wir Akteure aus Industrie, Politik und Gesellschaft beraten und Handlungsoptionen aufzeigen.“

#### DLR-Testlabor RailSiTe: digitale Systeme auch digital testen

Das Bahnsystem ist sehr komplex und hat umfassende Sicherheitsanforderungen. Kompliziert sind folglich auch die Prozesse für die Zulassung neuer Komponenten und Systeme. Gleichzeitig sind Tests unter realen Bedingungen auf der Schiene extrem aufwendig und aus Betriebs- wie



Euro-Balisen im Gleis

Kostengründen nur sehr begrenzt möglich. Das DLR erforscht und testet deshalb im Bahnlabor RailSiTe seit mehr als zehn Jahren Konzepte und Verfahren, die dazu dienen sollen, neue Leit- und Sicherungssysteme schneller in Betrieb nehmen zu können. „Dafür bilden wir das Bahnsystem digital und im Detail nach. Dazu gehören die Zugfahrzeuge selbst, die Leit- und Sicherungstechnik auf den Strecken und in den Stellwerken, die Streckeninfrastruktur und die Schnittstellen für die Kommunikation zwischen Zug und Strecke“, erläutert Lennart Asbach, Abteilungsleiter Verifikation und Validierung am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik.

Eine Komponente, die das Team um Lennart Asbach bereits umfassend getestet hat, ist die sogenannte ETCS-Onboard-Unit. Sie überwacht den Zug und tauscht ständig Daten mit der Strecke aus. Dafür sind im Netz der Deutschen Bahn mehr als 13.000 ETCS-Balisen im Gleisbett verbaut. Diese kleinen gelben Kästen senden Informationen zur Ortung des Zuges. Teilweise übertragen sie auch die Erlaubnis, den nächsten Streckenabschnitt zu befahren. Balisen müssen stets zuverlässig mit den Zügen unterschiedlicher Hersteller funktionieren. So dürfen zum Beispiel keine Signale von einer Balise im benachbarten Gleis empfangen werden. Neben den ETCS-Computern an Bord von Zügen können die DLR-Forschenden auch die Balisen selbst testen.

Ein weiterer Schwerpunkt sind Methodik und Automatisierung solcher Tests: „Unser Ziel ist es, digitale Systeme wie ETCS auch komplett digital zu prüfen und zu zertifizieren. Die Automatisierung dieser Tests kann sie schneller, qualitativ hochwertiger und reproduzierbarer machen“, sagt DLR-Wissenschaftler Asbach. Beispielsweise konnte bereits die Zeit zum Testen von Fahrzeugrechnern halbiert werden.

#### Stellschrauben für mehr Kapazität finden

Auf nationaler wie europäischer Ebene ist das Umrüsten von Zügen und Infrastruktur auf ETCS ein langfristiges Projekt. Das DLR unterstützt dabei mit Betriebssimulationen des Schienenverkehrs. „Auch wenn das Bahnsystem sehr komplex ist, lässt es sich mathematisch inzwischen gut beschreiben und am Computer simulieren“, erklärt Dr. Christian Meirich. Er leitet die Gruppe Bahnbetrieb am Institut für Verkehrssystemtechnik. Für diese Simulationen greifen die DLR-Forschenden ebenfalls auf das RailSiTe-Labor zurück: Dort bilden sie bestehende wie zukünftige Bahnsysteme, zum Beispiel für den automatischen Zugbetrieb, ab und verändern dann gezielt einzelne Parameter. Dazu zählen technische Größen wie Übertragungs- und Stellzeiten, betriebliche Aspekte wie die Zugfolge, Verspätungen und Vorgaben zur Pünktlichkeit bis hin zu unterschiedlichen Wetterbedingungen. „Wir entwickeln Szenarien, die zeigen, was unter gegebenen Bedingungen maximal möglich ist. So kön-

Oliver Röwer, Laborleiter RailSiTe, stellt einem simulierten Zug das Signal auf Grün.

## PILOTPROJEKT: DIGITALER KNOTEN STUTTGART

Große Eisenbahnknoten enthalten eine fast unüberschaubare Anzahl von Komponenten, die alle miteinander in Verbindung stehen. Um zu funktionieren, muss jedes kleinste Teil davon an der richtigen Stelle sein und arbeiten wie geplant. Die Digitalisierung solcher Bahnknoten ist äußerst komplex, vor allem im laufenden Betrieb. Der Digitale Knoten Stuttgart (DKS) ist ein wichtiger Bestandteil des Projekts Stuttgart 21 zum Umbau des Hauptbahnhofs und zum Neubau der Strecke nach Ulm. Die Deutsche Bahn rüstet dafür erstmals einen großen Eisenbahnknoten mit digitaler Leit- und Sicherungstechnik aus. Dafür werden schrittweise rund 500 Netzkilometer im Großraum Stuttgart inklusive der S-Bahn mit ETCS, digitalen Stellwerken und weiterer Technik ausgestattet. Neben der Infrastruktur müssen auch alle Züge, die den DKS fahren sollen, umgebaut werden – rund 600 an der Zahl. Vor allem auf der hochbelasteten Stammstrecke der S-Bahn in Stuttgart sollen diese Maßnahmen eine kürzere Zugfolge ermöglichen.

nen wir Aussagen dazu treffen, wie wir die Kapazität des Systems weiter verbessern können“, beschreibt Christian Meirich weiter. Eine solche Komplexität könnte man nie mittels Testfahrten in der Praxis nachstellen. Im Bahnbetrieb machen letztendlich Minuten und sogar Sekunden einen Unterschied: Benötigt ein Zug im Bahnhof drei Minuten, macht das pro Stunde insgesamt 20 Züge. Nur eine Minute mehr lässt die Kapazität auf 15 Züge pro Stunde schrumpfen. Auf manchen Strecken macht das den Unterschied, ob nur jede Stunde oder jede halbe Stunde ein Zug fahren kann.

Lennart Asbach und Christian Meirich sind sich sicher, dass die simulationsbasierten Lösungen des DLR genauso gut sind wie die Realität. „Wir testen jetzt schon virtuell, ob ein Zug in Zukunft durch ganz Deutschland und Europa fahren kann. Hersteller und Betreiber können wir so gezielt dabei unterstützen, die Herausforderungen des Bahnsystems von morgen zu meistern“, fasst DLR-Forscher Asbach zusammen.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR und berichtet vorwiegend über die Forschungsbereiche Energie und Verkehr. Mit der Modelleisenbahn ihres Vaters wurde sie schon früh aufs richtige Gleis gesetzt.



# GESTERN SCHON AN ÜBERMORGEN GEDACHT

Die Rolle des DLR Projektträgers in Forschung, Wirtschaft und Gesellschaft

von Lovis Krüger

**Die Freiheit der Wissenschaft ist per Gesetz verankert. Politik, öffentliche Zuwendungsgeber oder Stiftungen können bei der Förderung von Wissenschaft Ziele vorgeben – ihre Ergebnisse können sie aber nicht beeinflussen. Sie dürfen allerdings verlangen, dass Projekte, die sie finanzieren, Wirkung entfalten und dadurch die Zukunft verbessern. Der DLR Projektträger hilft ihnen dabei – nach dem Motto „Gestern schon an übermorgen gedacht“.**

Projektträger werden von Bundes- und Landesministerien, der Europäischen Kommission oder anderen Institutionen dazu eingesetzt, Förderstrategien zu entwickeln, Förderprogramme zu managen und den Transfer der Ergebnisse in Wirtschaft und Gesellschaft zu unterstützen. 2025 feiert der DLR Projektträger seinen 50. Geburtstag. Zwei aktuelle Beispiele zeigen, wie der DLR Projektträger seine Aufgaben angeht.

**Lovis Krüger** setzt auf die transformative Kraft der Wissenschaft. Er arbeitet in der Unternehmenskommunikation des DLR Projektträgers.

## TECHNOLOGISCHE SOUVERÄNITÄT SICHERN

In Zeiten zunehmender geopolitischer Spannungen ist es wichtig, dass Deutschland den Zugang zu Schlüsseltechnologien behält, also zu Technologien mit einer besonderen Bedeutung für zukünftige Entwicklungen wie künstliche Intelligenz (KI), Mikroelektronik und Quantentechnologien. Das bedeutet nicht unbedingt, dass jede Technologie in Deutschland oder Europa entwickelt und alle Komponenten lokal produziert werden sollen. Aber einseitige Abhängigkeiten von anderen Ländern müssen vermieden werden. Damit Deutschland den Anschluss als Hochtechnologieland behält, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter anderem den Rat für technologische Souveränität gegründet. Der Rat aus zehn Expertinnen und Experten berät das BMBF strategisch zu Schlüsseltechnologien und der Identifikation zukunftsfähiger Technologiefelder im Kontext der technologischen Souveränität. Der DLR Projektträger unterstützt den Rat mit seiner Expertise inhaltlich und organisatorisch.

Den aktuellen Fokus erklärt Dr. Mohsine Chefki, Abteilungsleiter Strategien für Schlüsseltechnologien beim DLR Projektträger:

### Warum ist es wichtig, dass wir technologisch souverän sind?

Technologien bilden zunehmend die Basis unterschiedlichster Gesellschafts-, Wirtschafts- und Lebensbereiche. Wir brauchen Zugriff auf moderne Technologien, möglichst unabhängig vom Ausland, damit wir unsere gesellschaftlichen Bedarfe langfristig erfüllen können. Diese reichen von grundlegenden Bedürfnissen wie medizinischer oder energetischer Versorgung über Mobilität und Infrastruktur bis hin zur digitalen Vernetzung.



### Was sind die Herausforderungen beim Identifizieren von Technologien, die strategisch wichtig für unsere Zukunft sind?

■ Einerseits müssen bestimmte Technologietrends erkannt und eingeordnet werden. Gerade gibt es beispielsweise große Fortschritte bei KI. Mit sogenannten Foresight-Analysen wird versucht, die Bedarfe und Lösungen der Zukunft auf Basis heutiger und vergangener Entwicklungen einzuschätzen. Andererseits muss auch das Zusammenspiel der Technologien untereinander analysiert werden. Robotik etwa ist von vielen Schlüsseltechnologien abhängig und treibt diese gleichzeitig voran. Beispielsweise hat der Rat für technologische Souveränität in einem Positionspapier gezeigt, wie in diesem Anwendungsfeld Mikroelektronik, KI, Kommunikationstechnologien und viele andere Technologien zum Tragen kommen.



Seit 20 Jahren setzt der DLR Projektträger im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung die Wissenschaftsjahre um und bietet damit Forschenden ein Experimentierfeld für Innovationen in der Wissenschaftskommunikation. Das **Wissenschaftsjahr 2024** liefert Impulse dazu, um über den Begriff, den Wert und die Bedeutung von Freiheit ins Gespräch zu kommen. Denn 75 Jahre Grundgesetz und 35 Jahre Mauerfall zeigen: Freiheit ist auch bei uns nicht selbstverständlich. Mehr Informationen zum Wissenschaftsjahr unter:



Ilija C. Hendl/Wissenschaft im Dialog

Die Bleiletern sind ein Symbol für die Erfindung des Buchdrucks durch Johannes Gutenberg. Sie sind ein Ausstellungsstück auf der schwimmenden Ausstellung der MS Wissenschaft und stehen für Freiheit durch die Verbreitung von Wissen. Die Ausstellung ist Teil des Wissenschaftsjahres 2024 – Freiheit.

## FORSCHUNGSNETZE FUNKTIONIEREN AUCH IM KRIEG

Der russische Angriff hat auch schwere Auswirkungen auf die Wissenschaft in der Ukraine. Dennoch arbeiten ukrainische Forschende in gemeinsamen Projekten mit deutschen Partnern weiter. Dies sei auch dank der jahrelangen vertrauensvollen Zusammenarbeit möglich, sagt Dr. Nino Chkoidze. Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) organisiert die Ukraine-Referentin des DLR Projektträgers Forschungsk Kooperationen mit der Ukraine.

„Ein großes Problem für die Wissenschaft in der Ukraine ist der Brain-Drain. In verschiedenen Projekten arbeiten wir dagegen an, dass noch mehr Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das Land verlassen“, sagt Nino Chkoidze. So kooperieren deutsche und ukrainische Forschende, um vier Exzellenzkerne in der Ukraine zu etablieren. In Lwiw, Kyjiw und Charkiw sollen neue Wissenschaftsstandorte entstehen. Dort wird dann zum Beispiel über europäische Geschichte des 20. Jahrhunderts oder zu neuen Quantenmaterialien geforscht. Solche Exzellenzkerne sind ein Ansatz für den Wiederaufbau.

Im Rahmen seines BMBF-Auftrags „Internationales Büro“ unterstützt der DLR Projektträger die Forschungszusammenarbeit deutscher Einrichtungen und Unternehmen mit der Ukraine ebenso wie die mit vielen weiteren Ländern in allen Weltregionen. Seit 1996 ist der Auftrag im DLR Projektträger angesiedelt. Als „Internationales Büro“



berät der DLR Projektträger das Ministerium hinsichtlich der Ausgestaltung der zwischenstaatlichen Zusammenarbeit, entwickelt neue Förderkonzepte, setzt diese um und organisiert verschiedene Vernetzungs- und Austauschformate. Über die Jahre hat der DLR Projektträger so Kontakte in alle Weltregionen geknüpft. „Die etablierten Forschungsnetzwerke bilden die Basis für die Zusammenarbeit“, sagt Nino Chkoidze. „In Kriegszeiten wie beim Wiederaufbau.“

# START-UP-POWER FÜR DIE WÄRMEWENDE

Die DLR-Ausgründung heatbrAln unterstützt Kommunen, Planungsbüros und Netzbetreiber mit genauen Daten

von Denise Nüssle



Luis Blanco, Philip Groesdonk und Larissa Singer (von links) von heatbrAln haben sich zum Ziel gesetzt, mit präzisen Daten die Wärmewende zu beschleunigen.

**Philip Groesdonk, Luis Blanco und Larissa Singer haben eine Mission: Mit ihrem Start-up heatbrAln wollen sie den Umstieg auf erneuerbare Wärme voranbringen. Dazu erstellt das Trio mithilfe künstlicher Intelligenz sehr präzise Datensätze – eine in dieser Form bisher einzigartige Dienstleistung. Auf Basis dieser Daten lassen sich kommunale Wärmepläne besser aufsetzen und Wärmenetze schneller realisieren.**

Ob Heizen, Warmwasser oder Industrieprozesse – mehr als die Hälfte der in Deutschland verbrauchten Energie wird eingesetzt, um Wärme zu erzeugen. Der Wärmesektor trägt so zu fast 40 Prozent des nationalen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei. Denn Wärme wird immer noch zum Großteil mittels fossiler Brennstoffe wie Gas und Öl produziert. Wenn Deutschland bis zum Jahr 2045 klimaneutral werden möchte, steht auch der Wärmesektor vor einem grundlegenden Wandel. Der Begriff Wärmewende beschreibt den Prozess, die Wärmeversorgung auf erneuerbare Ressourcen umzustellen, zukunftssicher, verlässlich und bezahlbar zu machen. Gleichzeitig wird Deutschland so weniger abhängig von immer teureren Energieimporten.

## Mit präzisen Daten und KI-Unterstützung zum Erfolg

„Damit die Wärmewende gelingt, benötigen Kommunen, Planungsbüros und Betreiber von Wärmenetzen umfangreiche und präzise Daten. Oder einfach gesagt: Sie müssen wissen, wer wann und wo wie viel Wärme braucht. Genau hier setzen wir mit heatbrAln an“, beschreibt das Dreierteam seine Geschäftsidee. Philip Groesdonk und Luis Blanco haben sich am DLR-Institut für Solarforschung in Jülich kennengelernt. Dort arbeiten beide an ihrer Promotion. Larissa Singer stieß als drittes Teammitglied im November 2023 dazu. Frisch von der Universität und mit einem Masterabschluss in Betriebswirtschaftslehre kümmert sie sich

in dem jungen Unternehmen vor allem um die Bereiche Administration, Marketing, Finanzen und Vertrieb. Mit Unterstützung des Institutsleiters Prof. Bernhard Hoffschmidt – der selbst schon einige Firmen gegründet und so Forschung in die Anwendung gebracht hat – sowie ihres Gruppenleiters Jacob Estevam Schmiedt haben die drei im Frühjahr 2024 die DLR-Ausgründung heatbrAln ins Leben gerufen. Der Name setzt sich aus den englischen Begriffen für Wärme (heat) und Gehirn (brain) zusammen. Die beiden Großbuchstaben AI stehen im Englischen für den Begriff Artificial Intelligence, auf Deutsch künstliche Intelligenz. Sie spielt beim Sammeln und Auswerten der Daten eine zentrale Rolle.

## Kommunale Wärmeplanung als deutschlandweite Herausforderung

Anfang 2024 ist das „Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze“ in Kraft getreten. Es hat die rechtliche Grundlage für eine flächendeckende Wärmeplanung in ganz Deutschland geschaffen. Die Aufgabe, eine solche Planung durchzuführen, liegt in den meisten Bundesländern bei den Kommunen. Sie sollen festlegen, welche Gebiete auf welche Weise mit Wärme versorgt werden und wie dabei erneuerbare Energieformen sowie vorhandene Abwärme genutzt werden können. Einige Kommunen, meist größere Städte, verfügen bereits über eine Wärmeplanung, viele andere haben entsprechende Vorhaben gestartet.

Für die kommunale Wärmeplanung reichen oft jährliche Daten. Im Vordergrund steht die Frage, wie sich die Wärmeversorgung überhaupt umstellen lässt. „Geht es konkret um den Aufbau oder Ausbau von Wärmenetzen, sind wesentlich genauere Daten notwendig“, erklärt Philip Groesdonk. „Man muss sich den Bedarf übers Jahr viel besser anschauen, vor allem den Unterschied zwischen dem Sommer und der Heizsaison. Außerdem benötigt man Informationen darüber, welche Abnehmer es vor Ort gibt und welchen Wärmebedarf sie haben.“

Zum Beispiel unterscheiden sich die Anforderungen zwischen Wohn-, Gewerbe- und Industriegebieten. Auch das Alter von Gebäuden und ihr energetischer Zustand sind wichtig.“ Bisher war es sehr aufwendig, alle diese Daten aus unterschiedlichen Quellen zu recherchieren und aufzuarbeiten.

*„Unsere Zielgruppe sind vor allem Kommunen, Planungsbüros und Betreiber von Wärmenetzen wie Stadtwerke. Kunden müssen uns lediglich das Gebiet angeben, für das sie Daten benötigen. Dann können wir in der Regel innerhalb von wenigen Tagen die entsprechenden Datensätze liefern.“*

Larissa Singer  
DLR-Institut für Solarforschung

## Schnell und automatisiert zu wissenschaftlich fundierten Datensätzen

Für Groesdonk und Blanco war diese Herausforderung der Einstieg in die Unternehmensgründung: Im Rahmen ihrer Forschungen und Doktorarbeiten beim DLR im Bereich Energietechnik haben sie gemeinsam eine spezielle Software entwickelt: Sie führt automatisiert alle vorhandenen offenen Datenquellen zusammen, zum Beispiel dreidimensionale Gebäudemodelle der Landesvermessungsämter. Eine ebenfalls selbst programmierte und trainierte künstliche Intelligenz ergänzt fehlende Daten. Auf diese Weise kann heatbrAln den Wärme-

bedarf für ein bestimmtes Gebiet bis hin zu stündlichen Angaben genau berechnen. In die Software – das Kernstück der DLR-Ausgründung – sind viel Wissen, Zeit und Mühe geflossen. Die beiden DLR-Forscher optimieren sie weiter, aktuell mit Erfahrungen aus Pilotprojekten.

„Unsere Software deckt den gesamten Prozess – vom Zusammenstellen der Daten bis zur Ausgabe der Ergebnisse – selbstständig ab. Die KI ist dabei zum Beispiel für das Ermitteln des Baualters zuständig. Angaben dazu liegen nur gerastert vor, also für mehrere Gebäude zusammengefasst. Unsere KI löst diese Zusammenfassung wieder auf. So können wir valide Annahmen zum Alter und damit zum energetischen Zustand einzelner Gebäude treffen. Ansonsten nutzt die Software hauptsächlich offizielle Geodaten und ergänzt diese bei fehlenden Informationen mit Daten des Kartendienstes OpenStreet-Map“, beschreibt Luis Blanco. „Wichtig ist dabei, dass unsere Software nicht den exakten Wärmeverbrauch, sondern den Wärmebedarf auf Basis bestimmter Annahmen berechnet.“ Die Erfahrungen aus diesen Projekten mit Testkunden haben gezeigt, dass die tatsächlichen Verbrauchsdaten mit den von heatbrAln ermittelten Bedarfsdaten schon sehr gut übereinstimmen.

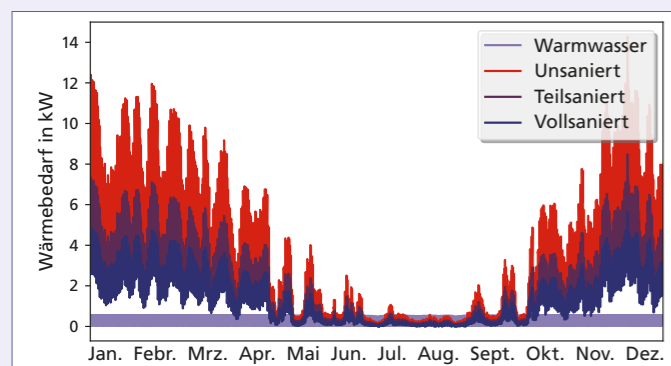
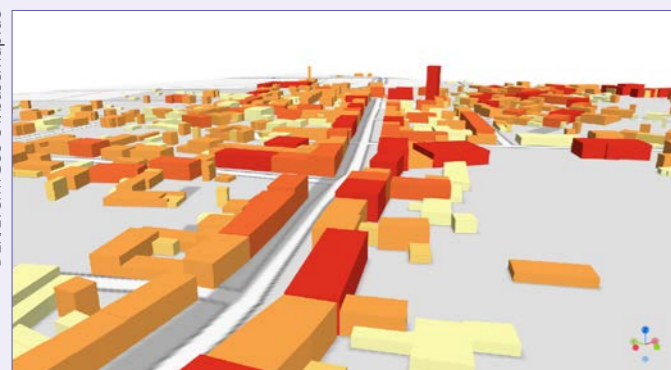
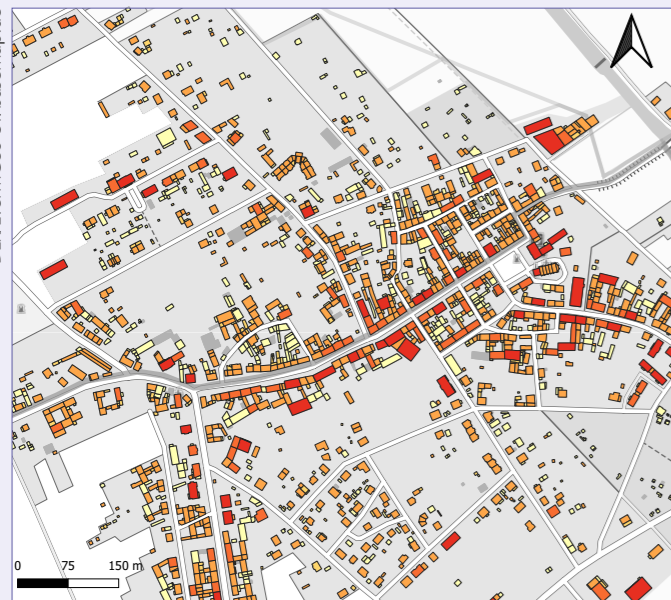
## Mehr als nur Zahlen: Einblick in Annahmen und Methoden für bessere Transparenz

„Unsere Zielgruppe sind vor allem Kommunen, Planungsbüros und Betreiber von Wärmenetzen wie Stadtwerke“, erläutert Larissa Singer. „Unsere Kunden müssen uns lediglich das Gebiet angeben, für das sie Daten benötigen. Dann können wir in der Regel innerhalb von wenigen Tagen die entsprechenden Datensätze liefern. Zusätzlich bekommen unsere Kunden auch eine Dokumentation, welche Daten in die Modellierung eingeflossen sind und auf welche Annahmen und Berechnungen sich die Ergebnisse stützen“, so Singer weiter. Auf diese Weise will das junge Unternehmen

„Oft geht es bei der Umsetzung der Wärmewende um Maßnahmen, welche die Menschen und Unternehmen vor Ort direkt betreffen. Werden Entscheidungen dazu auf Grundlage fundierter Daten getroffen, verbessert das auch ihre Akzeptanz.“

**Philip Groesdonk**  
DLR-Institut für Solarforschung

## ERGEBNISSE DER ANALYSE



Visualisierung des Wärmebedarfs einzelner Gebäude in einer Kartendarstellung. Die erste Karte zeigt die 2D-Ansicht von oben, darunter eine 3D-Ansicht. Das Diagramm zeigt den Wärmebedarf eines Gebäudes in drei Sanierungsständen: unsaniert, teilsaniert und villsaniert.

Transparenz und Verständnis fördern. „Oft geht es bei der Umsetzung der Wärmewende um Maßnahmen, welche die Menschen und Unternehmen vor Ort direkt betreffen. Werden Entscheidungen dazu auf Grundlage fundierter Daten getroffen, verbessert das auch ihre Akzeptanz“, ist sich Philip Groesdonk sicher. Das Start-up will nicht nur einen Datensatz liefern, sondern seine Kunden auch über einen längeren Zeitraum begleiten. So können auch kurzfristig und im laufenden Prozess noch weitere Daten einfließen.

### Umfangreiche Unterstützung für den erfolgreichen Start als DLR-Ausgründung

Seit März 2024 ist heatbrAln eine im Handelsregister eingetragene Gesellschaft mit beschränkter Haftung (GmbH). Im Herbst steht ein weiterer wichtiger Schritt an: Ab dann muss die Ausgründung finanziell auf eigenen Füßen stehen und sich durch erste Kundenaufträge finanzieren. Die Akquise läuft dafür auf Hochtouren. Auch der räumliche Auszug aus dem DLR in Jülich ist schon geschafft. Ein neues Zuhause hat das Team im nahegelegenen Brainergy Park Jülich gefunden. Dort kommen Unternehmen, vorwiegend aus dem Bereich der erneuerbaren Energien, zusammen.

In der Aufbauphase hat sich das Start-up vorwiegend über das Ausgründungsprogramm Helmholtz Enterprise finanziert. Dieses fördert die unternehmerische Tätigkeit und Ausgründungsaktivitäten von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, zu denen auch das DLR gehört. Zusätzlich unterstützte der DLR-Vorstandsbereich Innovation die junge Firma dabei, Marktanalysen durchzuführen, sich für ein Geschäftsmodell zu entscheiden und einen Businessplan aufzustellen. Auch die Vernetzung und der Austausch mit anderen Ausgründungen und bereits erfolgreichen Start-up-Firmen war dabei eine Hilfe. „Vor allem in der ersten Phase der Unternehmensgründung hat uns diese Unterstützung in finanzieller wie organisatorischer Hinsicht Sicherheit gegeben. Für eine Gründung sollte man trotzdem eine gewisse Risikofreudigkeit mitbringen“, blickt Larissa Singer zurück.

### Erste Erfolge als Ansporn für den weiteren Weg

Für seine bisherige Arbeit hat heatbrAln bereits eine Auszeichnung erhalten: den mit 32.000 Euro dotierten „Gründungspreis+“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Dort gehörte die DLR-Ausgründung zu den sechs Gewinnern unter mehr als 200 Teilnehmenden. Erste Erfolge wie dieser sind wichtig, weil sie das Team weiter zusammenschweißen und motivieren. „Vieles war und ist für uns komplett neu. Wir arbeiten uns in die unterschiedlichsten Bereiche ein. Das braucht Zeit und kann schon mal zu etwas stressigeren Tagen und Nächten führen“, bilanziert Philip Groesdonk. Gleichzeitig schätzen sie die große Freiheit sowie das selbstbestimmte Arbeiten und freuen sich über steile Lernkurven. „Als Berufseinsteigerin hätte ich mir vieles davon vor ein paar Monaten noch nicht zugetraut“, erinnert sich Larissa Singer, die nach dem Studium direkt bei heatbrAln einstieg. „Es ist außerdem schön zu sehen, dass wir aus der Forschung kommend etwas entwickeln und ein Unternehmen auf die Beine stellen können, das den Transfer in die Praxis vollzieht und konkrete Projekte für die Wärmewende vor Ort unterstützt“, sind sich Groesdonk, Blanco und Singer einig.

**Denise Nüssle** ist Presseredakteurin im DLR und berichtet vor allem über die Forschungsbereiche Energie und Verkehr. Kommunale Wärmeplanung hat sie in den letzten Monaten hautnah miterlebt, denn ihre Stadt baut aktuell ein Fernwärmenetz.

## PHILIP GROESDONK



**Alter:** 32

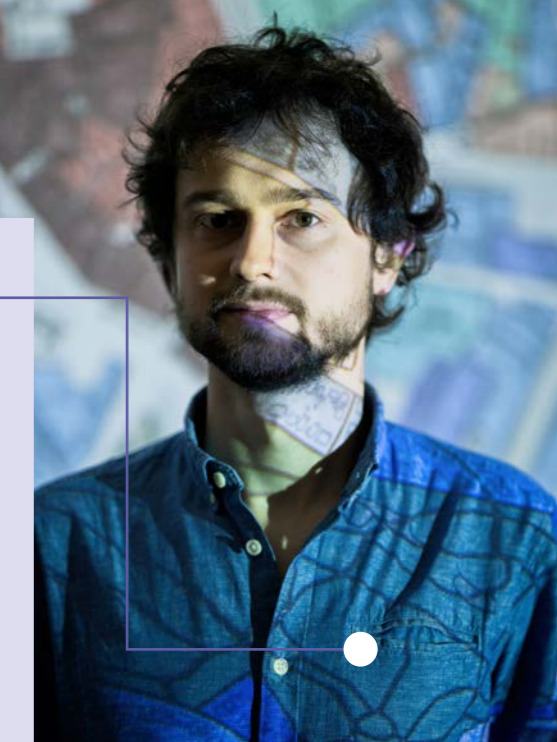
**Heimat:** Köln

**Promoviert im DLR über:** energetische Analyse von Bestandsgebäuden mit Fernerkundungsdaten

**Wollte als Kind werden:** Archäologe

**Kann laut seinen Teamkollegen besonders gut:** strukturiert Sachen angehen, eine Menge an Informationen augenblicklich aufnehmen und verarbeiten

**Denkt beim Stichwort „Wärme“ als Erstes an:** Geborgenheit



DLR



## LARISSA SINGER



**Alter:** 27

**Heimat:** Mönchengladbach

**Wollte als Kind werden:** Polizistin oder Walforscherin

**Kann laut ihren Teamkollegen besonders gut:** den Überblick behalten, auf Details achten

**Denkt beim Stichwort „Wärme“ als Erstes an:** Sommer

## LUIS ARMANDO BLANCO BOHORQUEZ



**Alter:** 29

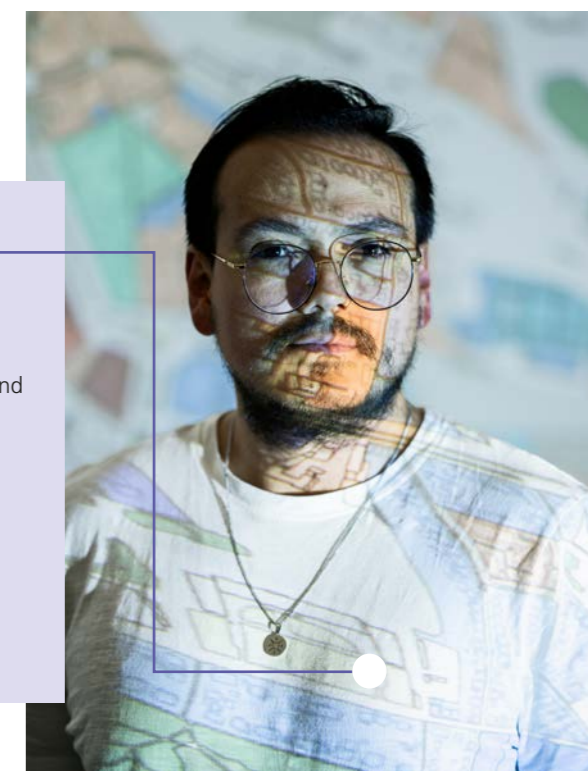
**Heimat:** Bogotá in Kolumbien, seit 2018 fürs Studium in Deutschland

**Promoviert im DLR über:** energetische Analyse von Gebäuden und Quartieren unter Verwendung verfügbarer großflächiger Daten

**Wollte als Kind werden:** Astronaut

**Kann laut seinen Teamkollegen besonders gut:** einfach mal machen, Ruhe bewahren

**Denkt beim Stichwort „Wärme“ als Erstes an:** Sommerferien



DLR



## DIE HUBSCHRAUBERIN

Im Gespräch mit einer Projektmanagerin in der Einrichtung Flugexperimente in Braunschweig

Interview mit Elizabeth Buron

**D**iese Folge des FORSCHtellinggespräch-Podcasts wurde unter außergewöhnlichen Bedingungen produziert: auf der ILA Berlin Air Show im Juni, und zwar auf dem Vorfeld, wo jede Menge Flugzeuge und Hubschrauber ausgestellt wurden. Außergewöhnlich ist auch der Lebenslauf unseres Interview-Gastes Elizabeth Buron. Sie kam als ausgebildete US-Militär-Pilotin zur Einrichtung Flugexperimente nach Braunschweig und entdeckte dort ihre Passion für Hubschrauber.

### Elizabeth, Du hast einen sehr ungewöhnlichen Lebenslauf. Wo kommst Du ursprünglich her?

■ Aufgewachsen bin ich in San Diego, ganz unten an der US-Westküste. Dort habe ich zunächst allgemeine Biologie studiert, denn erst wollte ich Ärztin werden. Während des Studiums habe ich unter anderem in einem Labor gearbeitet und mit der Zeit gemerkt: Das ist doch nichts für mich. Deshalb bin ich in den Semesterferien immer viel als Rucksacktouristin im Ausland herumgereist und habe dort gejobbt, um Inspirationen zu bekommen.

### Und dann hat Dein Leben eine entscheidende Wendung genommen: Dein Vater war Pilot bei der Navy und Du fandest das schon als Kind faszinierend ...

■ Ja, als ich Kind war haben wir oft zusammen den Film „Top Gun“ geschaut. Mein Papa wollte aber nicht, dass ich auch zur Navy gehe. „Zu gefährlich“, sagte er damals. Er wusste halt aus eigener Erfahrung, wie riskant es ist, auf einem Flugzeugträger zu landen! Irgendwie stand es aber doch in den Sternen, dass ich Pilotin werden würde ...

### Also hast Du einfach „Fakten geschaffen“!

■ Genau, ich habe eine Privatpilotenlizenz aus eigener Tasche finanziert und mich dann bei der US Navy als Pilotin beworben. Als die Nachricht kam, dass ich dort angenommen wurde, hatte ich gerade mal zwei Wochen Zeit, mich auf diesen neuen Lebensabschnitt vorzubereiten.

Elizabeth Buron absolvierte die Offizierskandidatenschule und begann dann die Flugschule in Corpus Christi, Texas.

### Was hast Du denn in der Navy-Flugschule so alles gelernt?

■ Unter anderem Formationsflug und „Aerobatics“ – Kunststücke in der Luft – in einem kleinen Flieger mit einem Turboprop-Motor, einer T-34C. Ich hatte großen Respekt vor Flugmanövern wie dem Looping. Aber es ist gut fürs Selbstbewusstsein, wenn es klappt! Hinzu kamen Standard-Ausbildungsinhalte wie Start und Landung, taktische Kriegsführung, Flugzeug-Notfallverfahren und Überlebenstraining. Schließlich durfte ich mein letztes Flugzeug, die P-3 Orion, fliegen. Als Pilotin habe ich ein Team von zehn Personen geführt, das hat mir viel Freude bereitet.



Heute ist Elizabeth Buron für die Koordination der Flugkampagnen des Forschungshubschraubers BO105 zuständig.

### Wir machen einen kleinen Sprung: Wie bist Du denn nach Deutschland gekommen?

■ Während meiner Pilotenausbildung bin ich mit einem Mann aus Deutschland zusammengekommen, ebenfalls ein Pilot. Als wir geheiratet haben, haben wir verabredet, dass wir uns zuerst zehn Jahre auf meine Karriere konzentrieren werden und danach auf seine. 2012 zogen wir nach Deutschland, wo ich bei der NATO in der AWACS-Aufklärung gearbeitet habe, nicht als Pilotin – das war wegen meiner Schwangerschaften und der zwei Kinder organisatorisch nicht möglich –, sondern am Boden in der Datenauswertung und dann in den Bereichen „Operations“ sowie „Plans and Programs“. 2016 lief mein Militärvertrag in den USA aus und wir sind nach Braunschweig umgezogen.

### Und dann gab es eine Stellenausschreibung beim DLR ...

■ Genau! In Braunschweig habe ich zum ersten Mal vom DLR gehört. Ich sah die Ausschreibung der Einrichtung Flugexperimente, eigentlich war es eine Jobmesse, und dachte: Ja, mit meiner Erfahrung könnte das passen! Ich hatte inzwischen mehrere Deutschkurse absolviert – trotzdem war das zweistündige Vorstellungsgespräch eine echte Herausforderung. Aber es hat ja geklappt!

### Erzähl mal, was machst Du denn jetzt beim DLR genau?

■ Ich bin Projektmanagerin für unsere Hubschrauber BO105 und EC 135 ACT/FHS. Ich koordiniere die Anfragen für Experimente auf den beiden Maschinen, bin also sozusagen die Schnittstelle zwischen den Forschenden, Ingenieurinnen, Piloten, dem Qualitätsmanagement und externen Beteiligten, insbesondere dem Luftfahrtbundesamt, das alle Um- und Einbauten genehmigen muss, bevor dann das Experiment-Setting getestet wird – erst am Boden, dann in der Luft.

### Klar, man kann nicht einfach in den Baumarkt gehen und sagen: „Ich hole mir jetzt diese Schrauben und baue die dann ein“ ...

■ Richtig, jede Modifikation hat Auswirkungen auf die Subsysteme – Struktur, Elektrik, Kommunikation, Navigation und so weiter. Wir müssen sicherstellen, dass alles zusammenspielt und keine Gefahr entsteht. Das ist ein komplizierter, langwieriger und kostenintensiver Prozess.



Der Podcast ist zu hören auf [dlr.de/podcast](https://www.dlr.de/podcast) und allen gängigen Streaming-Plattformen. Ab sofort ist er auch als Video auf YouTube und Spotify verfügbar.

### Pro Jahr stemmt Ihr bis zu acht Forschungsprojekte auf den Hubschraubern. Welches Projekt findest Du im Moment besonders spannend?

■ Da fällt mir spontan KoBoL ein. Hier geht es darum, wie man die Landung eines Rettungshubschraubers, zum Beispiel auf Autobahnen, beschleunigen kann. Wir haben ein System entwickelt, bei dem der Hubschrauber und automatisierte Fahrzeuge am Boden einen Landeplatz abstimmen und die Fahrzeuge diesen freihalten. Wir haben das Gesamtsystem erfolgreich getestet und entwickeln es nun weiter. Ich finde es hier besonders spannend, mit anderen Disziplinen aus der Luftfahrt und dem Bodenverkehr an gemeinsamen Lösungen zu arbeiten.

### Schauen wir in die Zukunft: Die BO105 ist gerade 50 Jahre alt geworden und soll noch lange fliegen. Was plant Ihr mit dem „Senior“?

■ Nächstes Jahr findet ein großes Upgrade statt: Die BO wird dann neue Rotorblätter bekommen, die mit Sensoren ausgestattet sind, welche uns wertvolle Daten über Luftturbulenzen liefern. Und es wird ein Nasenmast integriert. Damit können Atmosphärendaten, Fluggeschwindigkeit und weitere Daten gemessen werden. Für diese neue Konfiguration haben wir von den Instituten bereits viele Projektanfragen, wir sind sozusagen erstmal ausgebucht.

### Vielen Dank für das spannende Gespräch. Wir wünschen Dir viel Erfolg bei Deinen neuen Flugexperimenten!

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



Hier macht sich Buron bereit für ihren ersten Solo-Formationsflug mit der T-34C Turbo Mentor.



## DER EWIGE ZWEITE

Simon Marius, vor 400 Jahren verstorben, war einer der bedeutendsten Astronomen seiner Zeit

von Ulrich Köhler

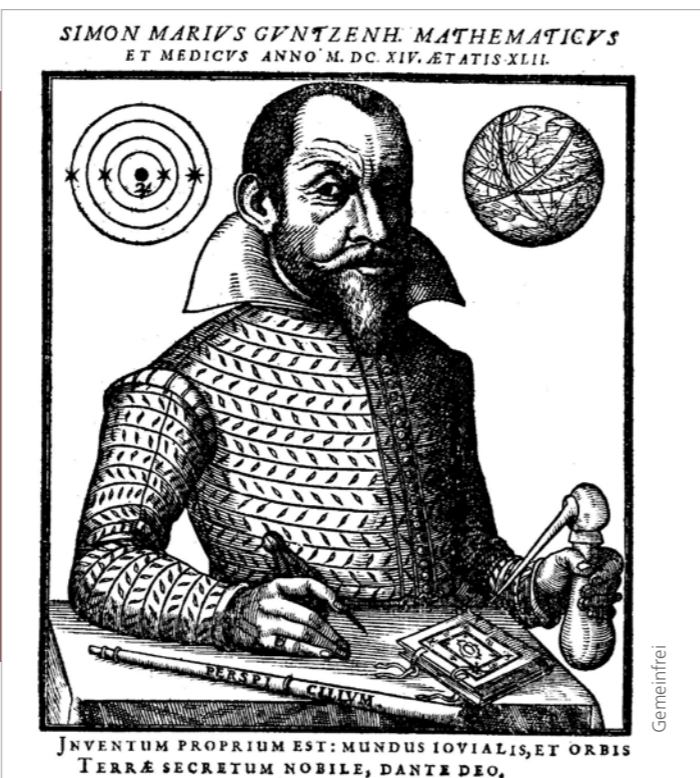
**Eine Nacht! Eine Nacht war er hintendran mit seiner epochalen Beobachtung, dass der Planet Jupiter Monde hat, die ihn umkreisen. Was bedeutet, dass es also doch Welten gibt, in denen Trabanten einen größeren Körper umkreisen. Eine enorm wichtige Erkenntnis, mit der die Behauptung des Nikolaus Kopernikus zwar noch nicht bewiesen, aber stark gestützt wurde, dass nämlich nicht die Erde, sondern die Sonne im Zentrum unserer Planetenwelt steht.**

Januar 1610. Seit gut einem halben Jahr verfügte der 1573 als Simon Mayr in Gunzenhausen an der Altmühl geborene Mathematiker, Arzt und Astronom über ein Fernrohr. Die ersten Teleskope wurden in Flandern gebaut. Für die Fürsten und Könige der Zeit waren sie ein ideales Instrument, das dazu diente, bei Feldzügen einen Vorteil zu erzielen. Aber natürlich erkannten auch die Astronomen den unvergleichlichen Wert dieses Werkzeugs. So orderten auch sie Fernrohre bei den einschlägigen Manufakturen oder ließen sich geschliffene Linsen zusetzen, aus denen sie selbst die optischen Wundergeräte zusammenbauten.



Marius' – wie sich Mayr in der lateinischen Weltsprache der Forschung nannte – Talent für Mathematik und Astronomie war offensichtlich, er wurde Hofmathematiker der Markgrafschaft Ansbach. Sein Wer-

„Mundus Iovialis“, Die Welt Jupiters. Mit diesem Werk trug Simon Marius seine Beobachtungen der um den Jupiter tanzenden vier großen Monde 1614 in die wissenschaftliche Welt. Vier Jahre nach Galileo Galilei, obwohl seine Beobachtungen nur eine Nacht nach denen des großen toskanischen Gelehrten gelangten.



Simon Marius 1614 mit gläsernem Destillationsgerät und Zirkel, als Symbole für seine Anstellung als Mathematiker, Astronom und Astrologe am Hofe, sowie dem Fernrohr, dem Perspiculum (Durchgucker). Oben Jupiter mit den von ihm beobachteten vier Monden und seine erste große astronomische Beobachtung, der Komet von 1596.

degang wurde auch stark von einem Aufenthalt südlich der Alpen geprägt, wo Marius bis 1605 in Padua Medizin studierte und Arzt wurde.

### Marius trifft Galileo Galilei

In dieser Zeit lernte er auch Galileo Galilei kennen und tauschte sich mit ihm über astronomische Themen aus. Gut ein halbes Jahrhundert zuvor, 1543, hatte Nikolaus Kopernikus sein Lebenswerk veröffentlicht, das aus mathematischer Betrachtung die Sonne und nicht, wie es seit Platon unumstößliches „Gesetz“ war, die Erde im Mittelpunkt der Planetenbahnen sah.

Brahe, Galilei, Kepler, also die großen „Himmelsmechaniker“ zu Beginn der Neuzeit, griffen neben Simon Marius und anderen die These von Kopernikus auf, waren aber aufgrund ihrer eigenen Beobachtungen und Berechnungen noch nicht vollkommen überzeugt. Es fehlten schlüssige Beweise, dass die Erde in Bewegung sei.

Abbildung aus der Harmonia Macrocosmica des Wormsers Andreas Cellarius von 1660. Links oben ist bereits Jupiter mit den „galileischen“ Monden dargestellt, wie sie die Sonne umkreisen – aber noch steht diese nicht im Zentrum des Planetensystems.



Die Astronomen zerbrachen sich den Kopf, zusätzlich saß ihnen der Klerus im Nacken, der die schleichende „Machtübernahme“ der Wissenschaft gegenüber der Theologie äußerst skeptisch betrachtete. Eine besonders grausame Demonstration der Kirchenmacht war das 1600 an Giordano Bruno in Rom auf dem Scheiterhaufen vollstreckte Todesurteil.

### Eine bahnbrechende Entdeckung

1606 ließ sich Simon Marius in Ansbach nieder. Erste Versuche, selbst ein Fernrohr zu bauen, waren nicht besonders erfolgreich. Die Glasqualität war nicht gut. Doch 1609 ermöglichte ihm sein Förderer Johannes Philipp Fuchs von Bimbach die Nutzung eines belgischen Fernrohrs. Dieses richtete er am 29. Dezember 1609 julianischen Datums – im neueren gregorianischen Kalender war es der 8. Januar 1610 – auf den Planeten Jupiter. Und er „... entdeckte vier winzige Sternchen bald hinter, bald vor dem Jupiter, in gerader Linie mit dem Jupiter“.

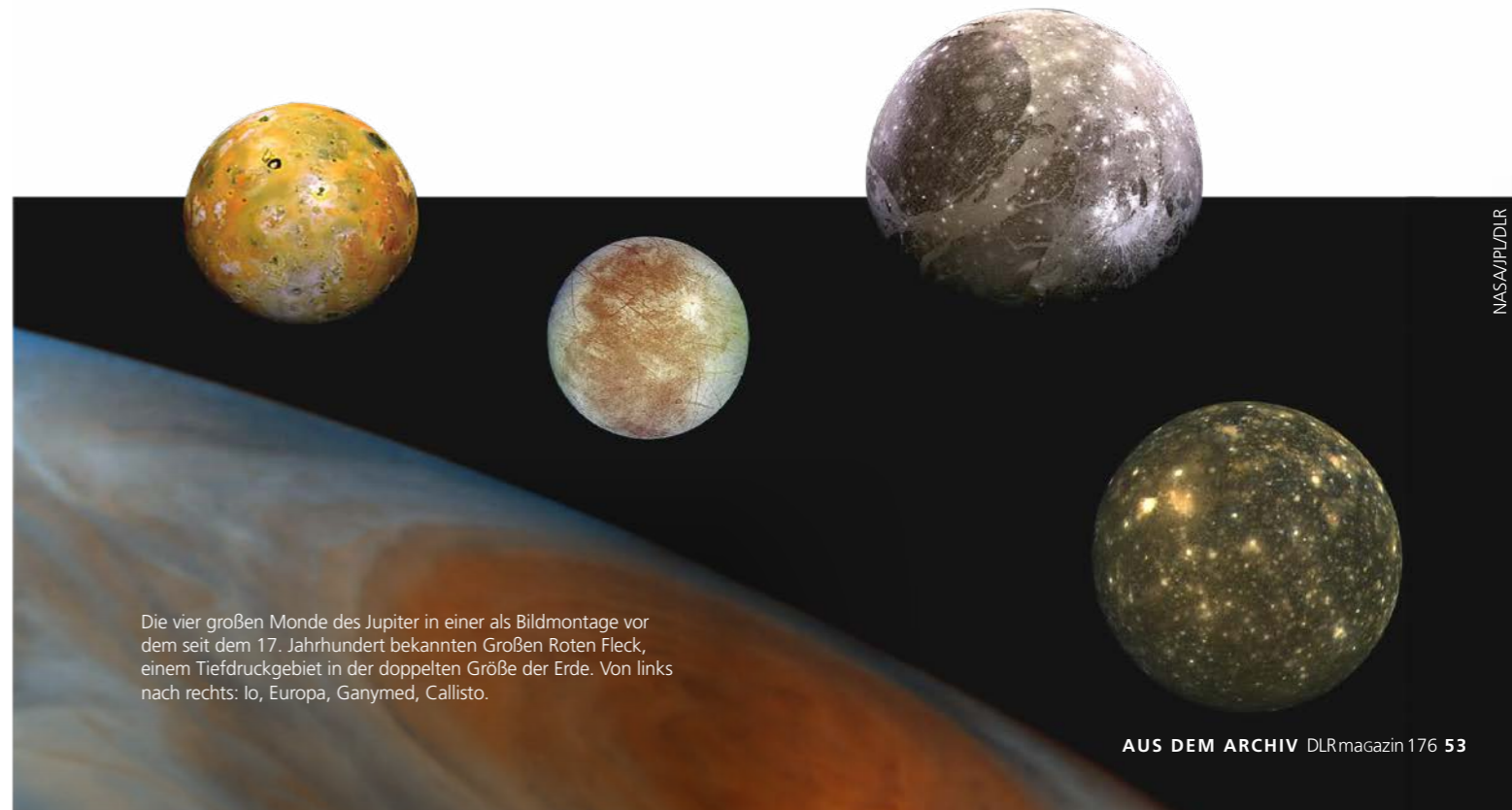
Nachts zuvor war auch in Padua ein klarer Nachthimmel. Und Galileo Galilei fixierte mit seinem auch erst kurz zuvor gebastelten Fernrohr ebenfalls den Jupiter und sah genau dasselbe wie Simon Marius. Dieser veröffentlichte seine Beobachtung und Interpretationen dazu aber erst 1614 in dem Werk Mundus Iovialis (Die Welt Jupiters). Vier Jahre zu spät – hatte doch Galilei in Venedig seinen „Sternenboten“, den berühmten Sidereus Nuncius, gleich 1610 veröffentlicht. Doppeltes Pech also für Marius, dass er nicht nur später publizierte, sondern dass er auch tatsächlich eine Nacht nach dem so berühmten Toskaner seine Beobachtungen machte. Galilei, eitel, wie er war, beschuldigte noch 13 Jahre später Simon Marius des Plagiats. Gerüchteweise soll er ihn sogar der Inquisition „anempfohlen“ haben. In Astronomenkreisen vollständig rehabilitiert wurde Marius erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts.

### Viele wichtige Entdeckungen ... immer zu spät

Simon Marius war freilich in Mitteleuropa ein höchst respektierter und angesehener Astronom. Ihm gelangen zahlreiche weitere bedeutende Beobachtungen im Nachthimmel und sogar an der Sonne. Doch bei allen weiteren Entdeckungen stellte sich im Nachhinein heraus, dass schon ein anderer vor ihm, bewusst oder unbewusst, diese gemacht hatte. Seien es die Phasen der Venus, die er erkannte, sei es der Andromedanebel, die Nachbargalaxie der Milchstraße, und noch weitere.

Immerhin blieb ihm ein kleiner, aber feiner Erfolg: Die Marius-Beobachtungen der Jupitermonde waren präziser als die von Galilei. Und Simon Marius war es, der einen Vorschlag Keplers aufgriff, die vier großen Jupitermonde nicht als „mediceische Monde“, wie es Galilei ob seiner Sponsoren vorschwebte, oder „brandenburgische Monde“ – als Würdigung der Brandenburg-Ansbacher Fürsten – zu bezeichnen, sondern ihnen die Namen zu geben, die sie noch heute tragen: Io, Europa, Ganymed und Callisto. Äußerst illustre Gesellen aus der griechischen Mythologie. Aber das ist eine andere Geschichte.

Ulrich Köhler ist Geologe am DLR-Institut für Planetenforschung und interessiert sich auch für die Geschichte der Erforschung des Sonnensystems.



Die vier großen Monde des Jupiter in einer als Bildmontage vor dem seit dem 17. Jahrhundert bekannten Großen Roten Fleck, einem Tiefdruckgebiet in der doppelten Größe der Erde. Von links nach rechts: Io, Europa, Ganymed, Callisto.

# DIE RUHESTÄTTE DER HEILIGEN

Die Flugwerft Schleißheim des Deutschen Museums  
von Melanie Dorweiler



Die neue Ausstellungshalle der Flugwerft Schleißheim bei Nacht. Unter ihrem Dach sind Dutzende von Fluggeräten aus verschiedenen Epochen der Luftfahrtgeschichte versammelt.

**E**in Erlebnis der besonderen Art ist der Besuch der Flugwerft in Schleißheim – Alterssitz für insgesamt 74 Fluggeräte. Darunter auch die DG 300-17, ein Forschungsflugzeug des DLR. Aufgrund ihrer Referenzfunktion galt sie als „unberührbar“. Eine Reise in die Welt einer Heiligen.

Eigentlich gebührt diesem Ort Stille. Das ist zumindest der erste Eindruck, wenn man die Ausstellungshalle betritt. Stattdessen herrscht hier auch an einem verregneten Mittwoch reger Betrieb. Besucherinnen und Besucher bewegen sich zwischen den Exponaten hindurch, mal einzeln, mal in Gruppen. Man muss seine Schritte mit Bedacht setzen, sonst kitzelt der gummierte Fußboden schnell ein Quietschen aus den Schuhsohlen. Auch kleine Geräusche hallen hier weit, werden zurückgeworfen von Flugzeugrümpfen und Rotorblättern, verfangen sich im stählernen Gerippe der Galerie, die den oberen Rang der Halle säumt. Im Schatten der Segelflieger, die von der Decke hängen, geht es vorbei an gläsernen Vitrinen mit Anschauungsmaterial und Triebwerkteilen, die allein durch ihre schiere Größe beeindruckend, hindurch

zwischen Inseln von Exponaten, die unterschiedliche Aspekte der Luftfahrtgeschichte repräsentieren, und da, fast ein wenig unverhofft gleich neben den Senkrechtstartern, ist sie: die Heilige.

## Betriebsbedingte Unberührbarkeit

Makellos weiß und glänzend liegt sie da. Auch ihr wäre Stille angemessen: Kein Motorstottern, kein Turbinenlärm hat je ihren Flug gestört. DG 300-17, so lautet die korrekte Bezeichnung des Hochleistungssegelflugzeugs, dessen kapselförmiges Cockpit und dessen schlanker, sich zum Heck hin verjüngender Rumpf an eine Libelle erinnern. Zwischen den aviatischen Giganten, die sie umgeben, wirkt die Heilige, die von der Nase bis zum Heck nur knapp sieben Meter misst, ungeheuer zierlich, beinahe zerbrechlich. Doch man täte ihr Unrecht, sie zu unterschätzen. Dreißig Jahre lang war sie Teil der Forschungsflotte des DLR. In unzähligen Einsätzen hat sie als Referenzflugzeug zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit anderer Segelflieger gedient. Aus diesem langjährigen Dienst ergab sich auch ihr Spitzname: Um als optimale Vergleichsgröße herangezogen werden zu können, musste

ihr Zustand über Jahrzehnte hinweg unverändert erhalten bleiben. Und so wurde die DG 300-17 aufgrund ihrer betriebsbedingten Unberührbarkeit „heiligesprochen“.

Dass der Ruhestand sie nun hierher geführt hat, in die neue Ausstellungshalle der Flugwerft Schleißheim, ist kein Zufall. Nur wenige Meter entfernt steht VFW 614/ATTAS (Advanced Technologies Testing Aircraft System), ein weiteres ausgemustertes DLR-Forschungsflugzeug, das anhand einer aufwendigen Flugversuchsausrüstung das Flug- und Landeverhalten anderer Flieger simuliert hat. Ebenfalls im Bestand des Museums befindet sich die LFU 205, die 50 Jahre lang beim DLR als Experimentalflugzeug für Aerodynamik und Bauweisen im Einsatz war.

## 74 Fluggeräte in der Flugwerft Schleißheim

Die DG 300-17 ist also nur der jüngste Neuzugang unter den insgesamt 74 Fluggeräten, die in der Flugwerft Schleißheim neben Dutzenden von Zubehörteilen, Triebwerken und Modellen auf 8.000 Quadratmetern ausgestellt sind. Dabei ist die Flugwerft nicht nur Schauplatz, sondern auch selbst Bestandteil deutscher Luftfahrtgeschichte: 1912 zum Standort der neu gegründeten Königlich-Bayerischen Fliegertruppe erkoren, wird der Flugplatz nachfolgend sowohl militärisch als auch zivil genutzt. 1981 wird der militärische Flugbetrieb vorerst vollständig eingestellt, die bestehenden historischen Bauten



Durch die Präsentation der Ausstellungsstücke entsteht ein ganz besonderes Raumgefühl.



Dreißig Jahre lang hat die DG 300-17 beim DLR als Referenzflugzeug die Leistungsfähigkeit anderer Segelflieger vermessen.



Das ehemalige DLR-Flugzeug ATTAS gehört zu den größten Ausstellungsstücken in der neuen Halle.

drohen zu verfallen. Bemühungen um die Restauration der Anlage zwecks musealer Nutzung gipfeln 1992 in der Eröffnung der Flugwerft Schleißheim als erste Außenstelle des Deutschen Museums. Neben der bereits erwähnten neuen Ausstellungshalle erstreckt sich die museale Fläche über zwei weitere, historische Gebäudeteile: die 1912 errichtete Kommandantur, genutzt als Verwaltungszentrale des alten Flugplatzes Schleißheim, und die namensstiftende Werfthalle, die gegen Ende des Ersten Weltkriegs als Unterstand und Ort zur Reparatur von Flugzeugen gebaut wurde.

#### Die Maschinen ruhen, der Mensch bewegt sich

Hier beginnt auch der Rundgang durch das Museum. Flugzeuge unterschiedlicher Form und Größe, überwiegend aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, füllen die Halle von einem Ende bis zum anderen. Nurflügler und Propellermaschinen hängen von der gewölbten, teilverglasteten Decke, die dem ansonsten eher zweckmäßigen Bau eine gewisse Luftigkeit verleiht. Es ist ein faszinierendes Gefühl, sich zwischen den Exponaten zu bewegen, um sie herum und unter ihnen hindurch. Die Maschinen ruhen; es ist der Mensch, der sich bewegt. So wird jedes der Exponate als individuelles Objekt erfahrbar, mit charakteristischen Eigenschaften und einer eigenen Geschichte, die in manchen Fällen eng mit der des Standorts Schleißheim verknüpft ist. Ein gutes Beispiel hierfür ist die Udet Flamingo, ein zweisitziger Doppeldecker, der als Schul- und Kunstflugzeug in die Luftfahrtgeschichte einging und 1925 auf dem Flugplatz Schleißheim seinen Jungfernflug erlebte. Jetzt ruht ein flugfähiger Nachbau des Flamingo in der hinteren, linken Ecke der Werfthalle.



Als Experimentalflugzeug für Aerodynamik und Bauweisen war die LFU 205 fünfzig Jahre Teil der DLR-Forschungsflotte.

#### Wechselhafte Objektgeschichten

Vorne links, gleich neben dem Eingang, wartet ein anderes Highlight: eine Fokker D VII, Baujahr 1918. Mit einer Spitzengeschwindigkeit von annähernd 200 Kilometern pro Stunde war sie eines der gefährlichsten Jagdflugzeuge des Ersten Weltkriegs. Entsprechend schnittig wirkt das Flecktarnmuster der deutschen Fliegertruppe, das Rumpf und Flügel ziert. Doch unter der Bemalung verbirgt sich eine wechselhafte Geschichte: Den Farben zum Trotz handelt es sich ursprünglich um eine Maschine der niederländischen Marineflieger, die erst 1940 von den Nationalsozialisten nach Deutschland gebracht wurde. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde sie in einem Schuppen in Bayern entdeckt und den Beständen des Deutschen Museums zugeschlagen. Da der Jagdflieger zu diesem Zeitpunkt bereits die deutsche Bemalung aufwies, ging man in Unkenntnis der Vorgeschichte von einer entsprechenden Historie der Fokker aus. Bei Restaurierungsarbeiten im Jahr 1980 fielen erstmals Ungereimtheiten bei der Bemalung auf, wurden jedoch nicht weiterverfolgt. Erst seit 2020 haben intensive Untersuchungen – in Kooperation mit niederländischen Partnern – ermöglicht, die wahre Vergangenheit des Flugzeugs weitestgehend zu rekonstruieren.

#### „Operation Lilienthal“

Von der ehemaligen Werft aus gelangt man in die Kommandantur, den ältesten Teil des Gebäudes, der die historische und die neue Ausstellungshalle miteinander verbindet. Hier geht es vor allem um die Frühgeschichte der Aviatik. Den Anfängen der Luftfahrt ist auch ein ganz besonderes Projekt der Flugwerft Schleißheim gewidmet, nämlich die Restaurierung eines originalen Lilienthal-Gleiters, von denen weltweit nur noch vier erhalten sind. Ziel der „Operation Lilienthal“ ist es, weitere Erkenntnisse über das erste in Serie gefertigte Flugzeug der Menschheitsgeschichte zu gewinnen und den Gleiter für

### DEUTSCHES MUSEUM FLUGWERFT SCHLEISSHEIM

Effnerstraße 18, 85764 Oberschleißheim

**Öffnungszeiten:**  
täglich 9:00–17:00 Uhr

**Eintrittspreis:**  
8 Euro, 5 Euro ermäßigt

🌐 [deutsches-museum.de/flugwerft-schleissheim](https://www.deutsches-museum.de/flugwerft-schleissheim)



„Früher dienten Flugzeuge dem Museum als Beispiele für technische Meisterleistungen. Heute betrachten wir sie als Kulturgüter, deren historisch-gesellschaftlicher Entstehungskontext ebenso wichtig ist. Die Aufarbeitung von NS-Verbrechen, die im Zuge der Produktion einiger ausgedienter Flugzeuge begangen wurden, ist ebenso wichtig wie aktuelle Diskussionen rund um Klima, Mobilität und Umwelt.“

**Andreas Hempfer**

Kurator des Deutschen Museums mit dem Schwerpunkt Luftfahrt bis 1945



Obwohl die Fokker D VII den Flecktarn der deutschen Fliegertruppe trägt, handelt es sich in Wahrheit um ein niederländisches Militärflugzeug.



Bei restauratorischen Arbeiten in den 1980er Jahren wurde ein niederländisches Kennzeichen unter der deutschen Bemalung freigelegt.

die Präsentation in der Ausstellung vorzubereiten. Dabei arbeiten die Restauratorinnen und Restauratoren unter der strengen Prämisse, die Originalsubstanz so wenig wie möglich zu verändern.

#### Zehn Triebwerke mit 300 Kilonewton Schub bewegten die Do 31 E-3

Der Rundgang endet dort, wo dieser Bericht seinen Anfang genommen hat: in der neuen Ausstellungshalle. Das besondere Raumgefühl, das bereits in der alten Werfthalle spürbar gewesen ist, holt einen hier wieder ein, inmitten von Fluggeräten jeglicher Art, Form und Größe. Von klassischen Flugzeugen der 1940er Jahre über Kampfflieger des Kalten Krieges ist alles vertreten: Hubschrauber, Strahlflugzeuge, Segelflieger, Senkrechtstarter. Sogar ein Flugboot befindet sich im Bestand des Museums. Weiter mittig in der Halle ist das Forschungsflugzeug ATTAS platziert. Wenige Schritte daneben befindet sich die Dornier Do 31 E-3, das weltweit einzige Transportflugzeug mit Strahltriebwerken, das senkrecht starten und landen kann. Um den Koloss mit einer Startmasse von 21 Tonnen senkrecht in die Luft zu heben, sind zehn Triebwerke mit einem Gesamtschub von 300 Kilonewton notwendig.

Und dann ist da noch die DG 300-17. Wie viele der Exponate sieht sie aus, als könnte sie sich jederzeit wieder in die Lüfte erheben.

#### Neuer Ausstellungsbereich zur Luftfahrtforschung

Doch diese Zeiten sind vorbei. Seit 2015 ist die Heilige stillgelegt. Dafür geht es seit ihrer Ankunft in Schleißheim erstaunlich dynamisch zu. Aufgrund von Sanierungsarbeiten an Dach und Lüftung wurden die Exponate wiederholt bewegt, die Ausstellungen verändert oder verlagert. Im Zuge dieser Veränderungen wurde auch die Einführung eines neuen Ausstellungsbereichs beschlossen, der sich explizit der Luftfahrtforschung widmet. Die Flugwerft Schleißheim schafft ein Bewusstsein für die Erfolge, die erkämpft, aber auch für die Rückschritte, die bewältigt werden mussten, um eine Welt zu schaffen, die im Luftraum so vernetzt ist wie nie zuvor. Vor allem aber macht sie neugierig darauf, wie es wohl weitergeht. Und das ist allemal einen Besuch wert.

**Melanie Dorweiler** ist Volontärin in der DLR-Kommunikation. In Schleißheim hat ihr am besten die Vielfalt der Exponate gefallen.



Heilige im Morgennebel: Durch die DG 300-17 konnte die Leitungsfähigkeit von insgesamt 130 Segelfliegern bestimmt werden.

## ABGEHOBEN

Wenn man auf einschlägigen Internetseiten Fotos von Luftfahrzeugen hochladen möchte, muss man so manche Hürden meistern und Qualitätsansprüche erfüllen: gute Komposition, ansprechende Lichtverhältnisse und nicht zu viel Nachbearbeitung. Flugbewegung gibt es reichlich, doch in der Planespotting-Community herrscht der Anspruch, innerhalb des orchestrierten „Chaos“ am Himmel, am Boden oder dazwischen die grazilste Pose in schönster Kulisse einzufangen. Vielleicht hat der technologische Fortschritt der Fliegerei zu viel Kunst genommen, sodass diese nun in der Abbildung des Fliegens zu suchen ist.

Timo Breidenstein, selbst Luftfahrtfotograf, bietet in dem Bildband **Into the Sky (Motorbuch Verlag)** auf gut 200 Seiten eine sorgfältig kuratierte Auswahl großformatiger Flugkunst – in mehrfacher Hinsicht. Die Bilder von Luftfahrtfotografinnen und -fotografen zeigen Flugzeuge und Hubschrauber bei der Landung vor malerischer Kulisse, in nahezu perfekter Achsensymmetrie am Flughafenterminal oder in scheinbar ineinander verschmelzenden Formationen bei Flugshows. Das allein für sich genommen ist schon ohne Vorwissen zur Luftfahrtfotografie beeindruckend. Doch wie es sich für einen guten Galeriebesuch gehört, nimmt der Autor die Lesenden zu Beginn an die Hand und erklärt die Welt der Luftfahrtfotografie am Boden und in der Luft. Hält man sich nun diese Produktionsanforderungen und die eingangs genannten hohen Qualitätsansprüche der Publikation vor Augen, wird der Himmel zum Studio und der flüchtige Moment zur Kunst.

Daniel Beckmann



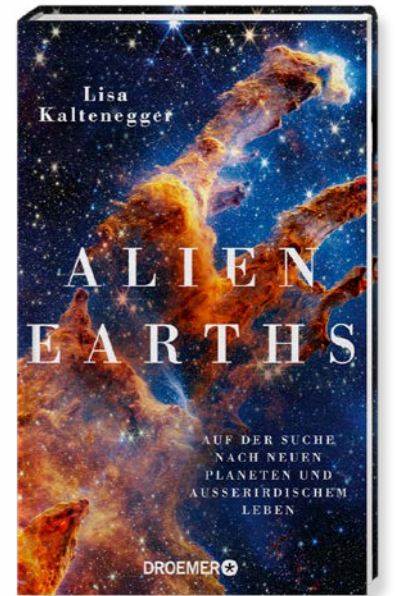
## AUF DER SUCHE NACH DEM KOSMISCHEN „HALLO“

Ausschauhalten nach außerirdischer Existenz war lange Zeit auf unser eigenes Sonnensystem beschränkt. Der „Game-Changer“ bei der Suche nach Leben außerhalb unseres Sonnensystems war die Mission CoRoT in der ersten Dekade dieses Jahrtausends. Lisa Kaltenegger, die Autorin von **Alien Earths. Auf der Suche nach neuen Planeten und außerirdischem Leben (Droemer Knauer)** war hier mit dabei: Sie wertete Missionsdaten aus, entwickelte maßgebliche neue Charakterisierungstechniken und etablierte interdisziplinäre Ansätze. „Alien Earths“ (deutsch: Fremde Welten) fasst den aktuellen Stand der Forschung auf knapp 300 Seiten zusammen.

Schon nach wenigen Seiten war ich von diesem Buch gefesselt. Wahrscheinlich werde ich es mindestens einmal pro Jahr ganz lesen und immer in Griffweite haben, wenn zum Beispiel meine Kinder mit Weltraum-Fragen kommen, bei denen ich mit meinem Basiswissen in Verlegenheit zu geraten drohe. Lisa Kaltenegger ist unter anderem Trägerin des Leibniz-Preises für Physik, Teil des James-Webb-Space-Telescope-Teams und setzt sich aktiv für die Rechte von Frauen ein. So beschreibt sie etwa, wie sie am Anfang ihrer Karriere von manchen männlichen Kollegen belächelt oder von rückständigen Professoren ausgebremst wurde. Vor allem zwei Dinge lernte sie hier: „Niemals aufgeben“ und „Nicht ärgern, nur wundern“.

Wundern tut sie sich auch über die schiere Anzahl an neu entdeckten Exoplaneten allein in unserer kosmischen „Nachbarschaft“. Sie hat die seltene Fähigkeit, selbst komplexeste Vorgänge laienverständlich und fesselnd aufzubereiten. Dabei arbeitet sie durchgängig mit Analogien, die hängen bleiben. Bei der Frage, wie sich auf Exoplaneten außerirdisches Leben gebildet haben und mit uns in Kontakt treten könnte, nutzt Kaltenegger populäre Raumfahrt-Belletristik und -Filme, um das ein oder andere Setting als unwahrscheinlich oder unfreiwillig komisch zu entlarven. „Alien Earths“ ist ein Genuss für alle, die fasziniert davon sind, was „da draußen“ wartet, von uns entdeckt zu werden ... oder sich möglicherweise aus gutem Grund vor uns verbirgt.

Michael Müller



## DER WELTRAUM ALS STRATEGISCHE INFRASTRUKTUR

Der Weltraum ist ein Objekt der Faszination und Inspiration. Seine Erforschung ist eine der spannendsten Unternehmungen, die die Menschheit je unternommen hat. Gleichzeitig sind satellitengestützte Technologien in der Navigation, Kommunikation und Erdbeobachtung für unser tägliches Leben mittlerweile unentbehrlich geworden. Neben staatlichen Akteuren ist die Anzahl der industriellen Player im Weltraum in den letzten Jahren enorm gestiegen. Insgesamt ist die Nutzung des Weltraums zu einem wichtigen technisch-industriellen und wirtschaftlichen Faktor geworden. Er wird daher zu Recht als „strategische Infrastruktur“ bezeichnet.

Das Buch **Strategischer Wettbewerb im Weltraum (Springer)** leistet einen wichtigen Beitrag dazu, die Nutzung des Weltraums aus einer sicherheitspolitischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Perspektive zu beleuchten. Schon die Vorworte, unter anderem von Anna Christmann, Koordinatorin für Luft- und Raumfahrt der Bundesregierung, und General Michael Traut vom Weltraumkommando der Bundeswehr verdeutlichen die enorme Bandbreite der Herausforderungen und machen Lust, tiefer in das Thema einzusteigen.

Das Buch ist unterteilt in die beiden großen Bereiche „Bestandsaufnahme der Weltraumaktivitäten“ und „Technologien, Trends und geopolitische Konflikte im Weltraum“. Gut lesbar und fundiert recherchiert beantwortet das Buch spannende Fragen wie: Wie positionieren sich die unterschiedlichen Nationen in der Nutzung des Weltraums? Welche sind die aufstrebenden Nationen und was ist die Rolle Europas? Was bedeutet der neue Wettlauf zum Mond? Wie realistisch ist Weltraumbergbau? Welche Gefahren gehen von Weltraumschrott aus? Haben wir es eines Tages mit autonomen Waffen im Weltraum zu tun?

Insgesamt zeigt sich in der Lektüre deutlich: Der Weltraum und seine Erschließung bergen Chancen, aber auch enorme politische Sprengkraft. In naher Zukunft werden wir zunehmend öffentlich geführte Diskussionen zum Thema sehen. Die gesammelten Beiträge der Autorinnen und Autoren dieses Buchs liefern aktuelles, fundiertes Hintergrundwissen, um eben diese Diskussionen führen zu können.

Prof. Dr. Thomas Dekorsy



## OHNE KOMPROMISSE

Es beginnt mit einem Knall, im wahrsten Sinne des Wortes: Ein Mann schießt sich in den Kopf. Es ist der Physiker Paul Ehrenfest, der lebenslang mit Depressionen zu kämpfen hatte und dem das Aufkommen der Quantenmechanik den vermeintlich physikalisch sicheren Boden unter den Füßen wegzog. Entsprechend verachtungsvoll blickte er auf den Mathematiker John von Neumann, der diesen neuen Forschungsbereich mit Feuereifer vorantrieb ... Und schon ist man der Gravitation von **Maniac (Suhrkamp)** erlegen.

Von Beginn an legt der Roman des chilenischen Autors Benjamín Labatut ein enormes Erzähltempo an den Tag. Unmittelbar nach dem kurzen Eintauchen in die Welt von Ehrenfest widmet sich der Großteil des Buchs besagtem John von Neumann. Labatut beleuchtet das Leben und Wirken dieses Universalgenies, das seine Spuren sowohl in der Spieltheorie als auch in der Quantenmechanik hinterlassen hat, an der Entwicklung der Atombombe beteiligt war und mit als Vater der künstlichen Intelligenz gilt. Labatut lässt dabei eine Vielzahl von Stimmen zu Wort kommen, die ihre eigene Geschichte mit der von Neumanns verknüpfen. Unter ihnen Koryphäen der Physik wie Richard Feynman, Theodore von Kármán und Eugene Wigner. Den Wahrheitsgehalt ihrer Gedanken handhabt Labatut dabei recht fluide, zu privat sind die Einblicke und Geständnisse. Aber schließlich steht auf dem Cover nicht umsonst in Versalien „Roman“.

Die einzelnen, tagebuchartigen Einträge gehen selten über 15 Seiten hinaus. Das gibt zumindest etwas Zeit zum Durchatmen und zum Reflektieren. Der Roman endet im dritten Teil mit einem Showdown in der altherwürdigen Kunst des Go-Spiels: Mensch gegen Maschine. Als ich das Buch zuklappe, fühlt es sich an, als wären die letzten Gäste einer extrem diskussionsfreudigen Party gerade gegangen. Zurück bleibt die Frage, welche „furchtbare Schönheit“ Mensch und Maschine in Zukunft hervorbringen werden.

Julia Heil

## SIND WIR NOCH ZU RETTEN?

Die Wissenschaft ist in Aufruhr: Weltweit spielen die Teilchenbeschleuniger verrückt. Die Regeln der Physik, die man zu kennen, die Gesetzmäßigkeiten des Universums, die man zu verstehen geglaubt hatte – auf einen Schlag scheint alles hinfällig. Und dann sind da noch die Todesfälle. Dutzende renommierter Wissenschaftler kommen unter mysteriösen Umständen ums Leben. Als der Physikerin Augusta „Auggie“ Salazar, die kurz vor einem wissenschaftlichen Durchbruch steht, plötzlich ein bedrohlicher Countdown erscheint, den nur sie sehen kann, werden sie und ihre Freunde Jin, Saul, Will und Jack in Vorgänge verwickelt, die die Geschichte der Menschheit für immer verändern werden.

So weit also der Ausgangspunkt der Serie **Three Body Problem**, die auf der „Trisolaris“-Trilogie des chinesischen Bestseller-Autors Cixin Liu basiert. Dabei klebt die **Netflix**-Adaption nicht sklavisch an der Buchvorlage, sondern setzt eigene Akzente: Das Setting wurde modernisiert, die Schauplätze verlagert. Besonders mit den Figuren, die deutlich mehr Tiefgang aufweisen als ihre literarischen Gegenstücke, hat man sich viel Mühe gegeben, sodass die Gruppe um Auggie inmitten der großen Ideen, die die Serie gemäß der Vorlage verhandelt, zum emotionalen Ankerpunkt wird. Freundschaft, Liebe, Verlust, Wachstum, Opferbereitschaft – diese Themen, die die Dynamiken zwischen den Charakteren prägen, verleihen dem Geschehen eine wohlthuend menschliche Komponente, ohne die teils komplexen Grundgedanken der Handlung zu verwässern.

Und die haben es in sich. Es geht nicht nur um die Bedeutung von Wissen und Gewissheit, sondern auch um die menschliche Natur. Was wäre, wenn wir den Glauben in die Menschheit verlören? Können wir uns vor uns selbst retten? Sind wir in der Lage, einer potenziell vernichtenden Bedrohung zu begegnen, die zwar unausweichlich, aber nicht unmittelbar ist? Solche Gedankenspiele scheinen in Zeiten des Klimawandels und wachsender politischer Spannungen aktueller als je zuvor. Und genau deshalb ist „Three Body Problem“ auf jeden Fall eine Empfehlung wert.

Melanie Dorweiler



## PROBIEREN GEHT ÜBER STUDIEREN

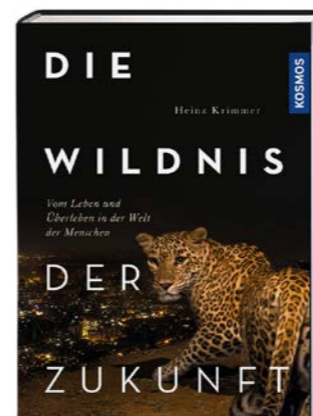
Im antiken Griechenland und in den Anfängen der Wissenschaft war vor allem theoretisches Denken in der Gesellschaft hoch angesehen. Handwerkliche Arbeit wurde in der Wissenschaftsgeschichte lange vernachlässigt. Dabei haben Handwerker vermutlich einen größeren Teil zu Durchbrüchen in der Forschung beigetragen, als es zunächst den Anschein macht. Diese These vertritt der studierte Chemiker und Physiker Philip Ball. In seinem Buch **Experimente – Versuch und Irrtum in der Wissenschaft (Haupt Verlag)** stellt er sechs fundamentale Fragen, darunter zum Beispiel „Wie funktioniert die Welt?“ oder „Was ist Leben?“. Diese Fragen wissenschaftlich zu beantworten, gelingt nur in Ansätzen, denn Ball möchte uns auf 230 Seiten eher einen Überblick über die Historie wissenschaftlicher Experimente verschaffen, als uns tatsächlich zu erklären, wie die Welt funktioniert. Ein Stilmittel, das sich durch seine populärwissenschaftlichen Publikationen zieht.

Der Londoner beleuchtet auf jeder Doppelseite meistens ein Experiment. Das macht die einzelnen Versuche und Durchbrüche leicht verdaulich. Abgerundet wird das Lesevergnügen von ästhetischen Grafiken und Illustrationen, die über das ganze Buch verteilt sind.

Bahnbrechende Erkenntnisse von weiblichen Forschenden kommen dabei allerdings leider zu kurz. So wird Rosalind Franklin, die ihr Leben dem Verständnis der molekularen Struktur von DNS gewidmet hat, nur in einem Nebensatz erwähnt, obwohl später ausgeführte Entdeckungen auf ihren Erfolgen aufbauen. Es wäre schön gewesen, Forscherinnen und ihre Errungenschaften deutlicher hervorzuheben. Dennoch lohnt sich ein Blick ins Buch. Man könnte sagen: Einen Versuch ist es wert.

Lukas Lenz

## VOM LEBEN UND ÜBERLEBEN



Bei diesem Buch muss man direkt mit einer Empfehlung starten: Es lohnt sich! Der Bildband **Die Wildnis der Zukunft** des **Verlags Kosmos** beeindruckt durch seine Gestaltung und ist ein Schatz für alle, die sich für Klima und Natur interessieren – vor allem wegen seiner neuen Perspektive auf das Thema: Es geht nicht nur darum, ob der Tiger als Art überlebt oder ob wir uns in Zukunft noch an Walen erfreuen können, sondern vor allem auch darum, ob der Mensch überlebt, wenn der Verlust der Wildnis so drastisch voranschreitet. Der Mensch kommt hier übrigens nicht gut weg, wenn die unterschiedlichen Gründe für das Artensterben aufgezählt werden. Heinz Krimmer, Journalist und Autor des Buchs, weiß, wie man schreibt und auch wie man die unangenehme Wahrheit in den Vordergrund rückt.

Eingangs wird erläutert, was Wildnis eigentlich bedeutet und wie sich dieser Begriff im Laufe des Anthropozäns, des Zeitalters des Menschen, verändert hat. Anschließend beschreibt der Autor die Bedeutung von Biodiversität, also der Vielfalt des Lebens. Doch wie genau beeinflusst die Menschheit den Planeten? Welche Auswirkungen auf die Ökosysteme, die Biodiversität und letztlich das Leben der Menschen sind zu erwarten? Was bedeutet in der heutigen Zeit eigentlich Wildnis? Gibt es echte Wildnis überhaupt noch? Und welche Prognose lässt sich treffen, wenn es darum geht, ob in Zukunft Wildnis möglich sein wird? Sicherlich keine neuen Fragen, die Krimmer hier aufwirft, aber die Antworten darauf sind entscheidend dafür, wie wir die Natur weiter beeinflussen können und vielleicht sogar sollten.

Miriam Poetter

## TRÄUMEN DÜRFEN



Ela weiß alles über die Sterne. Sie weiß, wie kalt es auf dem Mars ist und dass man auf dem Mond kein Feuer machen kann. Sie kennt die Planeten des Sonnensystems und kann genau sagen, wie viele Monde der Jupiter hat (92!) und dass sein großer Nachbar Saturn noch deutlich mehr hat. Das Weltall, davon ist Ela spätestens nach einem gemeinsamen Schulausflug mit ihrem Freund Ben ins Planetarium überzeugt, ist wunderschön! Und deshalb will sie auch Astronautin werden. Das Problem nur: Ela sitzt im Rollstuhl, und weder ihre blöde Nachbarin Claudia noch ihre Eltern scheinen ihr das so richtig zuzutrauen. Aber da hat Ben eine Idee!

Sehr bunt und fröhlich kommt **Als Ela das All eroberte (Carlsen)** von Raúl Krauthausen und Adina Hermann daher. Beide sind bekannt für ihre Aktivitäten rund um die Organisation Sozialheld:innen, die mehr Teilhabe und Barrierefreiheit für alle Menschen erreichen will. Auf insgesamt 79 Seiten verfolgt man gespannt, wie Ela ihr eigenes Astronauten-Trainingsprogramm durchläuft – und am Ende zwar scheitert, aber trotzdem an ihrem Traum festhält.

Das Buch richtet sich an Kinder ab fünf Jahren und ist sowohl zum Vorlesen als auch für etwas ältere Kinder zum Selbstlesen geeignet. Geschichte in die Geschichte eingewoben sind allerlei Fakten rund um das Weltall und die Raumfahrt. Im hinteren Teil finden sich Fragen und Antworten zum Thema Weltraum, aber auch zu Elas Geschichte und ihrem Rollstuhl – gute Impulse, um mit den eigenen Kindern ins Gespräch zu kommen.

„Als Ela das All eroberte“ hinterlässt ein friedvolles Gefühl: Dass Ela im Rollstuhl sitzt, spielt für die Geschichte irgendwann keine Rolle mehr. Die Botschaft, dass man von allem träumen darf, gilt für jedes Kind, jeden Erwachsenen, alle Eltern und Nachbarinnen da draußen.

Stefanie Huland

## LINKTIPPS

SPRUNG INS SCHWARZE LOCH

[youtu.be/crXGmeWfB9o?feature=shared](https://youtu.be/crXGmeWfB9o?feature=shared)  
„Hast Du Dich schon einmal gefragt, wie es ist, in ein schwarzes Loch zu fallen?“ Mit dieser Frage startet dieses interaktive Video der NASA. Und die Antwort liefert dieses 360-Grad-Video, in dem die Kamera in ein supermassereiches schwarzes Loch eintaucht. Die Simulation erstellten die Fachleute mithilfe eines Supercomputers. Dieser war mit der Berechnung fünf Tage beschäftigt. Das Projekt generierte übrigens etwa zehn Terabyte an Daten.



STIMMEN AUS DEM DLR

[dlr.de/de/karriere/inside-dlr/stimmen-aus-dem-dlr](https://dlr.de/de/karriere/inside-dlr/stimmen-aus-dem-dlr)  
In dieser Interviewserie erzählen Menschen aus dem DLR von ihren vielfältigen Aufgaben, woran sie arbeiten, wie ihr Arbeitstag aussieht und was ihnen gut daran gefällt. Das reicht von der Wissenschaftlerin über die Auszubildende bis hin zum Projektmanager. Es sind immer sechs Fragen und sieben Antworten. Spannend ist zu sehen, welche verschiedenen Ausbildungen die Personen absolviert haben und auf welchem unterschiedlichen Weg sie ins DLR gelangt sind.



AUFBRUCH ZUM MOND

[nasa.gov/calliefirst](https://nasa.gov/calliefirst)  
In einer 40-seitigen Online-Graphic-Novel erleben wir die fiktionale Geschichte von Callie, die als erste schwarze Frau auf dem Mond landen soll. Dabei muss sie Rückschläge und Enttäuschungen überwinden. Stets an ihrer Seite ist ihr Roboter RT, der jede Situation mit seinen Kommentaren aufzulockern vermag. Zu dieser Geschichte gibt es sogar eine App, mit der man virtuell in die Szenen aus der Graphic Novel eintauchen und die darin präsentierten NASA-Technologien erkunden kann.



WO IST DIE POLARSTERN?

[follow-polarstern.awi.de](https://follow-polarstern.awi.de)  
Hier findet sich die aktuelle Position des Forschungseisbrechers Polarstern. Begleitend werden auf der Website auch Positions- und Wetterdaten sowie aktuelle Berichte veröffentlicht. Die Polarstern wird vom Alfred-Wegener-Institut betrieben, das sich innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft auf die kalten und gemäßigten Regionen der Welt konzentriert. Sie ist im Jahr an durchschnittlich 305 Tagen unterwegs und hat bereits etwa 3,55 Millionen Kilometer zurückgelegt. Neben der Website gibt es übrigens auch eine Polarstern-App.





## Titelbild

Höchste Konzentration herrscht im Lageraum des Zentrums für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI). Das ZKI ist eine Einrichtung des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums am DLR in Oberpfaffenhofen. Wenn eine Katastrophe passiert – eine Überschwemmung, ein Erdbeben oder eine Explosion –, werden hier Erdbeobachtungsdaten wie Satelliten-, Luftbild- oder Drohnenaufnahmen zusammengetragen. Die DLR-Fachleute analysieren die Daten und verarbeiten diese weiter, beispielsweise erstellen sie aktuelle Lagekarten der betroffenen Gebiete. Ein konkretes Beispiel waren die Hochwasser in Bayern im Frühsommer 2024. Hier überflog das DLR die betroffenen Gebiete und erstellte Lagebilder in Echtzeit.

Bild: DLR/ZKI



Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt