

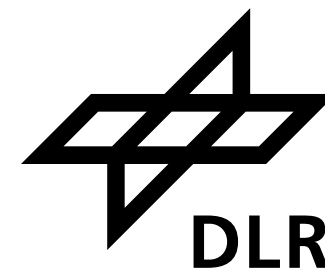
Titelbild

13,5 Meter lang ist die Forschungsrakete ATHEAt, die hier im norwegischen Andøya auf ihren Start wartet. Angetrieben wird sie von zwei Motoren: Die untere Stufe trägt den Namen RED KITE und ist ein sehr leistungsfähiger Feststoffantrieb. Das DLR entwickelte sie gemeinsam mit dem Unternehmen Bayern-Chemie. Die zweite Stufe verwendet einen kanadischen „Black Brant“-Raketomotor. Diese Kombination eignet sich besonders gut für Mikrogravitations- und Hyperschallforschung. An der Spitze der Rakete sitzt die Nutzlast. Sie ist Forschungsexperiment und Hitzeschutz zugleich. Mit ATHEAt erforscht das DLR wiederverwendbare Komponenten für Raumtransportfahrzeuge und damit auch die Herausforderungen eines Wiedereintritts in die Atmosphäre.



DLRmagazin
179 online

DLRmagazin | März 2026



magazin

#179

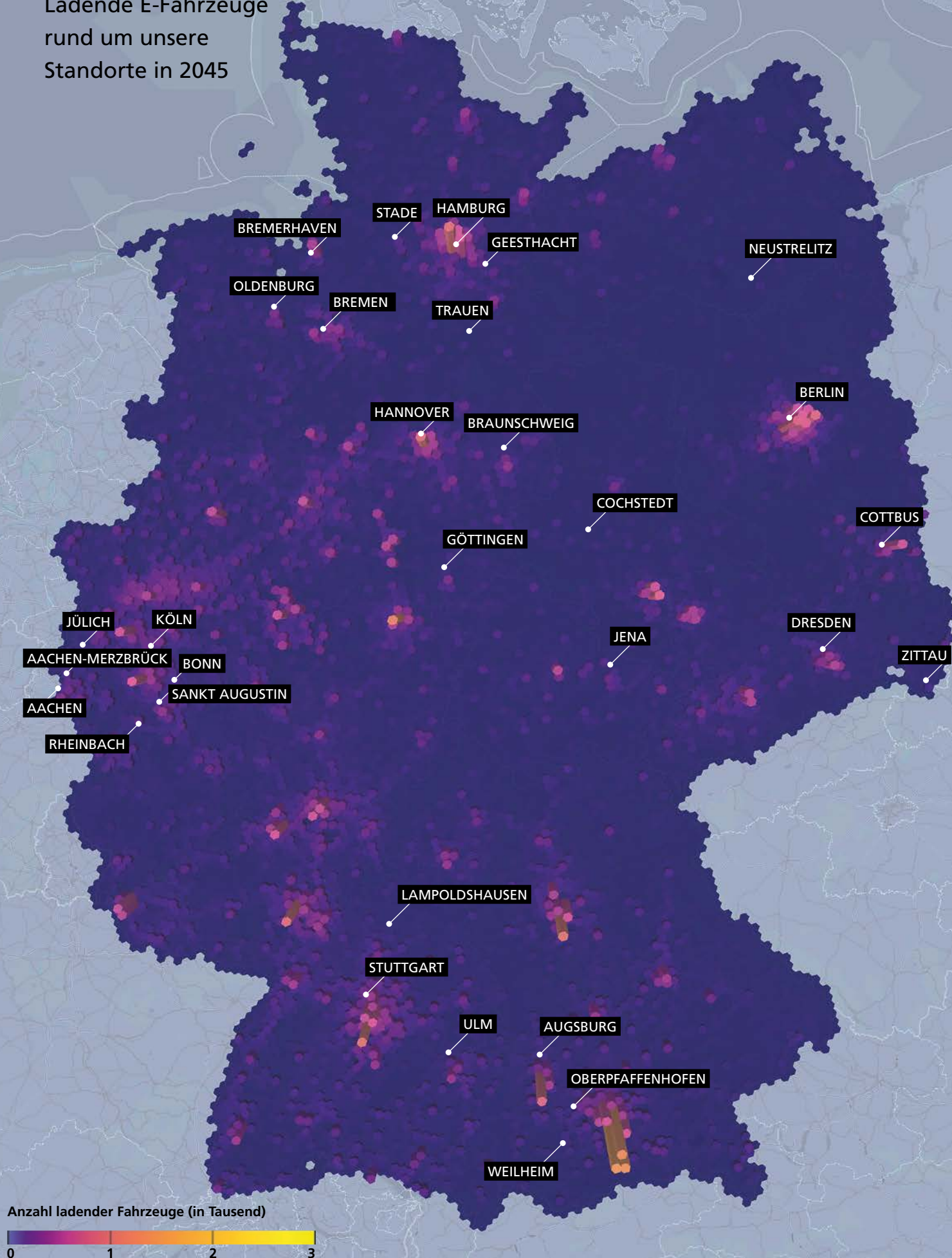


Bin gleich zurück!

Technologien für wiederverwendbare
Raumtransporte

DLR à la carte

Ladende E-Fahrzeuge
rund um unsere
Standorte in 2045



Unter Strom

Ein Werktag 2045, 9 Uhr morgens: Besonders in städtischen Ballungszentren hängen E-Fahrzeuge am Stromnetz und laden. Die hier dargestellten Daten stammen aus dem PowerForcastMapper (PFM), der als Kooperation verschiedener DLR-Institute unter Leitung des Earth Observation Centers entstanden ist. Modellierungen wie diese sind wichtige Anhaltspunkte, um die Elektromobilität voranzutreiben, die nur mit einer leistungsfähigen und flächendeckenden Infrastruktur funktioniert.



Direkt
zum PFM

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 Hulan (Redaktionsleitung), Michael Müller

Kommunikation

Linder Höhe, 51147 Köln
Telefon 02203 601-2116
E-Mail magazin@dlr.de
Web dlr.de
Instagram @germanerospacecenter

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten

Datum der Drucklegung:
10. Februar 2026

Gestaltung: raufeld

ISSN 2190-0094

Online lesen: dlr.de/dlr-magazin

Onlinebestellung: dlr.de/magazin-abo

Kontakt: magazin@dlr.de

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

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

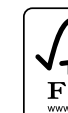
Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt



Druckprodukt mit finanziellem
Klimabeitrag
ClimatePartner.com/53106-2601102



MIX
Papier | Fördert
gute Waldnutzung
FSC® C008457

S. 02 Karte: DLR; S. 03 Illustrationen: raufeld/sora

Was uns antreibt ...



Professor Ali Gülhan
DLR-Institut
für Aerodynamik und
Strömungstechnik

„Kampagnen wie ATHEAt geben allen Beteiligten, vor allem aber auch unseren Nachwuchsforschenden, die einzigartige Gelegenheit, Spitzentechnologie in der Raumfahrt live mitzugestalten.“

Mehr auf Seite 10



Dr. Christoph Arndt
DLR-Institut für
Verbrennungs-
technik

„Die Luftfahrt der Zukunft braucht nachhaltige Treibstoffe, um abzuheben. Deshalb freue ich mich, dass die TPP in Leuna jetzt Wirklichkeit und die Luftfahrt ein Stück klimafreundlicher wird.“

Mehr auf Seite 42



Dr. Anneke Hamann
DLR-Institut
für Flugführung

„Ich habe das Glück, an der Schnittstelle zweier sehr interessanter Forschungsobjekte zu arbeiten: Gehirne und Flugzeuge. Wer kann das schon von sich behaupten?“

Mehr auf Seite 44



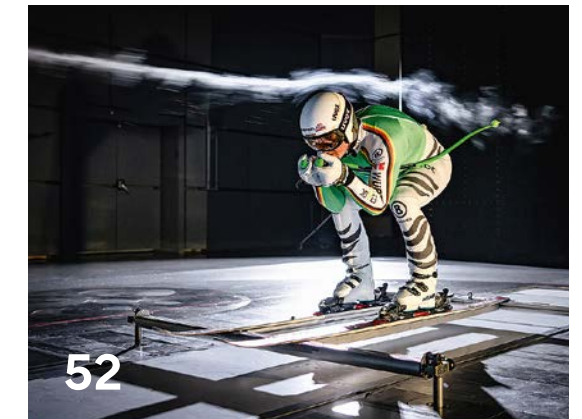
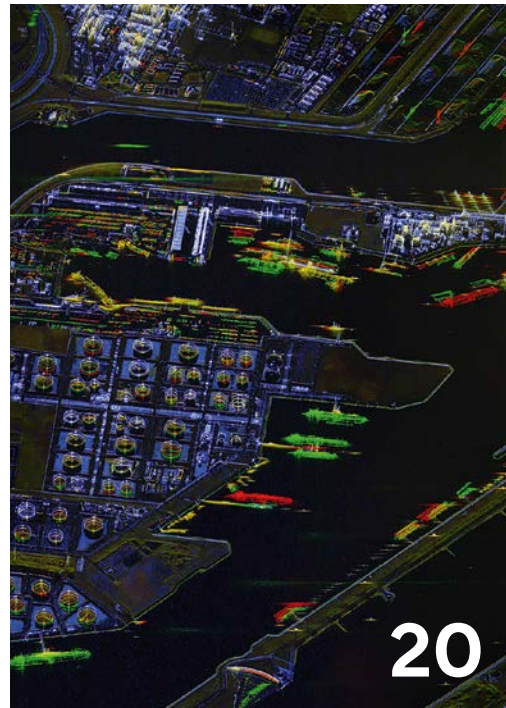
Dr. Max Friedrich
DLR-Institut
für Flugführung

„Vor einigen Jahren habe ich mich in einem Interview noch gefragt, ob ein Mensch mehrere Luftfahrzeuge gleichzeitig kontrollieren kann. Heute können wir das nicht nur in Simulationen zeigen, sondern live demonstrieren.“

Mehr auf Seite 48

Inhalt

DLRmagazin 179



STARTEN

- 06** **Meldungen**
- 09** **Podcast**
Andres Bolte, Deutsche Raumfahrtagentur im DLR
- 10** **Wiederverwendbarer Raumtransport**
Reportage zum erfolgreichen Start der Forschungsrakete ATHEAt in Norwegen
- 17** **Karriere**
Cédric Léonard, Doktorand am DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung

ENTDECKEN

- 18** **Einblick I**
Effizienzsteigerung mit Hochdruck
- 20** **Satellitendaten**
Die DLR-Ausgründung TerraLens nutzt KI zur Datenauswertung
- 24** **Zahlen, Daten, Fakten**
Wie sich die Passagierluftfahrt bis 2070 entwickelt
- 26** **Menschen im DLR**
Forschung live: Auf Social Media posten Botschafterinnen und Botschafter über ihre Arbeit
- 29** **Projektträger**
Gesundheitswirtschaft in Nordrhein-Westfalen

ERKUNDEN

- 32** **Einblick II**
Synchronflug über dem Dschungel
- 34** **Autonomes Fahren**
Was es braucht, um autonome Fahrzeuge auf die Straße zu bringen, schildert Verkehrsforscher Tobias Hesse
- 40** **Testfeld Niedersachsen**
Asphalt für Ideen
- 42** **Infografik**
Technologieplattform Power-to-Liquid-Kraftstoffe
- 44** **Interview**
Dr. Anneke Hamann erforscht Stress bei Pilotinnen und Piloten

LANDEN

- 48** **Einblick III**
Sicher abgesetzt
- 50** **Museumsbesuch**
Das Atomium in Brüssel
- 52** **Aus dem Archiv**
Wintersportler im Windkanal
- 55** **Medientipps**
- 58** **Marktreif**
Hylmpulse macht die europäische Raumfahrt unabhängiger
- 59** **Gute Frage**
Wie kommen 500 Kilogramm Experimente in die Schwerelosigkeit?





Solartürme des DLR in Jülich

Autonomes Solar-turmkraftwerk

JÜLICH: Bisher werden solarthermische Kraftwerke weitestgehend manuell gesteuert. Das könnte sich ändern. DLR-Forschende testeten in Jülich erfolgreich ein Konzept für den autonomen Betrieb eines solaren Turmkraftwerks. Das autonome System wertet konstant, schnell und zuverlässig große Mengen an Messdaten und komplexen Vorgängen aus. So kann die Automation in jeder Situation den jeweils optimalen Betriebszustand anfahren.

Sichere Quantenkommunikation

ERLANGEN: Es ist nicht einfach, einzelne Photonen von einem Flugzeug aus gezielt auf dem Weg zu bringen, in einer Bodenstation einzufangen und auch zu erkennen. Forschenden des DLR ist dies jetzt gelungen: Sie haben sogar mehrfach verschiedene Quantenkanäle zwischen einem Flugzeug und einer Bodenstation vermessen, Photonen an eine Ionenfalle geschickt und Technologien zur Quantenschlüsselverteilung getestet. Das Flugexperiment fand im Rahmen der QuNET-Initiative statt, die Technologien zur quantengesicherten Kommunikation entwickelt. Mit Photonen, also Lichtteilchen, können quantenkryptografische Schlüssel erzeugt werden, die die Kommunikation der Zukunft abhörsicher machen.

Von Lampoldshausen ins All

Ariane-Oberstufentriebwerk Vinci

In Zukunft wird die ArianeGroup Deutschland das Oberstufentriebwerk Vinci der Trägerrakete Ariane 6 am DLR-Standort in Lampoldshausen fertigen. Im Anschluss führt die DLR-Einrichtung Raumfahrtantriebe die finalen Tests für das Vinci-Triebwerk durch. Es wird auf seine Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit sowie die Einsatzbereitschaft für den Flug geprüft. Damit werden die gesamte Endproduktion und Systemintegration wie auch die Flugabnahmetests des Vinci-Triebwerks von Vernon in Frankreich nach Deutschland verlagert. Der Einbau des Triebwerks in die Oberstufe der Ariane 6 erfolgt wie bislang in Bremen.

Flexibel und langlebig

Der Vinci-Antrieb ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit der Ariane 6. Diese zeichnet sich durch eine lange Lebensdauer, die Möglichkeit, das Triebwerk mehrmals zu zünden, und die Verwendung der effizientesten Treibstoffkombination aus flüssigem Wasserstoff und Sauerstoff aus. Damit kann die europäische Trägerrakete eine Vielzahl unterschiedlicher Missionen fliegen und dabei auch mehrere Nutzlasten in einem Start transportieren. Deutschland hat sich

an der Entwicklung der Ariane 6 mit rund 800 Millionen Euro beteiligt. Die Deutsche Raumfahrtagentur im DLR koordiniert dieses deutsche ESA-Budget.

Kompetenzzentrum für Raumfahrtantriebe

Der DLR-Standort Lampoldshausen ist das europäische Kompetenzzentrum für Raumfahrtantriebe und damit ein Schlüsselstandort für den unabhängigen Zugang Europas zum Weltraum. Seit mehr als sechs Jahrzehnten betreibt die DLR-Einrichtung Raumfahrtantriebe hier einzigartige Prüfstände und Testanlagen für Flüssigkeitsraketenantriebe – von der Forschung bis zur Flugqualifikation. Ein herausragendes Beispiel für die Leistungsfähigkeit des Standorts ist das Vinci-Oberstufentriebwerk der Ariane 6. Es wurde am Prüfstand P4.1 in Lampoldshausen unter realen Höhenbedingungen für den Erstflug der Ariane 6 qualifiziert – eine in Europa einzigartige Kompetenz. Mit der künftigen Endmontage und den Abnahmetests des Vinci-Triebwerks in Lampoldshausen wird die enge Verzahnung von Entwicklung, Integration und Test weiter gestärkt.



Das Vinci-Triebwerk der Ariane-6-Rakete am Prüfstand P4.1 in Lampoldshausen

Bild: S. 06 (unten) DLR

Sicherer Luftraum für Drohnen

BRAUNSCHWEIG/COCHSTEDT: Das DLR-Institut für Flugführung entwickelt gemeinsam mit der Frequentis AG Verfahren, um Drohnen (Unmanned Aircraft Systems – UAS) sicher, effizient und koordiniert in den Luftraum zu integrieren. Dazu entsteht am Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme des DLR ein sogenannter U-Space. U-Space-Lufträume sind festgelegte geografische Zonen, in denen der Betrieb von UAS mit U-Space-Diensten zulässig ist. Im Rahmen der Kooperation entwickelt das DLR essenzielle Dienste wie Netzwerkidentifizierung, Geosensibilisierung, UAS-Fluggenehmigung und Verkehrsinformationen, die auch in verschiedenen Anwendungsszenarien getestet werden.



Nationales Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme des DLR in Cochstedt

24

Stunden brauchten die besonders schnellen Sonnenstürme im Januar 2026, bis sie die Erde erreichten. Normalerweise dauert es zwei bis drei Tage, bis die Folgen einer Sonneneruption auf der Erde bemerkbar werden.



Das DLR-Forschungsflugzeug Falcon 20E misst Kondensstreifen dort, wo sie entstehen.

Weniger Kondensstreifen, weniger Klimawirkung

Im EU-Projekt A4Climate geht es darum, wie sich Kondensstreifen vermeiden lassen

Unter Leitung des DLR arbeiten 17 Projektpartner aus neun Ländern daran, Entstehung und Klimawirkung von Kondensstreifen zu reduzieren – durch intelligente Flugrouten, innovative Triebwerkstechnik und alternative Kraftstoffe.

Vollautomatische Routenempfehlung

Um die Wirksamkeit der Maßnahmen unter realen Bedingungen zu testen, führt das DLR Messflüge gemeinsam mit der deutschen Fluggesellschaft TUIfly und dem österreichischen Luftfahrtunternehmen Flightkeys durch. Dabei wird, wenn möglich, außerhalb jener Regionen geflogen, in denen Kondensstreifen entstehen. Das Projektteam arbeitet an einer vollautomatischen Datenübertragung, die Routenempfehlungen in Echtzeit liefert. Mit Satellitenbildern überprüfen die Forschenden später, ob die Strategie in der Realität tatsächlich weniger Kondensstreifen erzeugt.

Klimaverträglicher fliegen

Kondensstreifen entstehen in großer Höhe, wenn heiße Abgase auf sehr

kalte, feuchte Luft treffen. Die entstehenden Eiswolken halten Wärme in der Atmosphäre fest und tragen zur Erderwärmung bei. Ihr Klimaeffekt ist dabei ähnlich groß wie der des gesamten CO₂ aus dem Luftverkehr. Die EU strebt daher das systematische Monitoring dieser Nicht-CO₂-Effekte an.

Moderne Triebwerke, nachhaltige Kraftstoffe

Über die Flugplanung hinaus wird in A4Climate untersucht, wie neue Triebwerke und alternative Treibstoffe die Kondensstreifenbildung verändern. Rußpartikel, die bei der Verbrennung von Treibstoff entstehen, gelten als wichtige Startpunkte für die Bildung von Eiskristallen. Ob weniger Ruß automatisch weniger Kondensstreifen bedeutet, ist allerdings noch ungeklärt. Um das zu testen, begleitete das DLR-Forschungsflugzeug Falcon 20E im November 2025 TUIfly-Passagierflugzeuge, die mit rußarmen Magerverbrennungstriebwerken ausgestattet sind. Die Flüge führen dabei bewusst durch kondensstreifenbegünstigende Regionen.

Neues DLR-Institut gegründet

KÖLN: Mit der Gründung des DLR-Instituts für Frontier Materials auf der Erde und im Weltraum bündelt das DLR seine Kompetenzen in der Materialforschung. Schwerpunkte des neuen Instituts sind die Entwicklung von High-Tech-Werkstoffen sowie Herstellungsprozesse der nächsten Generation – anpassungsfähig, ressourcenschonend und robust gegenüber extremen Umgebungsbedingungen. Mit seiner Ansiedlung in Köln stärkt das DLR-Institut für Frontier Materials auf der Erde und im Weltraum den Innovations- und Forschungsstandort Nordrhein-Westfalen und unterstreicht die Rolle Deutschlands als führende Wissenschafts- und Technologienation.

Mobilität mit allen Sinnen

BERLIN: Macht die neue Haltestelle den Nahverkehr angenehmer? Wie kann die Innenausstattung eines Verkehrsmittels Wohlbefinden sowie Sicherheit steigern? Wie attraktiv ist das Konzept für den öffentlichen Personennahverkehr? Solche Fragen macht die neue DLR-Anlage mozu – „Mobilitätswelten der Zukunft“ ganzheitlich erlebbar. Ab November 2026 können Besucherinnen und Besucher am Standort Berlin in einer virtuellen 3D-Welt Mobilitätsszenarien erleben, mit ihnen interagieren und am Gestaltungsprozess teilnehmen. Auch Effekte wie Geräusche, Gerüche, Wind, Regen, Wärme und Kälte können eingebunden werden.



Simulation aus der mozu-Anlage



Abschied von BIROS

Nach zehn Jahren verglüht der Feuerdetektor in der Atmosphäre

Knapp zehn Jahre lang hat der Kleinsatellit BIROS (Bi-spectral InfraRed Optical System) Waldbrände, Vulkanausbrüche und weitere Hochtemperaturereignisse auf der Erde detektiert. Am 22. Januar 2026 verglühte er vollständig in der Erdatmosphäre.

Neben dem fast baugleichen TET-1 war BIROS der zweite Satellit der FireBIRD-Mission des DLR. Die Hauptnutzlast beider Orbiter bestand aus einem hochsensiblen Infrarotkamarasystem. Nicht nur Vegetationsbrände konnten von dem Satellitenpaar genauer bewertet werden, sondern auch andere Hochtemperaturereignisse wie aktive Vulkane, brennende Schiffe oder schwelende unterirdische Kohleflözfeuer.

Variabler Feuerspäher

BIROS konnte Feuer oder Lava mit Temperaturen zwischen 300 und 1.300 Grad Celsius erkennen und bewerten – ein Alleinstellungsmerkmal dieses Kleinsatelliten. Er detektierte gleichzeitig sowohl kleine Feuer mit

nur zehn Quadratmetern Ausdehnung als auch riesige Buschbrände, ohne dass die Infrarotkamera übersteuerte.

Entwickelt und gebaut wurde BIROS in Berlin-Adlershof am damaligen DLR-Institut für Optische Sensorsysteme – heute DLR-Institut für Weltraumforschung – in Kooperation mit der Firma Astro- und Feinwerktechnik Adlershof. Weiterhin waren das DLR-Institut für Softwaretechnologie, das DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, die Universität Würzburg und die Firma Aerospace Innovation GmbH beteiligt.



Darstellungen des BIROS-Satelliten (oben und unten)



Der Podcast **FORSCHTELLUNGSPodcast** ist zu hören auf [dlr.de/podcast](https://www.dlr.de/podcast) und allen gängigen Streaming-Plattformen. Als Video ist er auch auf Youtube und Spotify verfügbar.



Der Satellitenpate

„Die Förderung neuer Kleinsatellitentechnologien in Deutschland gehört zu meinen zentralen Aufgaben. Durch den ständigen Austausch mit Forschung und Industrie kann ich einschätzen, welche Technologien gemäß der Raumfahrtstrategie gefördert werden sollen, und begleite aktiv die Entwicklungen.“

Andres Bolte, Abteilung Robotik, Digitalisierung und KI in der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR

Mach 9,2 über der Norwegi- schen See

Der erfolgreiche Start des
Flugexperiments ATHEAt war
ein wichtiger Meilenstein für die
Entwicklung wiederverwendbarer
Raumtransportsysteme

von Denise Nüssle

ATHEAt lässt sich auf Deutsch
übersetzen mit „fortgeschritte-
ne Technologien für den hoch-
energetischen Atmosphärenflug
von Trägerraketen-Stufen“
(Advanced Technologies for
High Energetic Atmospheric
Flight of Launcher Stages).

Bild: DLR

Der Start einer Rakete ins All ist ein magischer Augenblick. Weit weniger Pathos ist mit der Rückkehr auf die Erde verbunden: Der Wiedereintritt von Raumfahrzeugen in die Atmosphäre gleicht einem Ritt durchs Fegefeuer. Nach einer anstrengenden Reise verlangt er Mensch und Material nochmal alles ab. Bei Geschwindigkeiten bis zu 28.000 Kilometern pro Stunde – der 25-fachen Schallgeschwindigkeit oder Mach 25 – herrschen extreme Bedingungen. Ab Mach 5, dem Hyperschall, treten zudem besondere Phänomene auf: Die Luft im vorderen Bereich des Raumfahrzeugs wird stark verdichtet. Je nach Geschwindigkeit steigt die Gastemperatur dadurch auf mehrere tausend Grad Celsius. Diese enorme Hitze belastet die Strukturen eines Raumfahrzeugs erheblich und löst chemische Reaktionen an dessen Oberfläche aus. Auch die aerodynamischen Kräfte sind bei diesen Geschwindigkeiten extrem und technologisch kompliziert zu handhaben.

Wiederverwendbarkeit und Wiedereintritt

Mehrmals verwendbare Raumtransportsysteme haben das Potenzial, die Raumfahrt kostengünstiger, nachhaltiger und schneller zu machen. Das DLR entwickelt und erprobt die dafür notwendigen Technologien – wie aktuell im Projekt „ATHEAt“ (Advanced Technologies for High Energetic Atmospheric Flight of Launcher Stages). Wie seine Vorgängerprojekte setzt auch ATHEAt auf die Kombination aus ausgefeilten Simulationen, Auslegungen am Computer, Tests von Komponenten am Boden sowie Flugexperimenten an Bord von Höhenforschungsraketen.

Mit jedem Projekt treiben die DLR-Forschenden die Grenzen des Machbaren ein Stück weiter voran. Ihr Ziel dieses Mal: länger als zuvor bei sehr hohen Geschwindigkeiten zwischen Mach 8 und 10 fliegen. „Die Anforderungen, wie wir sie im ATHEAt-Flugexperiment nachstellen, müssen Hitzeschutzsysteme künftiger wiederverwendbarer Raumtransportfahrzeuge beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre mehrfach zuverlässig aushalten“, schildert der Projektleiter Professor Ali Gülhan. „Der Wiedereintritt bei extrem hohen Geschwindigkeiten ist ein Knackpunkt in der Entwicklung, auch für Raumfahrtunternehmen. Mit Projekten wie ATHEAt arbeiten wir gezielt daran, diese noch bestehende Technologie-

lücke zu schließen. Deshalb schauen Akteure aus Forschung und Industrie weltweit genau darauf, wie wir vorankommen.“

Natur, Polarlichter, Raumfahrttechnologie

Entsprechend groß sind Vorfreude und Spannung Mitte September 2025, als sich das ATHEAt-Team nach mehrjähriger Entwicklungsarbeit mit dem fertigen Flugexperiment auf den Weg in den hohen Norden Norwegens macht. Auf die kleine Insel Andøya zieht es normalerweise Fans rauer Natur, um Seevögel und Wale zu beobachten oder um sich von Polarlichtern begeistern zu lassen. Nur wenige Kilometer vom Hauptort Andenes mit seinen 2.500 Einwohnern entfernt liegt allerdings auch ein nur bei Raumfahrt-Insidern bekannter Raketenstartplatz. Direkt am Meer und mit einer Bergkette im Rücken bietet Andøya Space mit seiner Lage und dem Flugkorridor über der Norwegischen See gute Bedingungen. Das gilt auch für den Start von Forschungsraketen des DLR – vor



Vor dem Start gehen
die Teams von DLR und
Andøya Space alle Schritte
gemeinsam durch.
Dabei hilft eine für jeden
Start individuell ange-
fertigte Checkliste – die
sogenannte Countdown
Procedure.



12

allein, wenn deren Nutzlast nach dem Flug nicht geborgen wird.

Hightech-Keramik an der Spitze

Die Nutzlast macht die ersten 3,5 Meter der 13,5 Meter langen Forschungsrakete aus. Sie beinhaltet die wissenschaftlichen Experimente sowie das Servicemodul für Messungen, Energieversorgung und Datenübertragung während des Fluges. Der vordere Teil der Nutzlast, der sogenannte Vorkörper, schimmert grau und besteht an der Oberfläche aus einer speziellen faserverstärkten Keramik. Sie wurde komplett am DLR hergestellt und ist sehr leistungsfähig. Als Hochleistungswerkstoff hält sie Temperaturen von mehr als 2.000 Grad Celsius aus, ist mechanisch sehr stabil und trotzdem vergleichsweise leicht.

„Eine Herausforderung bei der Arbeit mit faserkeramischen Werkstoffen ist es, sie in den für die Raumfahrt notwendigen Geometrien und sehr präzisen Abmessungen herzustellen“, erklärt DLR-Ingenieur Thomas Reimer.

Aussicht auf Andøya Space: Hier starteten seit 1962 mehr als 700 Höhenforschungsraketen.

In einem kleinen Team hat er die Strukturen des Vorkörpers entworfen, gefertigt und zusammengebaut. Besonders schwierig herzustellen sind dünnwandige Schalen mit einer gekrümmten Form, wie sie auf dem Vorkörper von ATHEAT zu finden sind. Denn bei der Herstellung werden die Komponenten unter anderem in einem Ofen erhitzt und schrumpfen. Dieser Prozess muss vorab mit einkalkuliert werden, damit am Ende alles passt. „Das Know-how, das wir bei Projekten wie ATHEAT sammeln, ist auch wichtig, wenn man in Zukunft solche Bauteile in größeren Zahlen herstellen will“, beschreibt er weiter.

Im Vorkörper steckt nicht nur jede Menge Entwicklungsarbeit, er hat während des Fluges auch eine doppelte Funktion: Er ist Hitzeschutz und Forschungsexperiment zugleich. Im Experiment sollen zwei unterschiedliche aktive Kühlmethoden getestet werden, um die Temperaturen an der Oberfläche des Vorkörpers zu senken. Bei der einen wird Stickstoff durch die gezielt ein-



Nach der Ankunft heißt es Auspacken und ran ans Werk: Die DLR-Crew und das norwegische Team bauen die einzelnen Komponenten zu einer Rakete zusammen und führen letzte Funktionstests durch.



Ein Novum sind die Klappen am Vorkörper. In Zukunft könnte man diese nutzen, um Raketen zu steuern.

Bilder: S. 12 DLR; S. 13 (Mitte) DLR

STARTEN

Wiederverwendbarer Raumtransport

gebrachten Poren einer Keramikprobe gedrückt, um einen kühlenden Film auf der Außenseite zu erzeugen. Bei der anderen strömt ein Kühlgas mit hoher Geschwindigkeit an die Innenseite einer der Faserkeramik-Strukturen.

Erstmals befinden sich am Vorkörper des Flugexperiments vier leicht hervorstehende rechteckige Klappen. Sie sind mit Sensoren ausgestattet und können ihren Winkel während des Fluges verändern. In Zukunft könnten solche Klappen zum Einsatz kommen, um Raketen zu steuern. Aber auch sie werden durch ihre exponierte Position extrem heiß.

Vielzahl an Sensoren sollen einmalige Daten sammeln

Im Inneren der Nutzlast geht es eng zu. Sie ist durchzogen von einer Vielzahl an Kabeln und Leitungen. Denn mit an Bord sind mehr als 300 Sensoren – einschließlich der notwendigen Infrastruktur, um sie zu steuern, mit Strom zu versorgen und per Funk Daten zu senden. Darunter sind einige ganz besondere Messungen, die ersten in dieser Art. Dazu zählen berührungslose Laser-Abstandsmessungen und ein Laser-Linien-scanner. Unter den Klappen sind zudem zwei Infrarotkameras und Strahlungsthermometer angebracht.

In die Instrumentierung von ATHEAT ist ebenfalls spezielles Wissen und langjährige Erfahrung des DLR eingeflossen. Denn zuverlässige und umfassende Datensätze sind die Grundlage für alle weiteren technologischen Entwicklungen. Direkt während des Fluges werden alle Daten gesammelt, per Funk an die Empfangsstationen in der Nähe des Startplatzes geschickt und dort gespeichert. Da die Nutzlast nach dem Flug nicht geborgen wird, hat das Team genau eine Chance, an diesen einmaligen Datensatz zu kommen. Entsprechend gibt es auch für die Sensoren umfassende Funktionstests, unter anderem bei einer virtuellen Simulation des Fluges. Währenddessen kümmert sich ein anderer Teil des ATHEAT-Teams darum, die beiden Motorstufen bereitzumachen.

Integration und letzte Checks

Um Forschung aus dem Labor auf eine Rakete und dann in die Luft oder das All zu bekommen, verfügt das DLR über eine

13

eigene Einrichtung: die Mobile Raketenbasis (MORABA). Diese plant, betreut und startet suborbitale Höhenforschungsraketen – und das seit mehr als 60 Jahren von fast überall auf der Welt. „Für das ATHEAt-Flugexperiment benötigen wir keine große Flughöhe, sondern fliegen eine relativ flache Kurve, um die notwendigen hohen Wärmelasten für einen möglichst langen Zeitraum zu erreichen“, beschreibt Dorian Hargarten von der MORABA die Flugbahn. Sie wird vorab detailliert berechnet, weil die Forschungsrakete nach dem Start nicht aktiv gesteuert werden kann. Das macht diese Art von Experimentalfügen besonders kostengünstig. „Bei diesen Berechnungen spielen das Gewicht der Nutzlast, die Aerodynamik, die eingesetzten Motoren sowie Richtung und Winkel der Startrampe eine wichtige Rolle. Dazu kommen aber auch Faktoren wie die Windgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Höhen, die sich nicht beeinflussen lassen und deshalb immer mit Annahmen verbunden sind.“

Um die vorgesehene Flugbahn und die hohen Geschwindigkeiten zu erreichen, setzt das Team auf eine eigens zusammengestellte zweistufige Motorkonfiguration. Die erste, untere Antriebsstufe RED KITE ist eine Entwicklung des DLR mit dem Unternehmen Bayern-Chemie. Hinter der Verkleidung des „roten Milan“ verbirgt sich ein besonders leistungsfähiger Feststoffantrieb, der vollständig in Deutschland produziert wurde. Die zweite, obere Stufe verwendet einen kanadischen „Black Brant“-Raketenmotor.

Während die Nutzlast bereits mit der oberen Antriebsstufe verbunden ist und auf ihren Transport zur Startrampe wartet, montieren dort die Technikerinnen und Techniker die untere Motorstufe. Alles erfolgt unter strikten Sicherheitsvorkehrungen, denn bei jedem Raketenstart kommen explosive Stoffe und jede Menge Treibstoff zum Einsatz.

Schließlich rollen DLR und Andøya Space vorsichtig auch die Nutzlast mit Oberstufe zum Startplatz und beginnen mit den letzten Integrationsschritten. Auch wenn der Start schräg nach oben erfolgt, wird die fertige Rakete zunächst komplett aufgerichtet. Nach den letzten Vorbereitungen wird die Startrampe wieder nach unten gefahren und geschlossen. Zum Schutz gegen Feuchtigkeit bekommt der obere Teil der Forschungsrakete eine Verkleidung aus Styropor.

Generalprobe für den Start

Bei Raketenstarts wird nichts dem Zufall überlassen. Ein wichtiger Bestandteil der Startvorbereitungen ist deshalb der Test-Countdown, der ein oder zwei Tage vor dem Beginn des Startfensters stattfindet. Dieses Vorgehen gibt allen Beteiligten Sicherheit angesichts der steigenden Aufregung. Gleichzeitig stellt sich dabei heraus, ob der auf dem Papier geplante Ablauf in der Praxis funktioniert. Jetzt kommen alle Fäden zusammen: Die Telefone laufen heiß, Köpfe werden zusammengesteckt und wieder auf die Phalanx an Monitoren vor ihnen gerichtet. Mehrmals wird der Countdown angehalten. Diese Haltephasen oder „Holds“ nutzt man, um zum Beispiel mehr Zeit für wichtige Arbeitsschritte zu haben, ein Teilsystem neu hochzufahren oder auf bessere Wetterbedingungen zu warten. Am späten Nachmittag ist der Test-Countdown geschafft. Es wartet ein freier Tag, um zu entspannen und den Kopf frei zu bekommen – beim Joggen, in der Sauna oder auf der Suche nach der besten Zimtschnecke der Insel.

Alles startbereit – bis auf den Wind

Pünktlich zum Beginn des Startzeitraums am 3. Oktober ändert sich das Wetter, leider nicht zum Guten. Vor allem die hartnäckige Bewölkung und der starke Wind in den mittleren und höheren Schichten der Atmosphäre sind kritisch. Der Kampagnenplan sieht neun Tage vor, um das ATHEAt-Flugexperiment zu starten. Danach stehen schon die nächsten Projekte in den Startlöchern. Es beginnt eine Zeit des Wartens und Abwägens: Hofft man auf möglichst gute Bedingungen in einigen Tagen? Oder gerät man dann in Zeitdruck, sollte sich das Wetter weiter verschlechtern?

Auch in dieser Situation helfen Routine, Erfahrung und Planung. An den ersten drei Tagen treffen sich die Teams von DLR und Andøya Space zum morgendlichen Meeting, besprechen vor allem die Wettersituation und legen trotz allem mit den Vorbereitungen los. Sie arbeiten den Countdown bis 40 Minuten vor dem Start durch und gehen dann in Wartestellung. Sollte sich die Bewölkung verziehen und der Wind abflauen, könnten sie auf diese Weise schnell reagieren und jede gute Gelegenheit nutzen. Am ersten Tag warten und hoffen alle bis in



Bild: S. 15 (unten) DLR



Auch nachts bietet Andøya eine beeindruckende Kulisse (links).



Auf einer Hebebühne ziehen zwei schwindelfreie Kollegen die letzten Verbindungen zwischen den einzelnen Teilen der Rakete fest und prüfen alles ein letztes Mal (oben).

Der RED-KITE-Motor lässt die Rakete abheben. Er ist eine vollständig in Deutschland produzierte Entwicklung von DLR und Bayern-Chemie.



den späten Nachmittag. An den beiden folgenden Tagen wird der Countdown früher abgebrochen.

16

Der vierte Tag bringt die erhoffte Wetteränderung. Nach dem Morgen-Meeting mit den aktuellsten meteorologischen Daten steigt die Stimmung und bringt neuen Schwung in den Countdown. Auch vierzig Minuten vor dem geplanten Start macht das Wetter noch mit und die Uhr zählt weiter runter. Die Startrampe öffnet sich und fährt die Rakete in Position. Bei 20 Minuten starten letzte Wetterballons und bestätigen: Es kann losgehen. Der norwegische Sicherheitsbeauftragte meldet, dass die Umgebung rund um die Startrampe geräumt, die Straße gesperrt und der Flugraum über dem Meer frei ist. Radar- und Telemetrie-Stationen sind empfangsbereit und starten die Aufzeichnung.

Drei Minuten vor dem Start ertönt eine laute Sirene, alle Beteiligten sind maximal konzentriert. 90 Sekunden noch – alle Stationen übermitteln laut und deutlich ihr „Go“. Eine Computerstimme zählt die letzten Sekunden bis zum Start herunter und der Missionsverantwortliche von Andøya Space drückt auf den Knopf, der die Zündung freigibt. Zuerst sieht man Flammen und eine Rauchwolke, gefolgt von einem Feuerstrahl an der Startrampe. Knapp eine Sekunde dauert es, bis der Knall bei denjenigen Teammitgliedern ankommt, die nicht im Kontrollraum sitzen, sondern den Start von außerhalb der Sicherheitszone oder vom Bergkamm aus beob-

Die Struktur des Vorkörpers wird vorbereitet, um darauf die dünnwandigen schalenförmigen Bauteile aus faserverstärkter Keramik zu montieren.

achten. Zu diesem Zeitpunkt hat die Rakete die Startrampe schon hinter sich gelassen. Wenige Sekunden später ist sie kaum noch am blauen, wolkenlosen Himmel über dem Meer zu erahnen.

Doch mit dem erfolgreichen Start um 10:45 Uhr am 6. Oktober ist die Mission nicht vorbei. Die Anspannung im Kontrollraum ist weiterhin greifbar. Wenige Sekunden nach dem Start brennt die erste Antriebsstufe aus und wird abgetrennt. Dann zündet die zweite Stufe und beschleunigt das ATHEA-Flugexperiment so stark, dass es insgesamt vier Minuten lang fliegt, davon zwei Minuten im Hyperschall-Bereich über Mach 5 mit einer Spitzengeschwindigkeit von Mach 9,2. Grob umgerechnet sind das knapp drei Kilometer pro Sekunde. Am Ende des Fluges wassern die ausgebrannten Antriebsstufen und die Nutzlast im dafür vorgesehenen und gesicherten Gebiet. Im DLR-Kontrollraum macht sich Erleichterung und Freude breit. Erst recht als die Nachricht kommt, dass die Telemetrie-Stationen umfassende Messdaten empfangen und gesichert haben.

Datenschatz für weitere Entwicklung

„Insgesamt haben wir mehrere Gigabyte an Messdaten von den Sensoren erhalten. Für eine Mission, bei der alle Daten per Funk im Flug bei sehr anspruchsvollen Bedingungen übermittelt wurden, ist das ein sehr gutes Ergebnis“, bilanziert Projektleiter Ali Gülhan. Erste Daten zeigen, dass die Klappen aufgegangen sind. Im Detail wird die Auswertung dieses erfolgreich gesammelten Datenschatzes längere Zeit in Anspruch nehmen. Denn zunächst müssen die einzelnen Datenreihen der mehr als 300 Sensoren vorsortiert und auf ihre Plausibilität und Zuverlässigkeit geprüft werden. Erst dann können die Forschenden zuverlässige Aussagen zu den entstandenen Temperaturen, Drücken sowie den aerodynamischen und aerothermischen Effekten machen. Dieses neue Wissen gleichen sie dann mit ihren Modellen, Simulationen und Versuchen im Windkanal ab – um in einem nächsten Projekt mit einem weiterentwickelten Flugexperiment erneut an den Start zu gehen.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR. Sie berichtet über die Forschungsbereiche Energie und Verkehr – unternimmt aber öfter auch Ausflüge in die Raumfahrt. Für das DLRmagazin hat sie die Kampagne vor Ort begleitet.

Bilder: DLR

Mein Job im DLR

Cédric Léonard



17

Ich habe Elektroingenieurwesen und Informationstechnologie studiert. Derzeit arbeite ich als Doktorand am DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung. Dort beschäftige ich mich damit, wie maschinelles Lernen an Bord von Satelliten nützlich sein kann – unter anderem bei der Komprimierung von Erdbeobachtungsdaten. Das DLR bietet seinen Mitarbeitenden

eine gute Forschungsinfrastruktur, ein weitverzweigtes Kooperationsnetzwerk und viele Karrieremöglichkeiten. Außerdem erfüllt es mich, dass ich mich hier mit der Bewältigung großer gesellschaftlicher Herausforderungen befassen kann, zum Beispiel damit, wie man die Folgen des Klimawandels abmildert.



Join our
fascination –
die Karriereseite
des DLR

Effizienzsteigerung mit Hochdruck

An der Verbesserung von Flugzeugtriebwerken wird seit Jahrzehnten geforscht. Eines der Ziele ist es, die Klimawirkung der Luftfahrt zu reduzieren. Dies soll unter anderem gelingen über eine Steigerung der Effizienz – also gleiche Leistung bei weniger Treibstoffverbrauch. Die nächste Generation von Verbrennertriebwerken soll auch durch eine optimierte Verdichtertechnologie einen entscheidenden Beitrag leisten, wobei unter anderem nachhaltige Treibstoffe (SAF) zum Einsatz kommen. Im Verdichter wird die angesaugte Luft komprimiert und dann in der Brennkammer mit Kerosin verbrannt. Das DLR hat zusammen mit MTU Aero Engines und GKN Aerospace Sweden im Rahmen des europäischen Forschungs-

programms Clean Sky 2 an der Validierung neuer Verdichtertechnologien gearbeitet. Zielsetzung war, die CO₂-Emissionen und den Ausstoß von Stickoxiden (NO_x) im Luftverkehr um 20 bis 30 Prozent gegenüber 2014 zu senken. Bis November 2025 liefen Tests am Mehrwellenverdichterprüfstand des DLR-Instituts für Antriebstechnik in Köln. Im Fokus der Versuchskampagne lagen Verbesserungen insbesondere des Zusammenspiels der Nieder- und Hochdruckkomponenten sowie des Übergangskanals zwischen den beiden Verdichtern. Die umfangreichen Ergebnisse bestätigen die ambitionierten Auslegungsziele des getesteten Konzepts und stellen einen wichtigen Schritt zum Erreichen der Clean-Sky-2-Ziele dar.

Diese Aufnahme aus SAR-Satellitendaten zeigt den Hafen von Rotterdam. Farbig hervorgehoben sind die festgestellten Veränderungen: In Rot markierte Objekte sind seit der letzten Aufnahme neu hinzugekommen, Grün zeigt, was verschwunden ist, Blau steht für stationäre Strukturen und Gelb weist auf geringfügige Positionsänderungen hin.

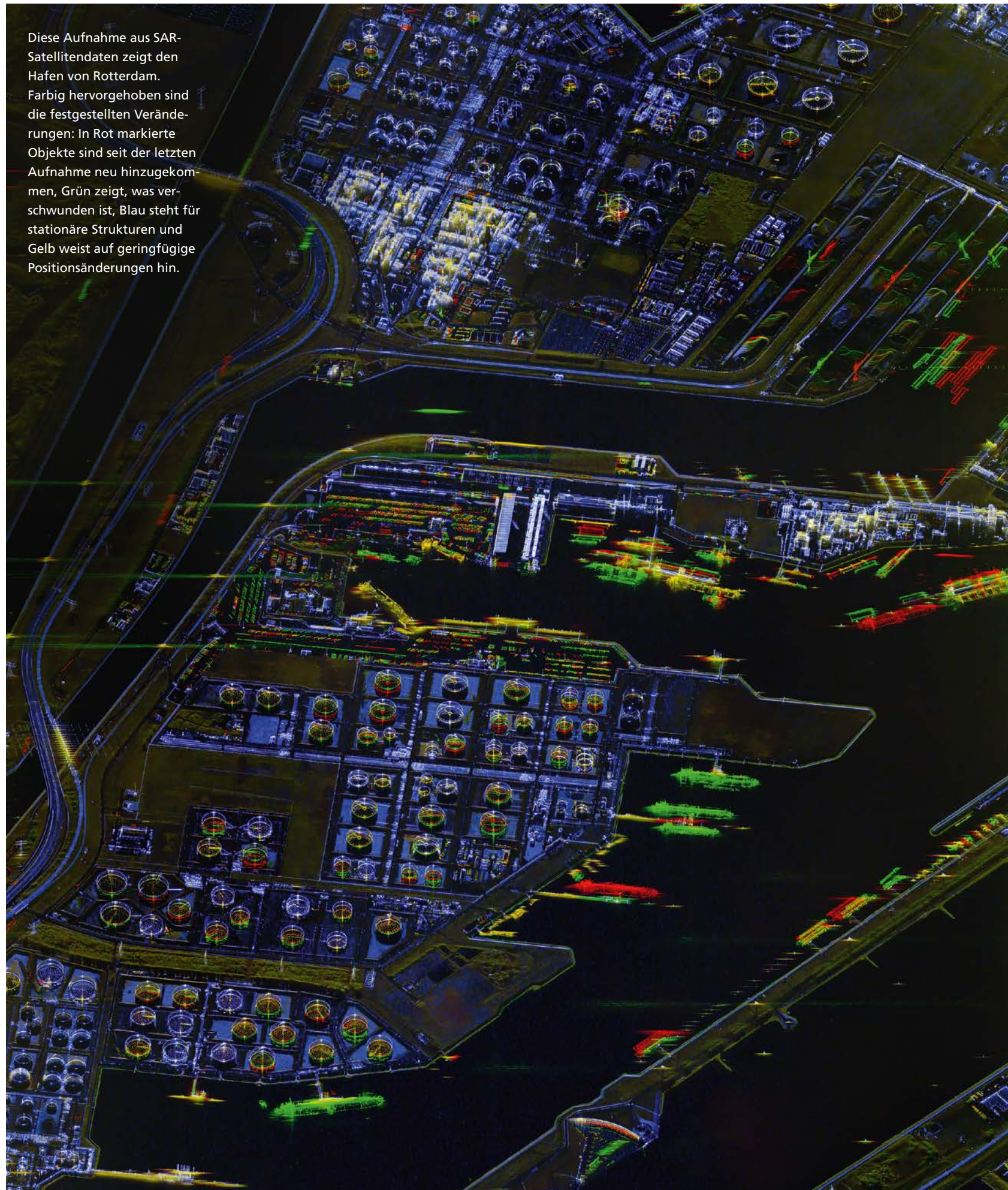


Bild: TerraSAR-X, copyright DLR e.V. (2017), Distribution by Airbus Defence and Space GmbH, processed by TerraLens GmbH



Hier geht es
zur Webseite
von TerraLens

Die Suche nach der Nadel im Heuhaufen

Die DLR-Ausgründung TerraLens
wertet Satellitendaten KI-gestützt aus

von Jonas Daniels

Das Gründen“, sagt Manfred Hager, „war für mich eine Herausforderung, auf die ich Lust hatte.“ Seit 1997 ist der studierte Elektrotechniker im DLR. Er und seine Kollegen Dr. Carlos Villamil Lopez und Dr. Harald Anglberger gründeten 2022 gemeinsam das Start-up TerraLens. Bis dahin arbeiteten die drei am DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme. In ihrer wissenschaftlichen Arbeit beschäftigen sie sich seit vielen Jahren mit der Auswertung von Satellitendaten. Und das, obwohl das Interesse für die Erdbeobachtung bei allen über Umwege kam: Hager und Villamil Lopez studierten Elektrotechnik, Anglberger ist technischer Mathematiker. Nach und nach landeten sie trotzdem in derselben Forschungsgruppe und arbeiteten an der Auswertung von SAR-Satellitendaten – eine Technologie, die sie von Anfang an begeistert hat.

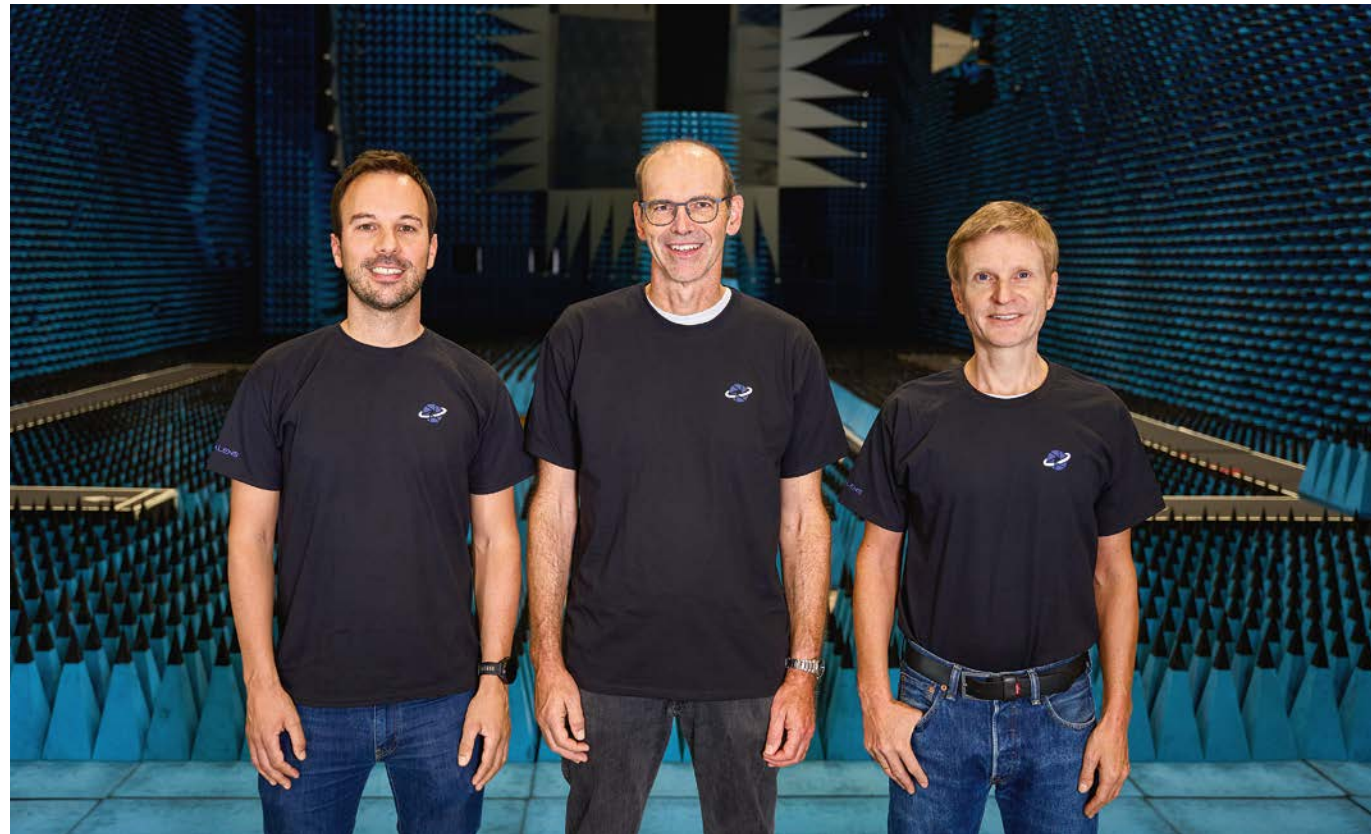
Tageslichtunabhängige Erdbeobachtung

SAR steht für „Synthetic Aperture Radar“, frei übersetzt etwa „Radar mit künst-

lich erzeugter Antennengröße“. Solche Radarsensoren umrunden üblicherweise an Bord von erdnahen Satelliten die Erde. Diese Satelliten „bringen quasi eine eigene Taschenlampe mit“, so Anglberger. Sie senden Radarwellen in Richtung Erdoberfläche, mit denen sie unabhängig von der Tageszeit Bildmaterial generieren können. Die Radarwellen durchdringen sogar Wolken und liefern so wetterunabhängig Bilder. Die auf diese Art generierten Radarbilder erreichen ähnliche Detailgrade wie Aufnahmen mit sichtbarem Licht.

Deutschland betreibt seit 2006 eigene SAR-Satelliten-Missionen, die Europäische Raumfahrtagentur ESA startete beispielsweise jüngst die Mission Biomass. Der gleichnamige Satellit setzt SAR zur präzisen Bestimmung der Biomasse in Wäldern ein (siehe Seite 32, „Synchronflug über dem Dschungel“).

Die steigende Anzahl der Satelliten lässt auch die Menge an verfügbaren SAR-Daten steigen – Fluch und Segen zugleich. Die großen Datenmengen sorgen



DIE DLR_STARTUP FACTORY

Mit der DLR_Startup Factory bietet das DLR seit 2023 ein umfassendes und systematisches Rahmenprogramm zum Aufbau erfolgreicher forschungsbasierter Start-ups an. Diese bringen die Ergebnisse der Forschung in die Anwendung und damit auf den Markt. Sie sind Ideengeber und Innovationstreiber. Mit Produkten und Dienstleistungen erzeugen sie Wertschöpfung und leisten einen Beitrag zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen.



Die drei Gründer von TerraLens (v.l.: Carlos Villamil Lopez, Manfred Hager, Harald Anglberger) haben sich vor vier Jahren mit ihrer Idee zur KI-gestützten Auswertung von SAR-Satellitendaten selbstständig gemacht.

für ein umfassenderes Bild der Erde, gleichzeitig sind menschliche Analysen und Analysten nicht mehr in der Lage, diese Datenflut zu verarbeiten. Das Herauspiken der relevanten Information gleicht der sprichwörtlichen Suche nach der Nadel im Heuhaufen.

KI hilft bei Auswertung der Datenmengen

Hier setzt die Idee von TerraLens an: Das Start-up vertreibt eine Software, die mithilfe von künstlicher Intelligenz bei der Auswertung von SAR-Satellitendaten unterstützt – eine technische Herausforderung, denn die Radaraufnahmen weisen eine Vielzahl an störenden Effekten auf, wie starkes Rauschen. Zusätzlich gibt es sogenannte Layover – Bereiche mit mehrdeutigen Informationen in den Pixeln. Die Software von TerraLens unterstützt dabei, die Bilder visuell so aufzubereiten, dass die Aufnahmen leicht auswertbar werden. Außerdem ermöglicht sie es, automatisiert Veränderungen über die Zeit zu detektieren. Das reicht von Änderungen an Infrastruktur oder Gebäuden bis hin zur Erkennung von unbekannten Objekten.

Bilder: S. 22 (oben) TerraLens; S. 23 DLR

Plötzlich Unternehmer

Der Rollenwechsel vom Wissenschaftler zum Unternehmer ist nicht leicht. Neben dem vom Forschungs- und Geschäftsinteresse getriebenen inhaltlichen Thema muss man sich als Unternehmer auch um Personalverantwortung, Projektförderung und Akquise von Investorinnen und Investoren kümmern.

„Uns ist es ein Anliegen, dass unsere Forschungsergebnisse einen Mehrwert für die Menschen liefern. Das können sie, wenn sie in der Wirtschaft ankommen, zum Beispiel in Form von Start-ups“, sagt Prof. Karsten Lemmer, DLR-Vorstandsmitglied für Innovation, Transfer und wissenschaftliche Infrastrukturen. Von den 94 Ausgründungen, die das DLR seit 1993 hervorgebracht hat, bestehen heute immer noch rund 90 Prozent am Markt.

Um die DLR-Forschenden im Ausgründungsprozess zu unterstützen, wurde 2023 die DLR_Startup Factory gegründet, ein Company-Building-Programm, das DLR-Mitarbeitende Schritt für Schritt durch ihr Gründungsvorhaben leitet. Gründungscoaches unterstützen die Teams dabei, auf Grundlage ihrer Forschung eine Geschäftsidee zu entwickeln, und prüfen ihre Chancen am Markt – vor allem aber helfen sie, unternehmerische Fähigkeiten aufzubauen. Das soll die Grundlage für einen langfristigen Erfolg der Start-ups bilden.

Geopolitische Lage treibt Geschäftsidee voran

Mittlerweile ist die Gründung von TerraLens fast vier Jahre her. In der Zeit hat sich der europäische Markt gewandelt. „Der Markt der Verteidigungstechnologien wird gerade durchgeschüttelt“, so Anglberger. „Laufend kommen neue Geschäftsfelder hinzu, die Konkurrenz ist groß.“ Manfred Hager ergänzt: „Durch unsere Arbeit am DLR haben wir jahrelange Erfahrung im Sicherheitsbereich. Als kleines, agiles Unternehmen bringen wir einen weiteren entscheidenden Vorteil mit: Wir sind schnell!“

Jonas Daniels ist Redakteur im DLR-Vorstandsbereich für Innovation, Transfer und wissenschaftliche Infrastrukturen.

3 Fragen an...

Dr. Georg Seydel,
Abteilungsleiter
und Leiter der
DLR_Startup
Factory



Wen unterstützt die DLR_Startup Factory?

Wir unterstützen Mitarbeitende, die sich basierend auf DLR-Forschung selbstständig machen möchten. Das Angebot richtet sich an alle Kolleginnen und Kollegen: vom wissenschaftlichen Mitarbeitenden bis zur Institutsleitung. Die Gründungsinteressierten können auch ohne konkrete Vorstellung an uns herantreten und wir schauen, ob sich gemeinsam eine valide Geschäftsidee entwickeln lässt.

Wie ist das Programm aufgebaut?

Das Programm besteht aus fünf aufeinander aufbauenden Stufen: Begonnen wird mit der Ideengenerierung, gefolgt von der daraus abgeleiteten Konkretisierung eines Geschäftsmodells. Dieses wird in einem nächsten Schritt durch eine Marktstudie mit Kundeninterviews validiert. Bei positivem Ergebnis der Marktstudie beginnen die Teams, ihre unternehmerischen Fähigkeiten auszubauen, und bereiten die notarielle Gründung vor. In der letzten Stufe werden Finanzierungsmodelle für das Start-up erarbeitet und die Möglichkeiten einer Beteiligung durch das DLR beleuchtet. Jedes Gründungsteam wird von einem unserer DLR_Startup-Factory-Coaches betreut, der oder die unterstützend zur Seite steht.

Was hat das DLR davon?

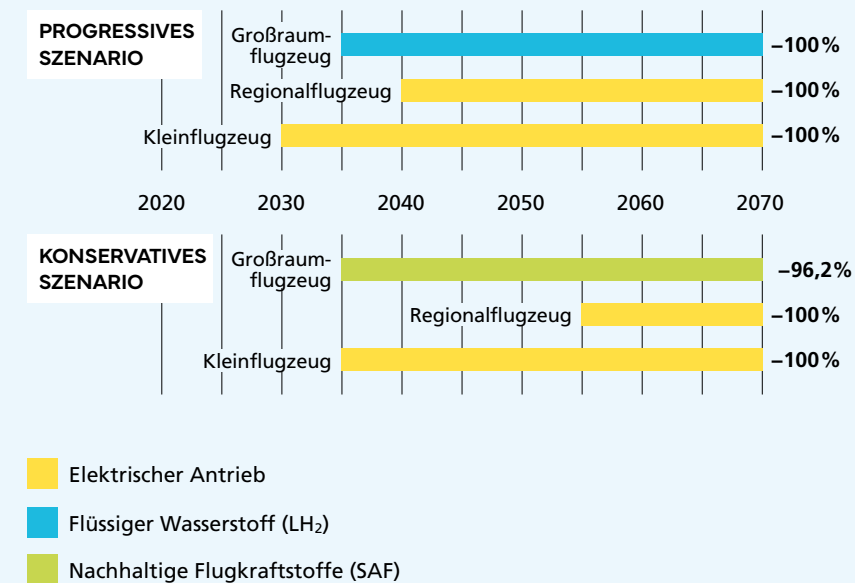
Das DLR profitiert in vielerlei Hinsicht von Ausgründungen: Sie sind ein Weg, unsere Forschung in die Anwendung zu bringen. Davon profitieren die Gesellschaft und die deutsche Wirtschaft. Zahlreiche Beispiele zeigen, dass Start-ups auch nach der Gründung mit dem DLR kooperieren und gemeinsam Technologien weiterentwickeln. Dadurch fließen Erkenntnisse aus der Praxis an das DLR zurück. Und letztendlich profitieren die DLR-Institute auch durch Lizenzerlöse, denn jedes Start-up, dessen Aktivitäten auf Patenten des DLR aufbauen, lizenziert diese Technologie zu marktüblichen Konditionen.

DEPA 2070 – Zukunft des Fliegens

Entwicklung der Passagierluftfahrt bis zum Jahr 2070



Flugzeugtypen-Roadmap nach Kraftstoff



>100 % Luftverkehr,
 -89 % CO₂ pro 100 Pkm*

Trotz einer erwarteten Verdopplung des Luftverkehrsaufkommens bis 2070 könnten die CO₂-Emissionen auf 100 von einer Person zurückgelegten Kilometern im Vergleich zu 2025 fast vollständig reduziert werden – wenn neue Technologien konsequent eingeführt werden. Die Modellierungen zeigen, wie alternative Antriebe, nachhaltige Kraftstoffe und effizientere Flugzeuge gemeinsam große Einsparungen bringen – vom Großraum- bis zum Kleinflugzeug.

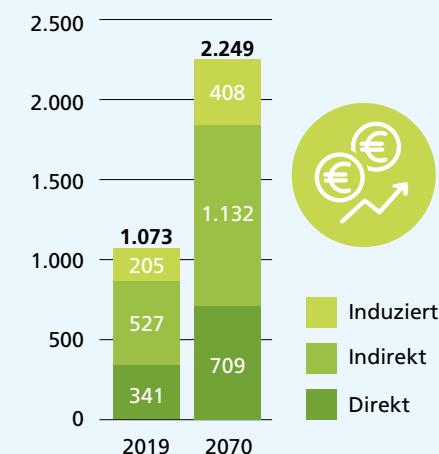
* Personenkilometer

Aufwind für Wirtschaft und Gesellschaft

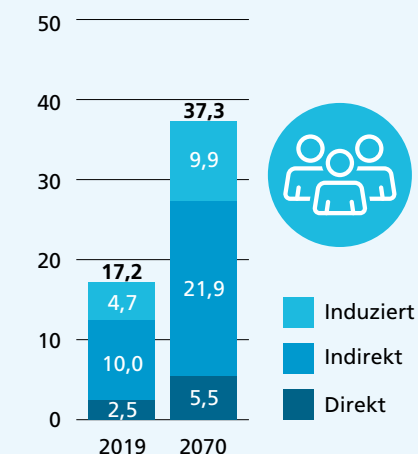
Der Wandel zu klimaverträglichem Fliegen ist auch eine wirtschaftliche Chance. Laut DEPA 2070 könnte sich die globale Wertschöpfung des Luftverkehrs von 2019 bis 2070 verdoppeln – auf rund 2,2 Billionen Euro. Gleichzeitig wächst die Zahl der Beschäftigten weltweit von 17 Millionen auf mehr als 37 Millionen.

Neue Technologien und Antriebe schaffen Innovationen, Arbeitsplätze und Impulse für die gesamte Branche. Mobilitätslösungen verändern das Reisen: Hybrid-elektrische Flugzeuge, bessere Flughafenzugänge und Überschallverbindungen können das Fliegen künftig flexibler, schneller und nachhaltiger machen.

Bruttowertschöpfung (Milliarden Euro)



Beschäftigung (Millionen Arbeitsplätze)



AUSBLICK: DEPA – EXT.

Im Folgeprojekt DEPA – ext. (für „extended“) analysiert das DLR, wie Unsicherheiten – etwa Energieverfügbarkeit, Infrastruktur oder geopolitische Entwicklungen – den Luftverkehr bis 2070 beeinflussen können. Ziel ist es, realitätsnahe, aber auch alternative Zukunftsszenarien für die kommenden 45 Jahre zu entwickeln und aus ihnen belastbare Strategien abzuleiten.



Mehr Informationen zu DEPA – ext.



ÜBER DIE STUDIE

Im DLR-Projekt DEPA 2070 (DEvelopment Pathways for Aviation up to 2070) haben Forschende untersucht, wie sich der weltweite Luftverkehr in den kommenden Jahrzehnten entwickeln kann – und wie Klimaschutz und Wachstum dabei miteinander vereinbar sind. Gemeinsam mit fünf DLR-Instituten, unter Leitung des Instituts für Luftverkehr, wurden technologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen analysiert. Im Fokus standen Zukunftstrends, Szenarien und die Bewertung neuer Flugzeugtechnologien. Das Ergebnis sind konkrete Perspektiven für eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Luftfahrt.



Mehr Infos zum DLR-Projekt DEPA 2070

Zwei Szenarien, ein Ziel: klimaverträglich fliegen

	KONSERVATIV	PROGRESSIV
Energiequelle	vorrangig Sustainable Aviation Fuels (SAF), batterie- & hybrid-elektrische Antriebe	flüssiger Wasserstoff, batterie- & hybrid-elektrische Antriebe
Technologieeinführung	2030 bis 2060	2025 bis 2050
Mögliche CO ₂ -Reduktion pro 100 Passagierkilometer ggü. 2025	-23 %	-89 %
Fokus	vorrangig heutige Flugzeugtechnologien inklusive Nach- oder Umrüstung bestehender Flugzeuge	neue Flugzeugtypen und Infrastrukturen

Die Studie zeigt zwei mögliche Wege in die Zukunft – einen konservativen und einen progressiven. Beide verdeutlichen: Nur mit neuen Antrieben und Energieträgern kann der Luftverkehr langfristig klimaverträglich werden. Im konservativen Szenario wird vor allem auf effizientere Flugzeuge und den verstärkten Einsatz nachhaltiger Flugkraftstoffe (SAF) gesetzt. Im progressiven Szenario wurde ein ambitionierterer Ansatz gewählt. Es berücksichtigt den frühzeitigen Einsatz von wasserstoffbasierten und batterieelektrischen Antrieben.

Bild: Shutterstock/dragunov

Lizenz zum Posten

Zwischen Büro, Hangar und Labor: 13 DLR-Mitarbeitende berichten auf Social Media von ihrem Arbeitsalltag

von Melanie Dorweiler



Bild: DLR

Robert Schültzky klingt wie einer, den so leicht nichts aus der Ruhe bringt. Genau genommen klingt er, als wäre ihm eine Karriere als Radiomoderator oder Synchronsprecher vorherbestimmt gewesen. Stattdessen arbeitet er bei der DLR-Einrichtung Flugexperimente, wo er Messanlagen in Helikopter einbaut, Versuchskampagnen begleitet und hinterher die Daten auswertet. Die Begeisterung ist nicht rein beruflich, Schültzky macht gerade privat einen Pilotenschein. Er spricht mit so viel Elan von Flexibilität, Manövrierfähigkeit und Rundumsicht, dass man sogar als Linienflugzeugpassagierin mit einem Hang zu Reiseübelkeit und Höhenangst zarte Anflüge von Abenteuerlust spürt. Genau diese Begeisterung möchte er auf LinkedIn teilen.

„Tüftler sind willkommen!“

Daniela Heine hatte mit sozialen Netzwerken nicht viel am Hut, bevor sie DLR-Botschafterin wurde. Gemeinsam mit ihrem Team untersucht sie die aerodynamischen Eigenschaften von Zügen, wenn sie in Tunnel einfahren. Die Tunnelsimulationsanlage, mit der sie arbeitet, ist eine 60 Meter lange Teststrecke, auf der sich Modelle im Maßstab 1:25 mit bis zu 100 Metern pro Sekunde bewegen können. Heine und ihr Team bauen die Modelle und die Messtechnik selbst. „Tüftler sind hier immer herzlich willkommen“, erklärt sie, denn für die Versuchskampagnen brauche es manchmal kreative Lösungen. Gerade solche Tüftler und Tüftlerinnen möchte sie auf LinkedIn für ihre Arbeit begeistern.

Im Neuland zuhause

Auch Carina Kanitz legt bei der Arbeit gerne selbst Hand an. Die Experimentalphysikerin schraubt, bohrt und lötet im Labor – und baut dabei am DLR-Institut für Quantentechnologien ein Experiment auf, in dem Materiewellen gebeugt werden. Mit ihrer Arbeit im Bereich des „Quantumsensing“ betritt sie wissenschaftliches Neuland. Ihre Rolle als DLR-Botschafterin füllt Kanitz mit demselben Pioniergeist, der sie veranlasst hat, ihre Arbeit als Kernphysikerin am CERN aufzugeben und für ihre Promotion am DLR in den Bereich Quantentechnologien zu wechseln: „Die Leute sollen wissen, was in der Wissenschaft passiert und wie sie gemacht wird.“

Steampunk in der Werkstatt

Zu denen, die gerne werkeln und mit den Händen arbeiten, gehört auch Nick Evers. Mit

Zu den LinkedIn-Kanälen:



Robert Schültzky



Daniela Heine



Carina Kanitz



Nick Evers



Carolin Altmann



Arti Kalra



Julia Jarass

größter Präzision Teile für Gerätschaften und Versuchsaufbauten anfertigen, darum geht es bei seiner Ausbildung zum Industriemechaniker. Sein Lehrstück, eine Dampfmaschine, hat er bereits fertiggestellt. Auf den ersten Blick wirkt das vielleicht etwas anachronistisch, aber die Fähigkeiten, die er dabei erlernt hat, verwendet er nun, um Auftragsarbeiten und eigene Projekte anzufertigen. Besonders reizt ihn, dass im Forschungskontext kein Teil wie das andere ist: „Jede Arbeit ist eine Einzelanfertigung.“

Vernetzen und Begeistern

Auch Carolin Altmann ist ans DLR gekommen, um etwas Neues zu wagen: Vor einigen Jahren wurde sie mit dem Aufbau des DLR_School_Labs in Jena betraut. Altmann möchte Kindern und Jugendlichen Wissenschaft zugänglich machen – gerade auch denen, die nicht aus Akademikerhaushalten kommen. „Ich freue mich immer auf den Kontakt mit anderen“, sagt sie. „Und ich liebe es, mich auf die Klassen einzustellen und zu überlegen, wie wir die Kinder am besten abholen können.“ Darauf setzt sie als DLR-Botschafterin auch online: Vernetzen und Begeistern – für die Forschenden der Zukunft.

„Menschen vertrauen Menschen“

Der direkte Austausch mit den Menschen ist ein entscheidender Faktor im Forschungsalltag von Arti Kalra. Sie entwickelt Regelungssysteme für Hubschrauber, die Pilotinnen und Piloten bei maritimen Operationen unterstützen, zum Beispiel bei Rettungseinsätzen auf hoher See. „Es geht nicht darum, den Menschen zu ersetzen“, betont sie, „sondern darum, ihn zu entlasten. Menschen vertrauen Menschen, keinen Maschinen.“ Auf das DLR-BotschafterInnen-Programm hat sie sich mit einer professionellen Neugier eingelassen und hofft, dass sie in den sozialen Medien andere Forschende, aber auch wissenschaftliche und politische Entscheidungstragende erreichen kann.

„Es hat halt jeder eine Meinung dazu“

Julia Jarass weiß, was es heißt, in den Austausch zu gehen. Die studierte Geografin mit dem Forschungsschwerpunkt Mobilität und Nachhaltigkeit hat am DLR-Institut für Verkehrsforschung mehrere Realexperimente organisiert, durchgeführt und ausgewertet. Social Media sieht sie als Chance, Aufmerksamkeit für gelungene Verkehrsprojekte zu erzeugen. Wenn sie sich etwas aussuchen könnte, dann, dass der Mensch im

Straßenverkehr in den Mittelpunkt rückt – mit viel Grün und kreativen Ansätzen für eine veränderte Raumnutzung.

Da wächst kein Gras mehr. Oder?

Grün ist das Stichwort von Jess Bunchek. Die US-amerikanische Astrobotanikerin beschäftigt sich beim DLR mit der Frage, wie man unter lebensfeindlichen Bedingungen Lebensmittel anbauen kann. 14 Monate lang hat sie im Rahmen des DLR-Projekts Eden ISS in der Antarktis Gemüse hochgezogen. Ursprünglich hatte die Agrarwissenschaftlerin dabei Landwirte im Sinn. Inzwischen denkt sie eher Richtung Raumfahrt, denn die Experimente, die sie durchführt, zielen darauf, den Anbau frischer Nahrungsmittel bei künftigen Mond- und Marsmissionen zu ermöglichen. Sie freut sich darauf, auf Social Media selbst zu berichten und sich mit den anderen DLR-Botschafterinnen und -Botschaftern zu vernetzen.

Der Mond auf Erden

Für Mondmissionen ist Maria Hallinger zuständig – zumindest für die, die auf der Erde stattfinden. Seit fast zwei Jahren arbeitet sie nun auf Seiten des DLR für das LUNA-Projekt, das das DLR gemeinsam mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA betreibt. Eine einzigartige Versuchsanlage, in der Forschende Mondmissionen unter realen Bedingungen durchspielen können. Hallinger gehört zu den Personen, die diese Testkampagnen betreuen und dafür sorgen, dass in der Anlage jeweils die richtigen Bedingungen herrschen. Sie sei froh, dass sie als Teil des BotschafterInnen-Programms nun ganz offiziell Einblick geben dürfe. „Jetzt habe ich quasi die Lizenz zum Posten!“

Satelliten aus Holz?

Für Isil Sakraker Özmen ist der Mond nicht das Thema. Die Luft- und Raumfahrtingenieurin arbeitet daran, Satellitenstrukturen nachhaltiger zu machen – so, dass sie am Ende ihrer Lebenszeit vollständig verglühen und keinen Weltraumschrott hinterlassen. Dafür experimentiert Özmen gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen mit neuen Materialien, darunter sogar Holz, und untersucht, wie sich ihre Nutzung auf Umwelt und Atmosphäre auswirkt. Als DLR-Botschafterin möchte sie Aufmerksamkeit für eine nachhaltige Raumfahrt schaffen: „Ich finde den Gedanken schön, dass ich ein Vorbild sein kann. Dafür nehme ich mir gerne die Zeit.“

Zu den LinkedIn-Kanälen:



Jess Bunchek



Maria Hallinger



Isil Sakraker Özmen



Lukas Firmhofer



Anika Weber

Simon Mechenbier,
Koordinator des
DLR-BotschafterInnen-Programms



Mit dem Wind im Gesicht

Weiter unten, zwischen Himmel und Erde, trifft man auf Lukas Firmhofer. Zumindest, wenn er sich gerade mal wieder im DLR-Forschungswindpark WiValdi aufhält. Firmhofer leitet das Projekt OPUS 3, den Aufbau einer Experimentalturbine, die als Versuchsträger vor allem für aerodynamische und aeroelastische Forschung dienen soll. Die Anlage lässt sich nahezu beliebig modifizieren, einzelne Komponenten können flexibel ausgetauscht werden. Am Bau der Gondel war er selbst beteiligt – „da kommt der Maschinenbauer noch durch“, sagt er. Als DLR-Botschafter möchte Firmhofer vor allem eines erreichen: mehr Aufmerksamkeit für das Projekt – und damit neue Kooperationen mit Forschung und Industrie.

Über gute Ideen sprechen

Fast wäre Anika Weber Lehrerin für Mathematik und Physik geworden, doch der Reiz, in die Forschung zu gehen, war am Ende stärker. „Ich will nicht in eine Zukunft blicken, in der ich als Rentnerin nur noch von Katastrophen lese“, erklärt sie ihre Wahl für die Energieforschung. Solarenergie besitzt aus ihrer Sicht ein enorm großes gesellschaftliches und wirtschaftliches Potenzial. Genau deshalb engagiert sie sich nun auch als DLR-Botschafterin. Gute Forschung dürfe nicht im Labor stecken bleiben, betont sie. „Es bringt nichts, wenn wir Großartiges entwickeln, aber niemand weiß davon.“

Melanie Dorweiler arbeitet beim DLR Projektträger und freut sich darauf, ihren Arbeitgeber durch das BotschafterInnen-Programm neu kennen zu lernen.



DAS DLR-BOTSCHAFTERINNEN-PROGRAMM

Das DLR in seiner Vielfalt abbilden, sichtbar machen, was die Mitarbeitenden leisten, Faszination für die Forschung wecken und vielleicht eine Karriere im DLR anstoßen: Das sind die Ziele des DLR-BotschafterInnen-Programms. „Forschung entsteht nicht im Elfenbeinturm“, erklärt Simon Mechenbier vom Social-Media-Team, der für das Programm (mit)verantwortlich ist.

Bild: Getty Images/Solskin

Innovation für die Medizin

Nordrhein-Westfalen ist ein Hotspot der Gesundheitswirtschaft – der DLR Projektträger vernetzt die wichtigsten Akteure

von Sarah Sommer

Können Menschen über den Darm atmen, wenn ihre Lunge nicht mehr funktioniert? In Aachen forscht ein Biomedizin-Start-up zu genau dieser Frage. In Duisburg tüfteln Chemikerinnen und Chemiker derweil an Metall-Nanopartikeln, mit deren Hilfe Protonenlaser Tumore besser bekämpfen können. Und in Wuppertal prüft ein interdisziplinäres Team aus Politik und medizinischer Forschung, wie Kommunen am effektivsten gegen Gesundheitsrisiken durch den Klimawandel vorgehen.

Rund um die Hochschulen und Spitzenforschungsinstitute in Nordrhein-Westfalen haben sich zahlreiche Start-ups, kleine und mittlere Unternehmen, forschungsstarke Kliniken und internationale Großkonzerne aus Medizintechnik und Pharmaindustrie angesiedelt. In neun medizinischen Fakultäten und Universitätskliniken, rund 80 Lehrkrankenhäusern, 30 Universitäten und Hochschulen sowie mehr als 50 außeruniversitären Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen wird innovative Medizin gelehrt, erforscht und weiterentwickelt. Mit dem Cluster Medizin.NRW hat der DLR Projektträger eine zentrale Kompetenzplattform

aufgebaut, die all diese Akteure miteinander vernetzt – damit ihre Ideen und Forschungsergebnisse schneller in der Praxis ankommen.

Spitzenmedizin für morgen

Es gibt wohl kaum einen aktuellen Trend in der medizinischen Wissenschaft und Praxis, der im bevölkerungsreichsten Bundesland nicht erforscht, erprobt oder neu gedacht wird. „Nanotubes, Biosensoren, Neuro-Implantate: Manches Forschungsthema klingt heute noch nach Science-Fiction, hat aber das Potenzial, als Sprunginnovation die medizinische Praxis zu revolutionieren“, sagt Dr. Patrick Guidato, Manager des Clusters Medizin.NRW im DLR Projektträger.

Wo Spitzenforschung betrieben wird, stellt sich auch die Frage danach, wie Patientinnen und Patienten im medizinischen Alltag von ihr profitieren können. Interdisziplinäre Kooperationen sind ein zentraler Erfolgsfaktor dafür, dass Innovationen es tatsächlich in die medizinische Versorgung schaffen und dies auch noch zügig erfolgt. Das Cluster Medizin.NRW fördert deshalb gezielt die strategische Vernetzung am Innovations- und Medizinstandort NRW. Der



Hier geht es zur Webseite des Clusters Medizin.NRW.

DLR Projektträger managt das Cluster im Auftrag des NRW-Wissenschaftsministeriums. „Unsere wichtigste Aufgabe ist es, analoge und digitale Netzwerke zu bilden, die die relevanten Akteure im Kosmos Spitzenmedizin zusammenbringen“, sagt Guidato.

Medizinische Versorgung verbessern

Sechs dieser Netzwerke hat das vierköpfige Team des DLR Projektträgers im Clustermanagement seit der Gründung im Jahr 2019 bereits aufgebaut, mehr als 300 Expertinnen und Experten unterschiedlicher Karrierestufen aus Wissenschaft, Wirtschaft und Versorgung engagieren sich aktiv. „Wir haben strategische Querschnittsthemen identifiziert, die Akteure aus möglichst unterschiedlichen Disziplinen zusammenbringen – und um diese Themen herum dann verschiedene Angebote und Veranstaltungen für den Wissens- und Erfahrungsaustausch entwickelt“, erklärt Guidato.

Gemeinsam ist den Leuchtturmprojekten, dass Perspektive und Bedürfnisse der Patientinnen und Patienten sowie der Zivilgesellschaft im Vordergrund stehen. Denn für die sogenannte Translation, also die Übertragung von Forschungsergebnissen aus dem Labor in die klinische Praxis, ist die Frage entscheidend: Was wird wirklich gebraucht?

Klinische Studien schneller finden

Aus dieser Fragestellung heraus ist auch eines der jüngsten Projekte des Clusters entstanden: eine Informationsplattform für klinische Studien. „Studien in der Klinik sind der Dreh- und Angelpunkt für jede medizinische und medizintechnische Innovation“, sagt Guidato. Erst wenn eine medizinische Neuerung in einer Studie

unter Beweis gestellt hat, dass sie sicher und wirksam ist und eine messbare Verbesserung ins Gesundheitswesen einbringt, kann sie tatsächlich in der Versorgung eingesetzt werden.

Für viele Beteiligte in diesem Prozess, wie zum Beispiel Arztpraxen, Unternehmen und auch andere Forschende, ist es oft eine Herausforderung, die richtigen Studien und Studienstandorte, geeignete Partnerunternehmen sowie passende Patientinnen und Patienten zu finden. „Es gibt zwar verschiedene nationale und internationale Datenbanken, in denen man nach passenden Studien suchen kann“, erklärt Clustermanager Guidato, „aber die sind so komplex, dass sie selbst für Fachleute nur schwer zu nutzen sind.“ So entstand die Idee, eine Plattform zu schaffen, die einen Überblick über klinische Studien in Nordrhein-Westfalen bietet.

DLR-Start-up wertet Daten aus

Seit Oktober 2025 ist die digitale Plattform klinische-studien.nrw als Testversion live: Sie bündelt erstmals strukturierte Informationen zu klinischen Studien in Nordrhein-Westfalen. Die Grundlage bildet ein KI-gestütztes Tool der DLR-Ausgründung Kwintely Intelligence, das ursprünglich für die Auswertung von Patent- und Publikationsdatenbanken entwickelt worden ist. „Wir haben dann angefragt: Könnt ihr auch aus den medizinischen Registern Daten extrahieren und aufbereiten?“, berichtet Guidato.

Die Herausforderung: Die Daten sind in den bisherigen Studienregistern nicht in einheitlichen Formaten erfasst, das macht sie so unübersichtlich. Die Kwintely-KI löst dieses Problem – sie erfasst öffentlich verfügbare Studiendaten aus verschiedenen internationalen Registern, vereinheitlicht und verknüpft sie mit wissenschaftlichen Publikationen. Ein Team des DLR Projektträgers hat zudem eine interaktive Web-Oberfläche entwickelt, die eine Suche und Auswertung nach Schlagwörtern, Start- und Endjahren der in Nordrhein-Westfalen durchgeführten Studien ermöglicht.

Auch in der Testphase des neuen Tools sei jetzt Feedback von möglichst vielen verschiedenen Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft und klinischer Praxis gefragt, betont Clustermanager Guidato: „Wir wollen vielfältiges Feedback sammeln – und die neue Studienplattform auch gezielt nutzen, um die Gesundheitswirtschaft in NRW besser zu vernetzen und die Patientenversorgung zu verbessern.“

Sarah Sommer schreibt für den DLR Projektträger und ist fasziniert von den Fortschritten moderner Medizin.

Bilder: S. 30 Vogelheim TV/Jens Koch; S. 31 DLR



„Wir machen sichtbar, was geht.“

Die Rahmenbedingungen in der Gesundheitswirtschaft sind komplex. Dr. Patrick Guidato, Manager des Clusters Medizin.NRW, erklärt, wie Innovation trotzdem möglich wird.

Herr Guidato, woran scheitern Innovationen im Gesundheitssektor?

Die Rahmenbedingungen sind anspruchsvoll: Wer eine medizinische oder medizintechnische Innovation in die Versorgungspraxis bringen will, muss sich mit komplexen Zulassungsverfahren, mit Fragen der Kostenerstattung und Patentrechten auseinandersetzen. Man muss zu einem frühen Zeitpunkt nachweisen, dass die Innovation einen konkreten Nutzen erbringt – unter organisatorisch und technologisch herausfordernden Bedingungen. Das heißt aber nicht, dass man sich davon aufhalten lassen sollte.

Wie lassen sich diese Hemmnisse überwinden?

Indem man sich klar macht: Es gibt immer schon jemanden, der es geschafft hat und von dem ich etwas lernen kann. Alle Akteure im Gesundheitswesen bewegen sich in diesen anspruchsvollen Rahmenbedingungen. Sie können voneinander lernen, wie man Innovationen in diesem Umfeld

erfolgreich in die Umsetzung bringt. Dazu müssen sie aber erst einmal voneinander wissen – sich kennenlernen und miteinander ins Gespräch kommen. Hier sehen wir eine zentrale Aufgabe für unser Cluster: Wir machen sichtbar, was geht.

Welche Themen sind für die Weiterentwicklung der Gesundheitswirtschaft denn besonders aktuell?

Da gibt es ganz vielfältige Themen und Trends, die wir aufgreifen. Themen wie die Verfügbarkeit von Rohstoffen und Personal beschäftigen in dem aktuell angespannten Umfeld zum Beispiel viele Forschende und viele Unternehmen. Da sind wir in einem intensiven Austausch, auch mit anderen Clustern der Gesundheitswirtschaft in ganz Deutschland und in Europa. Innovative Lösungen sind hier gefragt, ebenso wie beim Thema Klimaauswirkungen auf die Gesundheit. Das Thema Alternsmedizin treibt ebenfalls besonders viele Menschen in

der Branche um: Wie können wir vom Kinderarzt bis zur Geriatrie-Expertin medizinische Expertise bündeln, um die Folgen des demografischen Wandels für das Gesundheitssystem und die Patientenversorgung besser zu adressieren? Und die Fortschritte in der biohybriden Medizin faszinieren natürlich auch: Hier könnten bahnbrechende Durchbrüche die Medizin, wie wir sie heute kennen, völlig verändern. Also: Es bleibt spannend! Bei all diesen Themen wird das Cluster Medizin.NRW in den kommenden Jahren gefordert sein und Innovatorinnen und Innovatoren zusammenbringen.

DR. PATRICK GUIDATO

... ist seit 2019 Clustermanager von Medizin.NRW. Der Biochemiker bringt langjährige Erfahrungen im Wissensmanagement und Technologietransfer mit.



Synchronflug über dem Dschungel

Das zentralafrikanische Land Gabun bietet ideale Bedingungen, um die Biomasse tropischer Vegetation zu untersuchen. Bereits zweimal hat das DLR dort Messkampagnen mit seinen Forschungsflugzeugen durchgeführt. Im Herbst 2025 startete das DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme in Zusammenarbeit mit der ESA erneut ein besonderes Forschungsunternehmen, an dem auch die gabunische Raumfahrtagentur AGEOS beteiligt war. In der Radarmesskampagne überflog die Dornier DO 228 des DLR kurz nach dem neuen ESA-Erdbeobachtungssatelliten Biomass dieselben Waldgebiete. Ziel war es, Radardaten zur Erfassung der Biomasse tropischer Regenwälder zu gewinnen und diese mit der Datenqualität von Biomass zu vergleichen. Mithilfe der europäischen Biomass-Mission wird erstmals die Waldbiomasse und -struktur dank modernster SAR-Technologie (Synthetic Aperture Radar) präzise bestimmt. Dieses Wissen ist notwendig, um zu berechnen, wie viel klimarelevantes Kohlenstoffdioxid die Wälder aufnehmen, speichern und durch Abholzung freisetzen.



Am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik wird erforscht, wie Fahrzeuge aus der Ferne gesteuert werden können. In der Fachsprache nennt sich das Teleoperation.

Bild: DLR

Startklar für die Straße

Autonomes Fahren gehört seit Jahren zu den Megatrends in der Fahrzeugbranche. Die Einführung ist trotz erheblicher technologischer Fortschritte herausfordernd. Im Interview schildert Dr. Tobias Hesse, Programmsprecher für die Forschung des DLR im Bereich Straßenverkehr, was es braucht, um autonomes Fahren auf die Straße und den Markt zu bringen. Hier geht es auch darum, welche Rolle Teleoperation dabei spielen kann – und warum es sich lohnt, Mobilität als System zu denken.

Die Fragen stellte Denise Nüssle.

Wie steht es aktuell um das autonome Fahren?

In den USA und China bieten Firmen wie Waymo oder Apollo Go sogenannte Robo-Taxi-Dienste auf öffentlichen Straßen an. Beide arbeiten auf Level 4 von 5 möglichen Automatisierungsstufen (siehe Seite 37 „Stufen der Automatisierung“). Das heißt, die Fahrzeuge können in festgelegten Gebieten unter bestimmten Bedingungen – zum Beispiel gutem Wetter – selbstständig fahren, ohne dass ein Mensch eingreifen muss. Deutsche Unternehmen legen bisher den Fokus auf Funktionen der Level 2 und 3 und sammeln so Erfahrungen. Dabei steuert die Automatisierung das Fahrzeug in bestimmten Situationen. Bei Level 2 dürfen die Fahrenden die Hände kurz vom Lenkrad nehmen, müssen aber ständig überwachen und eingreifen können. Bei Level 3 steuert das Fahrzeug in bestimmten Situationen, ohne überwacht zu werden. Danach muss der Mensch mit Vorlaufzeit wieder das Steuer übernehmen.

Vergleichen lässt sich die Situation nur bedingt. Denn Vorgehen und damit verbundenes Risiko unterscheiden sich. In den USA ist der Zugang marktgetrieben, in China staatlich verordnet. Deutschland und Europa verfolgen einen zulassungsbasierten Ansatz: Zuerst muss die Sicherheit solcher Fahrzeuge und Angebote umfassend nachgewiesen sein, bevor sie großflächig auf öffentlichen Straßen zum Einsatz kommen. Auch der Aspekt der Resilienz wird immer wichtiger. Dazu zählt die Widerstandskraft von autonomen Systemen gegenüber Cyberangriffen oder Sabotage.

Können Sie noch einmal konkret auf die Situation in Deutschland eingehen?

Sowohl technologisch als auch regulatorisch sind wir besser aufgestellt als es auf den ersten Blick erscheint. Vor allem im Bereich der „Automotive Connectivity“ setzt Deutschland die Standards. Der Begriff Connectivity bezeichnet die Fähigkeit eines Fahrzeugs, sich drahtlos mit dem Internet, anderen Fahrzeugen und der Infrastruktur zu verbinden. So können Daten ausgetauscht und damit zum Beispiel für mehr Sicherheit und besseres Verkehrsmanagement gesorgt werden. Auf regulatorischer Seite haben der Bund und die EU die gesetzlichen Grundlagen geschaffen, um autonomes Fahren zu ermöglichen.

Jetzt brauchen wir den Mut, vorhandene Technologien und Lösungen in der Praxis

DR. TOBIAS HESSE

leitet aktuell kommissarisch als einer von zwei Direktoren das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik. Seit rund zwanzig Jahren forscht er zum autonomen Fahren auf der Straße. Er hat zwar einen Auto- und Motorrad-Führerschein, hat aber noch nie ein eigenes motorisiertes Fahrzeug besessen.

zu testen, sie einzuführen und parallel dazu weiter zu erforschen. Dafür sind einfache experimentelle Zulassungen, Reallabore, Testflotten und Modellregionen notwendig. Wichtig ist, dass diese Projekte skalierbar, also erweiterbar, sind, was die Zahl an Fahrzeugen und Nutzenden sowie die Größe der Einsatzgebiete betrifft. Nur so kommen wir zu wirtschaftlich attraktiven Produkten, Anwendungen und Dienstleistungen. Gleichzeitig brauchen wir Geduld und Durchhaltevermögen – auch was Investitionen und Förderungen betrifft. Denn neue Technologien durchlaufen einen Innovationszyklus mit typischen Phasen. Dazu gehört auch das „Tal des Todes“, wie wir es zurzeit in Deutschland etwas erleben. Mit dem autonomen Fahren lässt sich bislang nicht das große Geld verdienen. Das liegt auch daran, dass wir den systemischen Mehrwert noch nicht mitdenken.

Welchen Ansatz verfolgt das DLR?

Das Besondere an der DLR-Verkehrsforschung ist genau dieser systemische Ansatz, auch beim autonomen Fahren. Wir entwickeln technologische Ideen, Konzepte und Lösungen, die über das einzelne Fahrzeug hinausgehen. Wir schauen uns auch das Zusammenspiel von manuell gesteuerten und autonomen Fahrzeugen an, unterschiedliche Betriebsweisen und Einsatzzwecke. Außerdem untersuchen wir, welche Aufgaben die Verkehrsinfrastruktur beim autonomen Fahren übernehmen kann – beispielsweise intelligente Ampeln und Kameras oder Rechner in Leitstellen und an zentralen Verkehrspunkten wie komplexen Kreuzungen. Im Optimalfall sind in Zukunft alle Verkehrs-

Bild: DLR



„Jetzt brauchen wir den Mut, vorhandene Technologien und Lösungen in der Praxis zu testen, sie einzuführen und parallel dazu weiter zu erforschen.“

Tobias Hesse, DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik

teilnehmenden so miteinander vernetzt, dass sie vom autonomen Fahren profitieren. Ein spannendes und zukunftsweisendes Beispiel ist das DLR-Projekt IMoGer (Innovative modulare Mobilität Made in Germany). In diesem Projekt entwickelt und testet das DLR zusammen mit Unternehmen ein in seiner Vielseitigkeit und Praxisnähe einzigartiges Mobilitätsangebot: Es kombiniert den autonomen, flexiblen und bedarfsorientierten Transport von Personen und Gütern auf der letzten Meile, also den Weg vom Bahnhof nach Hause oder den letzten Teil der Transportkette bei Paketlieferungen vom Verteilzentrum zu den Kundinnen und Kunden. Ab 2027 ist dazu in einem Stadtteil von Braunschweig eine kleine Flotte von ebenfalls am DLR entwickelten U-Shift-Fahrzeugen unterwegs. Diese Fahrzeuge bestehen aus einem elektrisch angetriebenen u-förmigen Driveboard, das je nach Aufgabe eine Kapsel für den Transport von Personen oder von Gütern befördert. Auch hier untersuchen wir das ganze System, um den Markthochlauf des autonomen Fahrens bestmöglich zu unterstützen: Dazu gehören natürlich die Automation, das Fahrzeugkonzept, unterschiedliche Betriebsweisen, die Integration in den bestehenden öffentlichen Nahverkehr, neue und zusätzliche Mobilitätsangebote und die gesellschaftliche Akzeptanz des Projekts. Das Bundesministerium für Verkehr fördert IMoGer mit rund 35 Millionen Euro.

In der Diskussion um autonomes Fahren fallen häufiger die Begriffe Teleoperation, Telefahren und Teleassistent. Was hat es damit auf sich?

Diese Themen sind sehr wichtig. Denn sie kön-

STUFEN DER AUTOMATISIERUNG

Erarbeitet durch die Bundesanstalt für Straßenwesen und international übernommen durch die SAE International (Society of Automotive Engineers, auf Deutsch: Gesellschaft der Automobilingenieure)



LEVEL 0:
KEINE AUTOMATISIERUNG
Keine kontinuierlich auf die Fahrzeugführung wirkenden Funktionen. Fahrende steuern immer selbst.



LEVEL 1 UND 2:
ASSISTENZSYSTEME
Assistenzsysteme, die Fahrer oder Fahrerinnen dabei unterstützen, das Fahrzeug sicher zu führen wie Tempomat, Abstands- oder Spurhalteassistent.



LEVEL 3:
AUTOMATISIERTE FAHRSYSTEME
Die Systeme übernehmen phasenweise selbstständig die Fahraufgabe, wobei Fahrer oder Fahrerinnen ständig bereit sein müssen, nach Aufforderung des Systems unverzüglich die Fahrzeugkontrolle wieder zu übernehmen.



LEVEL 4:
AUTONOMES FAHREN
Fahrzeuge können in bestimmten Betriebsbereichen die Fahraufgabe übernehmen, ohne dass Fahrer und Fahrerinnen in der Lage sein müssen, in die Steuerung einzugreifen (Passagierrolle). Ab Level 4 wird von autonomem Fahren gesprochen.



LEVEL 5:
AUTONOMES FAHREN
Fahrzeuge mit Level-5-Systemen können überall fahren, wo normal befähigte Fahrerinnen oder Fahrer typischerweise angemessen fahren können. Passagiere müssen nicht in der Lage sein, die Steuerung zu übernehmen. Gegebenenfalls haben Fahrzeuge kein Lenkrad oder Steuer mehr.

Quelle: Strategie der Bundesregierung für autonomes Fahren im Straßenverkehr

nen dabei helfen, das autonome Fahren schneller in die Anwendung zu bringen. Die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen fasst unter dem Überbegriff Teleoperation zwei Betriebsweisen zusammen: zum einen das Telefahren oder Fernlenken von Fahrzeugen und zum anderen die Teleassistentz für autonome Fahrzeuge durch eine technische Aufsicht.

Das Telefahren kann dauerhaft oder zeitweise erfolgen. Dazu braucht man in einer Leitstelle einen Arbeitsplatz mit Pedalen und Lenkrad sowie eine Verbindung zwischen Fahrzeug und Leitstelle. Für das Telefahren benötigt das Fahrzeug keinerlei Automatisierung. Eine praktische Anwendung wäre zum Beispiel die Zustellung von Car-Sharing- oder Mietautos. Es könnte auch eine Zusatzoption sein, um die Einführung neuer Services rund ums autonome Fahren zu unterstützen.

Die Teleassistentz ist eine dauerhaft vorgeschriebene Rolle in der Autonome-Fahrzeuge-Genehmigungs-und-Betriebs-Verordnung (AFGBV). Diese Verordnung regelt den Betrieb von autonomen Fahrzeugen in Deutschland. Die Teleassistentz ist mit Menschen besetzt, die von einer Leitstelle aus die Automation im Fahrzeug unterstützen,

So könnte ein Arbeitsplatz für Telefahren im öffentlichen Straßenverkehr aussehen. Dabei steuert eine Person ein Fahrzeug vom Leitstand aus.

wenn diese in einer Verkehrssituation nicht weiterweiß. Dazu schauen sich die Operatorinnen und Operatoren die Situation des Fahrzeugs an. Dann schlagen sie Manöver vor oder geben ein vom Fahrzeug vorgeschlagenes Manöver frei, welches das Fahrzeug dann selbst ausführt. Anfragen an die Teleassistentz dürfen allerdings nicht zeitkritisch sein. Das Fahrzeug muss sich bereits in einem sicheren Zustand befinden, also verkehrskonform angehalten oder geparkt sein.

Momentan werden Telefahren und Teleassistentz noch getrennt gesehen. In Zukunft könnte auch die Kombination von beidem sinnvoll sein. Denn wir werden auf längere Zeit noch einen Mischverkehr aus nicht-automatisierten, teilautomatisierten und autonomen Fahrzeugen haben. Die Übergänge zwischen diesen Betriebsweisen muss man gestalten – was technische Aspekte betrifft und die Perspektive der Nutzenden. Die dazugehörige weitere Forschung ist notwendig und vom Gesetzgeber vorgeschrieben. Das DLR ist seit vielen Jahren in diesem Bereich aktiv, mit eigenen Forschungsaktivitäten und in beratender Funktion. Unter anderem haben wir einen Arbeitsplatz für eine technische Aufsicht entwickelt, um Aufgaben der Teleassistentz durchzuführen. Im Fokus steht dabei die Schnittstelle zwischen dem Men-

„Mit dem ‚Remote Operation Workplace‘ gehört das DLR zu den Vorreitern in diesem Bereich. Denn bisher gibt es nur wenige Vorschläge, wie solche Arbeitsplätze gesetzeskonform aussehen könnten.“

Tobias Hesse, DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik

schen, der aus der Ferne bei Bedarf eingreift, und dem autonomen Fahrzeug. Mit dem „Remote Operation Workplace“ gehört das DLR zu den Vorreitern in diesem Bereich. Denn bisher gibt es nur wenige Vorschläge, wie solche Arbeitsplätze gesetzeskonform aussehen könnten.

Wer soll das bezahlen? Oder anders gefragt: Wird sich autonomes Fahren irgendwann lohnen?

Ich würde andersherum argumentieren: Auf längere Sicht werden wir es uns nicht leisten können, unsere Mobilität nicht zu automatisieren. Denn sowohl für unsere Wirtschaft als auch für die gesellschaftliche Teilhabe aller brauchen wir einen leistungsfähigen und attraktiven Personen- und Gütertransport. Aber der Mangel an Fahrerinnen und Fahrern ist jetzt schon deutlich sichtbar. Beide Bereiche können von einer Automatisierung erheblich profitieren. Perspektivisch wird der automatisierte Verkehr nicht nur leistungsfähiger, flexibler und sicherer, sondern auch günstiger sein. Das ist alles eine Frage der Skalierung. So könnten autonome Shuttles und Busse, die vor allem bedarfsgesteuert fahren, die Qualität des öffentlichen Nahverkehrs erheblich verbessern, zu geringeren Wartezeiten, weniger Verkehrsbelastung auf den Straßen und damit auch geringeren Klima- und Umweltwirkungen führen.

Wo werden Deutschland und Europa in zehn Jahren beim Thema autonomes Fahren stehen? Aktuell ist die Entwicklung sehr dynamisch.



Digitale Infrastruktur, wie Sensoren an Ampeln, Straßenlaternen oder Gebäuden, kann autonome Fahrzeuge in komplexen Situationen unterstützen.

Schon in Monaten oder wenigen Jahren können neue große Schritte kommen – ähnlich wie bei der Entwicklung des Smartphones. Hier brachte das erste iPhone von Apple den Durchbruch. Wenn wir das, was wir gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie entwickeln, in die Anwendung bringen, werden wir nicht nur autonomes Fahren auf unseren Straßen haben, sondern auch vermeiden, dass diese Fahrzeuge alle als unverbesserliche „Einzelkämpfer“ unterwegs sind.

Stattdessen werden wir die unterschiedlichsten autonomen, aber miteinander vernetzten Systeme haben: von Lkw über Busse und Pkw bis hin zu Kleinfahrzeugen und Lieferrobotern. Diese Systeme werden stetig weiterlernen sowie untereinander und mit uns Menschen kooperieren. Deshalb sind die Punkte Vernetzung und Interoperabilität so zentral und müssen in unserer Forschung schon von Anfang an mitgedacht und abgebildet werden. Wenn wir die Entwicklung des autonomen Fahrens aus einer übergeordneten Perspektive betrachten, müssen wir für uns als demokratische Gesellschaft die Frage beantworten: Wer soll die dafür benötigten Technologien und Systeme entwickeln und verkaufen – und sind sie dann auch so gestaltet, wie wir das als Gesellschaft wollen und brauchen?

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR. Sie berichtet vorwiegend über die Forschungsbereiche Energie und Verkehr. Als bekennende „Region-Stuttgarterin“ erlebt sie den Wandel der Automotive- und Mobilitätsbranche live vor Ort.





40

Asphalt für Ideen

Auf dem Testfeld Niedersachsen wird autonome Mobilität erforscht und erprobt

Den Wenigsten, die über die A39 bei Braunschweig fahren, wird bewusst sein, dass sie gerade auf einem Forschungstestfeld unterwegs sind. Ungewöhnlich sind vielleicht nur die 71 acht Meter hohen Masten, die den Fahrbahnrand säumen. Ihre Sensoren erfassen anonymisiert alle Fahrzeuge, die sie passieren. Es ist ein Teil des sogenannten Testfelds Niedersachsen, einer bundesweit einzigartigen Modellregion, betrieben vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik. Seit 2020 wird hier auf 280 Kilometern automatisiertes Fahren im realen Straßenverkehr erprobt.

Dabei hilft Virtual Reality: Teile des Testfelds existieren nämlich auch als 3D-Simulation, in der Fahrzeuge oder Technologien zunächst virtuell ausprobiert werden können, bevor sie auf den Asphalt gelangen. Die Daten, die rund um die Uhr vom Testfeld eingehen, dienen beispielsweise als Grundlage, um neue Assistenzsysteme oder Kommunikationstechnologien zu entwickeln. Sie helfen aber auch dabei, die Simulationen zu verbessern, mit denen die Forschenden arbeiten. Das Testfeld kann sowohl von wissenschaftlichen Einrichtungen als auch von Interessenten aus der Industrie genutzt werden.



Entlang der A39 stehen 71 Masten, die mit Sensoren die Verkehrssituation erfassen (oben).

Teile des Testfelds liegen auch als 3D-Simulation vor, wie der Tostmannplatz in Braunschweig (links).

„Der DVR setzt sich für die Verkehrssicherheit auf deutschen Straßen ein. Ergebnisse aus praxisbezogenen Projekten wie dem Testfeld Niedersachsen sind für uns eine gute Grundlage für fundierte Beratung von Politik, Gremien und innerhalb unseres gesamten fachlichen Netzwerks.“

Andrea Kulpe-Winkler,
Deutscher Verkehrssicherheitsrat (DVR) e. V.

„Für zuverlässige Tests von Informations- und Kommunikationstechnologien im Bereich Smart Mobility ist eine Kombination aus Simulation und Versuchsfahrten auf realen Straßen optimal. Dafür haben wir mit dem Testfeld Niedersachsen eine Plattform direkt vor der Haustür.“

Jens Bläschke, OECON Products & Services GmbH

41

Was war:

Im Projekt MAD Urban (Managed Automated Driving) demonstrierte das DLR Ende 2025 erstmals autonomes Fahren mit starker Unterstützung von Infrastruktur: Zwei Sensor-Säulen an einer Kreuzung in Braunschweig erfassten datenschutzkonform die Umrisse von vorbeifahrenden Objekten. Daraus erstellten sie ein Bild der Verkehrssituation. Näherte sich das DLR-Forschungsfahrzeug der Kreuzung, übernahmen die Rechner der Säulen wie Lotsen die Kontrolle, berechneten den sicheren Fahrweg und überwachten die Ausführung der Fahrmanöver. Danach übernahm die Automation des Fahrzeugs wieder die Steuerung.

Was kommt:

Ab 2026 wird das DLR in Braunschweig mit dem Bau eines modularen Remote Operation Centers für Straße, Schiene und Verkehrsmanagement beginnen. Hier wird in Zukunft die Fernüberwachung und -steuerung von Fahrzeugen, die sogenannte Teleoperation, erforscht. Es sollen Arbeitsplätze für verschiedene Automatisierungsgrade und Betriebsmodi zur Verfügung stehen, von der ereignisbasierten Teleassistenz bis zum direkten Fernlenken und -steuern. Ebenso werden hier unter Einbindung des Bedienpersonals neue Konzepte für Leitstände entwickelt und getestet. Die bereits vorhandene Infrastruktur des Testfelds Niedersachsen ist ideal, um die Teleoperation dann auch unter realen Bedingungen zu erproben.

Vom Strom zum Kraftstoff

Die Technologieplattform Power-to-Liquid-Kraftstoffe (TPP)

In Leuna in Sachsen-Anhalt entsteht zurzeit unter der Leitung des DLR-Instituts für Verbrennungstechnik die größte Forschungsanlage für strombasierte Kraftstoffe. Mit dem Power-to-Liquid-Verfahren wird hier zukünftig Strom genutzt, um aus Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff einsatzfähige Kraftstoffe zu generieren. Diese sind für nur schwer elektrifizierbare Bereiche wie Luft- oder Schifffahrt interessant.

Bis zu 2.500 Tonnen Kraftstoff pro Jahr kann die Technologieplattform Power-to-Liquid-Kraftstoffe, kurz TPP, liefern. Baubeginn war 2024, der Start des Forschungsbetriebs ist für 2028 geplant. Das Bundesministerium für Verkehr fördert die Planung, den Aufbau sowie den anschließenden Forschungsbetrieb bis 2035 mit knapp 300 Millionen Euro. Die TPP und ihre Produkte stehen dabei Interessierten aus Forschung, Industrie und Anwendung für ihre Projekte offen.

3

KRAFTSTOFF-AUFBEREITUNG

In der Kraftstoff-Aufbereitung wird das Syncrude aus der Fischer-Tropsch-Synthese zu Kraftstoffen wie Kerosin oder Diesel weiterverarbeitet. Durch ein gezielt angewandtes „Fuel Design“ werden die Zusammensetzung und damit die Eigenschaften der erzeugten Kraftstoffe aktiv beeinflusst. Dies sorgt für ein optimales Verbrenungsverhalten und möglichst geringe Schadstoffemissionen, was letztendlich die Umwelt- und Klimawirkung minimiert.

2

FISCHER-TROPSCH-SYNTHESE

Der knapp 54 Meter hohe Demonstrationsreaktor ist das Herz der TPP. Hier wird das aus Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff bestehende Synthesegas in ein synthetisches Rohöl, genannt Syncrude, umgewandelt. Die Zusammensetzung des Syncrudes kann über Parameter wie Druck, Temperatur, verschiedene Katalysatoren oder Aufenthaltszeit beeinflusst werden.

FORSCHUNGSGEBÄUDE

Im Forschungsgebäude soll eine TPP im kleinen Maßstab entstehen. Mithilfe der dort aufzubauenden Versorgungsinfrastruktur können innovative Verfahren getestet und so auf dem Weg vom Labor in die industrielle Anwendung unterstützt werden.

1

REVERSE WASSERGAS-SHIFT-REAKTION

Im ersten Verfahrensschritt, der reversen Wassergas-Shift-Reaktion, werden Wasserstoff und Kohlendioxid in ein sogenanntes Synthesegas, bestehend aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid, umgewandelt. Als Nebenprodukt fällt Wasserdampf an.

SCHALTANLAGE

Die Schaltanlage ist der zentrale Baustein für die Energieversorgung der TPP. Transformatoren wandeln hier den elektrischen Strom auf die benötigten Spannungsniveaus der einzelnen Anlagenteile um.

TANKLAGER

Hier lagern die erzeugten Kraftstoffe, bis sie für Forschungszwecke verwendet werden.

CO₂-SPEICHER

Kohlenstoffdioxid wird in flüssiger Form an der TPP angeliefert und zwischengespeichert. Es erfüllt die Nachhaltigkeitsanforderungen für erneuerbare Kraftstoffe und stammt aus einer biogenen Quelle.

NACHVERBRENNUNG

In der Nachverbrennung werden Abgasströme, die nicht in der Anlage weiterverwendet werden können, verbrannt. So werden Emissionen minimiert und gesetzliche Grenzwerte eingehalten.

Hier geht es
direkt zur
Technologie-
plattform



„Keine Pause im Cockpit“

Interview mit Dr. Anneke Hamann vom DLR-Institut für Flugführung

Die Fragen stellte Andrea Haag.



Anneke Hamann (rechts) erforscht, wie sich der mentale und körperliche Zustand von Pilotinnen und Piloten erfassen lässt. Dabei kommt unter anderem die Elektroenzephalografie (EEG) zum Einsatz.

Bild: DLR

Pilotinnen und Piloten haben einen höchst anspruchsvollen Job mit enormer Verantwortung. Sie müssen in kurzer Zeit viele Entscheidungen gleichzeitig treffen. Dr. Anneke Hamann forscht daran, wie sich der mentale und körperliche Zustand von Pilotinnen und Piloten erfassen und interpretieren lässt. Die Idee ist es, anhand von Gehirndaten, Herzfrequenz, Atmung oder anderen physiologischen Signalen Zustände wie Müdigkeit und Erschöpfung zu erkennen – bevor es kritisch wird.

Frau Hamann, wie gehen Sie dieses komplexe Thema an?

Zunächst fragen wir uns, welche Zustände bei Pilotinnen und Piloten überhaupt relevant sind. Dazu gehören mentale Beanspruchungen, also als wie schwierig eine Aufgabe empfunden wird, Stress, Zeitdruck, Schläfrigkeit oder Erschöpfung. Aber auch körperliche Faktoren können eine Rolle spielen, etwa wenn jemand einfach einen schlechten Tag hat oder sich unwohl fühlt.

Welche Methoden und Werkzeuge kommen zum Einsatz?

Im Mittelpunkt stehen vor allem kognitive Prozesse – also das, was im Kopf passiert, wenn Informationen aufgenommen, verarbeitet und in Handlungen umgesetzt werden. Um sie messbar zu machen, nutzen wir Verfahren wie die Elektroenzephalografie, kurz EEG. Dabei werden Elektroden auf der Kopfhaut angebracht, die elektrische Signale messen. Wenn viele Nervenzellen gleichzeitig aktiv sind, entsteht ein messbares Muster. So können wir herauslesen, in welchen Bereichen das Gehirn gerade wie stark arbeitet – also ob jemand hochkonzentriert, gestresst oder vielleicht schon ermüdet ist.

Wir haben das EEG mit einer zweiten, ergänzenden Methode kombiniert: der funktionellen Nahinfrarotspektroskopie, kurz fNIRS. Dabei wird Licht im Nahinfrarot-Bereich über die Kopfhaut ins Gehirn geleitet. Man kann sich das ein bisschen so vorstellen, wie wenn man als Kind mit einer



Taschenlampe durch seinen Finger geleuchtet hat und Blutgefäße sehen konnte. Anhand der Lichtabsorption lässt sich erkennen, wie viel sauerstoffreiches und -armes Blut gerade vorhanden ist, wie sich dieses Verhältnis über die Zeit ändert – und damit, wie stark das Gehirn aktiv ist. Denn je mehr es arbeiten muss, je schwieriger die Aufgabe ist, desto mehr Energie braucht unser Gehirn.

Kann man auch an anderen Parametern als der Gehirnaktivität etwas über die Verfassung einer Person ablesen?

Ja, absolut. Wir beobachten zum Beispiel auch das Verhalten. Dabei helfen uns Eye-Tracker, die uns zeigen, wohin die Versuchspersonen blicken und wie lange sie die Informationen betrachten. Ergänzend werden körperliche Parameter wie Herzfrequenz, Atmung oder Hautleitfähigkeit gemessen. All diese Daten ergeben zusammen ein möglichst vollständiges Bild des mentalen und körperlichen Zustands.

Und finden diese Experimente in der Luft statt?

Meistens testen wir in Flugsimulatoren, wo realistische, aber kontrollier- und wiederholbare Szenarien geschaffen werden können. So lässt sich gezielt untersuchen, wie Pilotinnen und Piloten in anspruchsvollen Situationen reagieren – und welche Signale

Im Versuchsaufbau kommen auch Eye-Tracker (links) zum Einsatz, die die Blickrichtung der Probandinnen und Probanden erfassen. So weiß man, wie lange Informationen im Cockpit betrachtet werden.

darauf hindeuten, dass ihre Belastungsgrenze erreicht ist. Durch diese Kombination aus moderner Technik und psychologischer Beobachtung entsteht ein immer genaueres Verständnis davon, wie der Mensch im Cockpit funktioniert.

Pilotinnen und Piloten könnten zukünftig von entsprechenden Assistenzsystemen unterstützt werden. Was sollte ein solches System können?

In unserer Idealvorstellung haben wir ein Messsystem, das unauffällig und zuverlässig ist, am Körper anliegt und nicht stört. Sensoren könnten dabei kontinuierlich die erhobenen Daten an ein Assistenzsystem übermitteln. Dieses würde dann erkennen, wie es der Person gerade geht, und entsprechend reagieren – etwa, indem es Warnungen gibt, Informationen anpasst oder temporär Routineaufgaben übernimmt.

Spielen Design und Komfort der Messgeräte eine Rolle dabei, inwieweit die Versuchspersonen die Messungen tolerieren?

Überraschenderweise spielt das Aussehen der Messgeräte kaum eine Rolle – wichtiger ist, dass sie bequem sind. Gerade im militärischen Bereich ist die Ausrüstung ohnehin umfangreich, da fallen zusätzliche Sensoren kaum auf. Entscheidend ist, dass sie einfach integriert werden können, einfach



Die Versuche zur Zustandserfassung finden in der Regel in Flugsimulatoren statt (Mitte und rechts). Unter realistischen Bedingungen, aber ohne Risiko. Das Ziel: verstehen, wie der Mensch im Cockpit funktioniert.

anzulegen sind und die Bewegungsfreiheit nicht einschränken. Dann steigt auch die Akzeptanz.

Wer entscheidet, welche Daten erhoben und wie diese ausgewertet werden?

Derzeit entscheide ich als Forscherin selbst, welche Daten erhoben und ausgewertet werden. Im Rahmen meiner wissenschaftlichen Arbeit passiert das aber immer unter Aufsicht einer Ethikkommission. Jede Untersuchung wird geprüft, um sicherzustellen, dass die Teilnehmenden geschützt sind und die Forschung verantwortungsvoll abläuft. Ich finde es wichtig, dass jemand der Wissenschaft auch mal auf die Finger schaut.

Spannend wird es, wenn solche Systeme eines Tages tatsächlich im Flugzeug eingesetzt werden. Dann müssen klare Regeln gelten. Die Pilotinnen und Piloten müssen sich darauf verlassen können, dass die Daten

nicht für jedermann zugänglich sind und ausschließlich ihrem Wohl dienen, etwa zur Sicherheit oder Unterstützung im Flug. Arbeitgeber oder Dritte dürfen keinen Zugriff auf persönliche Leistungsdaten haben, damit Missbrauch oder unfaire Leistungsbewertungen verhindert werden.

Wie realistisch ist es, dass solche Systeme in den nächsten 20 Jahren in der zivilen Luftfahrt Standard werden?

Ich halte Systeme für realistisch, die spezifische Zustände wie Stress, Müdigkeit oder Überlastung erkennen – und frühzeitig reagieren, bevor die Handlungsfähigkeit abnimmt. Es geht also nicht darum, das Denken oder Entscheidungen zu übernehmen, sondern Menschen in anspruchsvollen Situationen gezielt zu unterstützen.

Andrea Haag ist Online-Redakteurin in der DLR-Kommunikation und fasziniert vom Thema Mensch-Maschine-Interaktion. Die ethischen Fragestellungen im Interview inspirierten sie zu weiteren Geschichten.

DR. ANNEKE HAMANN

...ist Wissenschaftlerin am DLR-Institut für Flugführung in Braunschweig. Nach dem Studium der Psychologie in Jena und Dresden kam sie 2018 zum DLR, wo sie anfangs in einem Projekt zur Fernüberwachung von Flughäfen mitarbeitete. Sie hat zur neurophysiologischen Operateurs-Zustandserfassung promoviert und führt das Thema sowohl in zivilen als auch militärischen Projekten fort.

Sicher abgesetzt

Was auf den ersten Blick wirkt wie eine spezielle Form der Paketanlieferung, ist ein wichtiger Schritt im DLR-Projekt Swarming, in dem Technologien und Algorithmen entwickelt werden, um ganze Schwärme von unbemannten Flug- und Bodenfahrzeugen aus einer zentralen Leitstelle heraus koordiniert zu steuern. In dem hier fotografierten Flugversuch in Cochstedt haben die DLR-Forschenden gezeigt, dass die Absetzautomatik einer Drohne aus einer Box funktioniert und dass Hubschrauber, Box und abgeworfene Drohne miteinander kommunizieren können. Nach diesem Erfolg sollen die Technologien nun in weiteren Tests zum Einsatz kommen, um mehrere Drohnen gleichzeitig abzusetzen und zu kontrollieren. Der Einsatz unbemannter Fahrzeuge, die zentral gesteuert werden, ist vor allem in Krisensituationen relevant, in denen beispielsweise Rettungskräfte nicht oder nur unter Einsatz ihres eigenen Lebens zum Ort des Geschehens vordringen können, etwa bei Naturkatastrophen.



Alle Infos zum
DLR-Projekt
Swarming

Universum im Inneren des Atoms

Das Wahrzeichen Brüssels – früher und heute

von Michael Müller

Der Panoramablick fällt durch ein sepia-foliertes Fenster auf den charakteristischen Zentralbau der Brüsseler Messe. Eine silberglänzende Riesenkugel rückt in den Fokus. Die untergehende Herbstsonne tut ihr Übriges, um die Szenerie surreal wirken zu lassen – als wäre ein Raumschiff dabei, neben einem Azteken-tempel zu landen. Willkommen im Atomium, einem Ausstellungsgebäude, das selbst ein Kunstwerk ist.

Vom Symbol zur Ikone

Die Erkundung beginnt in einer Dauerausstellung, die sich über zwei Ebenen er-

streckt und die Geschichte des Atomiums im Kontext der Weltausstellung 1958 erzählt. Ähnlich wie der Eiffelturm war auch der belgische Expo-Beitrag als Provisorium geplant. Das Ende des 19. Jahrhunderts errichtete Wahrzeichen von Paris markierte den Beginn des elektrischen Zeitalters, der Bau des Atomiums knapp 70 Jahre später fiel zeitlich zusammen mit dem Start der zivilen Kernenergienutzung – Aufbruchsstimmung in beiden Fällen. Eine weitere Gemeinsamkeit zwischen dem Pariser und dem Brüsseler Wahrzeichen: Nach Ende der Weltausstellungen hatte die jeweilige Bevölkerung diese technoid-futuristischen Unikate so liebgewonnen, dass an den ur-



Einblick in die erfolgreiche Wechselausstellung „Crossing“

sprünglich geplanten Rückbau nicht zu denken war. Mit der Zeit aber korrodierte die Außenhaut. Zu Beginn der Nullerjahre wurde deshalb eine aufwändige Restaurierung durchgeführt und die Verkleidung der Kugeln komplett gegen rostfreien Edelstahl ausgetauscht – auch dieses „Make-over“ ist Gegenstand der Dauerausstellung. 2026 feiert das Atomium den 20. Jahrestag seiner Wiedereröffnung.

Auf verschlungenen Wegen

Eine gefühlt unendlich lange Rolltreppe stimmt auf die nun folgenden künstlerischen Licht- und Klanginstallationen ein. Bei dem Übergang zwischen den Elementarteilchen ist man ganz im Dunkeln, umgeben nur von sphärischen Klängen und einzelnen pulsierenden Lichteffekten.

Seit 2013 gibt das Atomium Künstlerinnen und Künstlern im Rahmen von Wechselausstellungen freie Hand, in einem Teil der Kugeln Projekte zu realisieren, welche die Einzigartigkeit dieses Weltkulturerbes feiern. Seit 2023 fokussiert man in diesem Kontext voll und ganz auf digitale Kunst: immersive Installationen sowie Live Performances.

Das französische Künstlerkollektiv Visual System hat zum Beispiel für die zentrale Kugel eine permanente Installation entworfen – einen fast schon psychedelischen „Lichtpilz“ mit wechselnden Lichteffekten in Rotation um einen zentralen Zylinder, umgeben von

Skulpturenbanken. Hier kann man sich etwas ausruhen, bevor man die nächsten Ausstellungskugeln erkundet.

Oder man macht es ganz anders, fährt mit dem Aufzug aus dem Erdgeschoss direkt an die Spitze des Atomiums und gibt sich währenddessen der Installation „Look up“ hin. Oben angekommen, hat man aus 92 Metern Höhe Aussicht bis hin zum knapp zehn Kilometer entfernten Stadtzentrum der europäischen Metropole.

Was kommt als Nächstes?

Seit dem 14. Februar dieses Jahres locken zwei neue temporäre Ausstellungen: „Nimbus“ (von dem bereits erwähnten Visual System) und „Supply Chain“ (von dem französischen Künstler Romain Tardy).

Generell lässt sich sagen, dass alle Licht- und Klanginstallationen des Atomiums den denkbar größten Bogen schlagen. Wenn man sich darauf einlässt, überschreitet man eine unsichtbare Grenze, begibt sich auf eine Reise durch den Raum, vergisst dabei die Zeit. Gleichgültig bleiben kann man hier nicht. Deshalb die klare Empfehlung: Hingehen – am besten am frühen Vormittag, da ist der Besucherandrang weniger stark – und Eintauchen in Vergangenheit und Gegenwart dieses übergroßen Eisenkristalls.

Michael Müller, Redakteur in der DLR-Kommunikation, verbringt gerne Zeit in Brüssel und ist froh, jetzt das Atomium auch von innen gesehen zu haben.



ATOMIUM BRÜSSEL

Adresse

Place de l'Atomium 1/
Atomiumplein 1,
1020 Brüssel, Belgien

Öffnungszeiten:

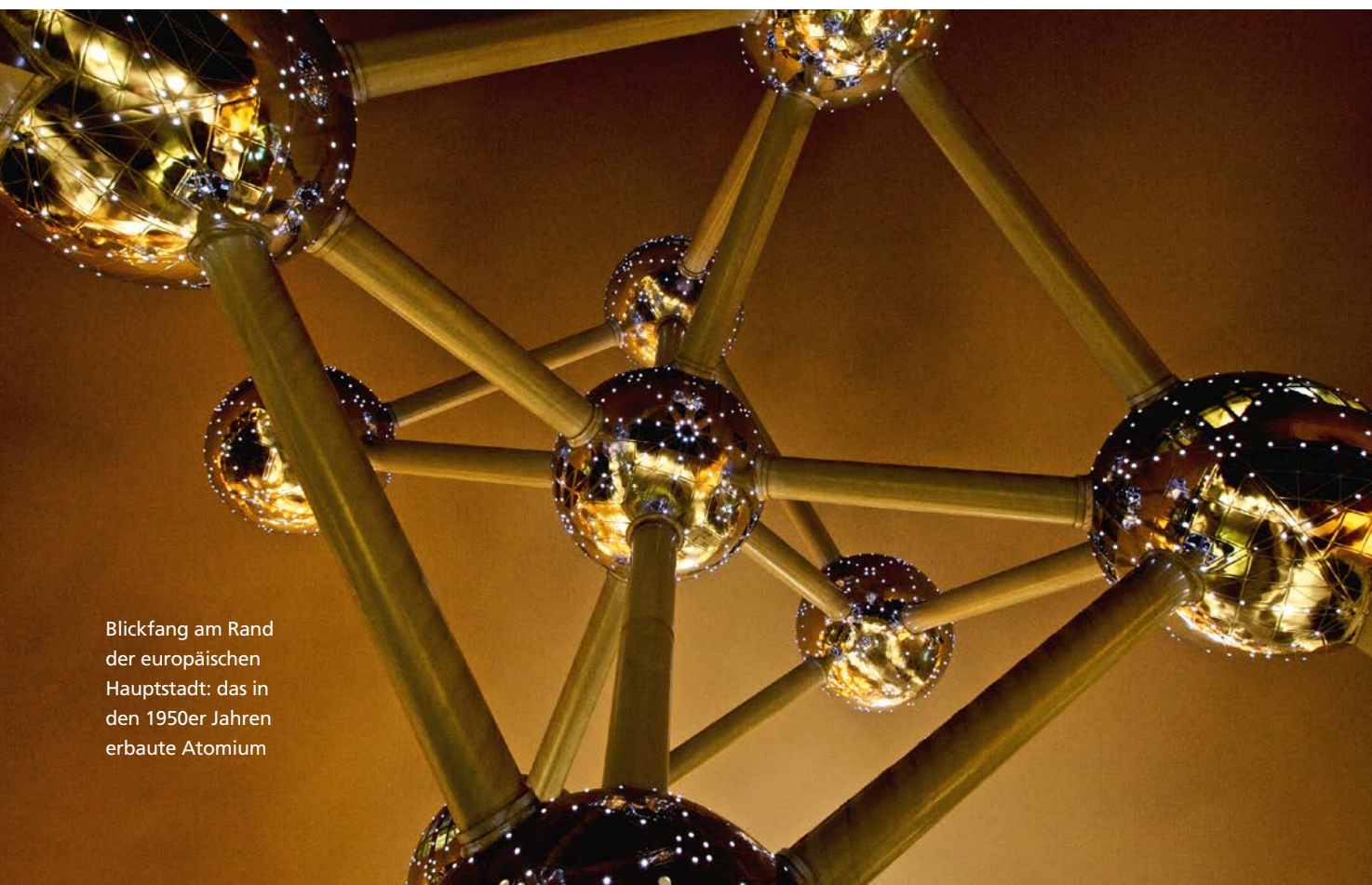
Mo–So: 10–18 Uhr
(letzter Einlass: 17:30 Uhr)
Online-Ticketreservierung (empfohlen)
atomium.be/tickets

Eintrittspreise:

Erwachsene: 16 Euro
Unter 18 Jahre und
Studierende: 8,50 Euro
Kinder bis 115 cm:
freier Eintritt



Webseite des
Atomiums



Blickfang am Rand der europäischen Hauptstadt: das in den 1950er Jahren erbaute Atomium

Bilder: S. 50 asbl Atomium – Axel Addington; S. 51 asbl Atomium – Lio Photography

Auf die Haltung kommt es an

Wintersportler im Göttinger Windkanal

von Dr. Jessika Wichner

Im Januar 1927 erreichte die Aerodynamische Versuchsanstalt (AVA) in Göttingen, eine der Vorgängerorganisationen des heutigen Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, eine ungewöhnliche Anfrage. Fragesteller war der Schweizer Ingenieur Reinhard Straumann (1892-1967), der sich erkundigte, ob es möglich sei, die aerodynamischen Verhältnisse beim Skisprung unter Laborbedingungen zu untersuchen, um die optimale Haltung eines Skispringers und die beste Flugkurve zu ermitteln. Die AVA reagierte prompt und teilte Straumann mit, dass entsprechende Untersuchungen im Windkanal vorgenommen werden könnten, vorausgesetzt, er liefere ein geeignetes Modell.

Bereits wenige Wochen später erhielten die Göttinger Forscher ein Paket, in dem sich eine rund 50 Zentimeter große Holzpuppe und ein Paar maßstabsgetreue Skier befanden. Die Holzpuppe war auf Hüfthöhe mit einem Gelenk ausgestattet, mit dem der Oberkörper in verschiedene Positionen gebracht werden konnte. Um ihr ein möglichst realitätsgetreues Aussehen zu verpassen, wurde sie in Göttingen liebevoll mit Stoff umpolstert – und schon war das Modell einsatzbereit.

Tief in die Hocke

Im Windkanal I, in dem normalerweise Modelle von Flugzeugen, Automobilen, Schienenfahrzeugen und Schiffen auf ihre aerodynamischen Qualitäten hin untersucht wurden, baumelte nun das Holzpuppenmodell, das aus Stabilitätsgründen mit dem Kopf nach unten aufgehängt worden war. In mehreren Versuchen bestimmten die Göttinger Forscher

akribisch Auftrieb und Widerstand in verschiedenen Körperhaltungen und sandten die Ergebnisse an Straumann.

Dieser studierte die Messdaten sorgfältig und veröffentlichte noch im gleichen Jahr in der Zeitschrift des Schweizer Skiverbands einen Artikel mit dem Titel „Vom Skiweitsprung und seiner Mechanik“. Darin empfahl er Skispringern, beim Anlauf möglichst tief in die Hocke zu gehen. Im Absprung selbst sollte der Oberkörper dann schnell nach vorne gestreckt werden, um im Flug eine leicht gerundete Form anzunehmen, ähnlich wie die Tragfläche eines Flugzeugs in der Querschnittsansicht.

Tatsächlich halfen die Untersuchungen im Göttinger Windkanal, die Sprungweite sukzessive zu erhöhen, und bis heute ist die 1927 ermittelte optimale Haltung des Oberkörpers bei Skispringern deutlich zu erkennen.

Sprungschancen besser bauen

Straumanns Interesse am Skispringen reichte jedoch noch weiter. Auf Basis der Göttinger Messdaten entwickelte er in der Folgezeit auch Empfehlungen für den Bau von Sprungschancen und wurde als technisches Mitglied in den Internationalen Ski-Verband aufgenommen. Die für die Olympischen Winterspiele 1955 konstruierte Sprungschanze Italia im italienischen Cortina d'Ampezzo basiert auf einem Entwurf Straumanns. Heute wird die Sprungschanze nicht mehr für Wettbewerbe genutzt, da Italien über zwei modernere Anlagen verfügt. Sie ist aber immer noch ein populäres Ausflugsziel, denn hier

Skispringermodell
im Windkanal I der
Aerodynamischen
Versuchsanstalt
in Göttingen im
Jahr 1927

Der Windkanal I der
Aerodynamischen
Versuchsanstalt
(AVA) wurde 1917 in
Betrieb genommen.
In ihm konnten
Geschwindigkeiten
bis 58 Meter pro
Sekunde erreicht
werden.

Bilder: DLR

ÜBER DIE RUBRIK

Im Zentralen Archiv des DLR lagern mehr als 50.000 Dokumente. Hier begeben wir uns auf Spurensuche, mitten hinein in die Flut von Bildern, Schriftstücken, Urkunden und Texten. In dieser Folge schauen wir uns an, wie Wintersportler im Göttinger Windkanal zu optimaler Haltung fanden.

Untersuchung eines Abfahrtsläufers im Drei-Meter-Windkanal in Göttingen in Vorbereitung auf die Olympischen Winterspiele 1976

Heute nutzt der Deutsche Skiverband das Audi-Windkanal-Zentrum in Ingolstadt, um seine Athletinnen und Athleten optimal auf Wettkämpfe vorzubereiten.



Sportlerinnen und Sportler sowie ihr Equipment direkt im Windkanal untersuchen lassen. Der Drei-Meter-Niedergeschwindigkeitswindkanal in Göttingen bot sich für diesen Zweck an, so dass die für die Olympischen Spiele nominierten deutschen Athletinnen und Athleten im Vor-Olympia-Jahr anreisen und in einem intensiven Versuchsprogramm vermessen wurden. Die Untersuchungen zahlten sich aus: Die Abfahrtsläuferin Rosi Mittermaier gewann im Folgejahr zwei Goldmedaillen und eine Silbermedaille in verschiedenen Disziplinen.

Bis heute nutzen Spitzensportlerinnen und Spitzensportler Windkanäle, um ihre Haltung zu optimieren und um neues Equipment auf seine aerodynamischen Qualitäten hin zu testen. Der Drei-Meter-Windkanal in Göttingen steht für diesen Zweck jedoch nicht mehr zur Verfügung. Er wurde bereits vor vielen Jahren zu Gunsten eines moderneren Niedergeschwindigkeitswindkanals am DLR-Standort Braunschweig stillgelegt. Wo sich einst die Wintersportlerinnen und Wintersportler durchpusten ließen, wuseln heute Schulklassen herum, die im DLR_School_Lab Göttingen zu Gast sind. Sie können in dem stillgelegten Windkanal lernen, wie solche Versuchsanlagen funktionieren.

Jessika Wichner dreht lieber an der Rollregalanlage als auf Skiern zu stehen und findet so im Zentralen DLR-Archiv immer wieder überraschende Zeitzeugnisse, die bis heute eine Relevanz haben.

Bilder: DLR (oben), Audi AG (unten)

wurden einige Szenen aus dem bekannten James Bond Film „In tödlicher Mission“ aus dem Jahr 1981 gedreht.

Die Suche nach der richtigen Haltung und wind-schnittigem Equipment, das Leistungssportlerinnen und -sportlern einen Vorsprung vor ihrer Konkurrenz sichern sollte, setzte sich auch nach Straumanns Ausscheiden aus dem Internationalen Ski-Verband fort. So trat der Deutsche Skiverband 1975 an die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) heran und bat um Hilfe.

Auf dem Weg zur Goldmedaille

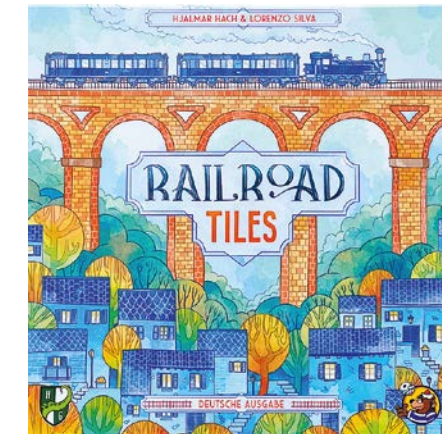
In Vorbereitung auf die Olympischen Winterspiele 1976 wollte der Deutsche Skiverband seine

Malerisches Schienennetz

Bereit für ein kleines Experiment? Ich nenne zwei Begriffe und Sie entscheiden spontan, welcher sich für Sie besser anfühlt. In Ordnung? Erster Begriff: Schienennetz. Alles klar? Zweiter Begriff: Belgische Schokolade. Nun? Was spricht Sie mehr an? Wie bitte? Sie finden das etwas unfair? Sie denken, Verkehrsplanung ist so ungefähr das Ungemütlichste, das Ihnen einfällt? Vielleicht sollten Sie weiterlesen, denn offenbar kennen Sie **Railroad Tiles** noch nicht.

Eine Welt aus Wasserfarbe

Um der Wahrheit die Ehre zu geben: Die Welt des Legespiels Railroad Tiles, erschienen bei **Heidelbär Games**, erinnert nicht zwangsläufig an die Realität des deutschen Nahverkehrs. Oder wann waren Sie zuletzt entzückt beim Anblick einer einfahrenden Lok? Wann wurde Ihnen warm ums Herz beim Betrachten einer sich durch die Landschaft schlängelnden Schiene? Bei Railroad Tiles passiert das unweigerlich. Da wandert der Blick unablässig über eine mit Wasserfarben zart kolorierte Landschaft, die sich Plättchen für Plättchen weiter über den Tisch erstreckt. Da zieht man Städte, Gleise, Straßen und Bäume aus einem geschmeidigen blauen Stoffsäckchen, fügt sie wie ein Puzzle zusammen und freut sich, wenn man neben den Verkehrsrouten Teiche und Parkbänke entdeckt. Neben den Welten, die jeder Spieler und jede Spielerin für sich baut, liegt ein großes Bahnhofstableau auf dem Tisch – durch den Wartesaal wandern jede Runde Wertungsplättchen, die es erlauben, kleine Holz-Dampflok, Autos und Fahrgäste auf dem wachsenden Spielplan zu platzieren.



Was für Auge und Gehirn: Das Legespiel Railroad Tiles eignet sich für große und kleine Spielefans.



Strategie zählt sich aus

Bei aller Beschaulichkeit darf man Railroad Tiles aber nicht unterschätzen. Es ist vor allem ein durchdachtes Strategiespiel. Es gilt, Städte zu bauen und möglichst gut zu verbinden, Aufgaben zu erfüllen und lose Enden zu vermeiden. Platzierte Figuren geben besonders viele Punkte, wenn sie mit anderen per Schiene oder Straße vernetzt sind. Im Gegensatz zu anderen Legespielen wie Carcassonne werden die Plättchen nicht zufällig gezogen, sondern mehrere Sets an Plättchen liegen offen aus. Entscheidet man sich für das eine, erhalten die Gegner Zugriff auf die anderen. Nicht gewählte Sets werden mit Bonuspunkten belegt und so von Runde zu Runde attraktiver – und wer das kleinste Set wählt, ist in der nächsten Runde zuerst dran ...

Gute Planung ist (nicht) alles

Railroad Tiles ist ebenso meditativ wie spannend. Es belohnt kluge Planung, bleibt dabei aber immer überschaubar. Das macht es zu einem idealen Einstiegsspiel. Es ist leicht erlernbar und eignet sich prima für Kinder ab acht. Die Freude ist groß, wenn am Ende die Planung aufgeht und man mehr Punkte erreicht als die Mitspielenden. Aber auch wenn man verliert, kann man beim Anblick der wunderschönen pastellfarbenen Landschaft vor sich kaum böse sein. Irgendwie fühlt es sich nämlich an, als hätte man das alles selbst gemalt.

Philipp Czogalla ist Institutskommunikator im DLR. Ihm ist klar, dass die große Zeit der Eisenbahnromantik vorbei ist. Trotzdem ist er überzeugt, dass ein schöner Wartesaal auch heute noch möglich sein müsste.



Der Mond zum Greifen nah

Martin Nusch, seit vielen Jahren Radioreporter beim WDR, schafft es, in seinem Buch **111 Orte auf dem Mond, die man gesehen haben muss (Emons)** auf wenig Raum unglaublich viele Fakten und ebenso viele Funfacts rund um die Themen Mond, Raumfahrt und Astronomie unterzubringen.

Gegliedert ist das Buch in 111 Kapitel, die sich jeweils einem Ort auf dem Mond widmen. Einige behandeln aber auch Orte auf der Erde, die in Verbindung zum Mond stehen, wie Sternwarten oder Raketenstartplätze. Ergänzt wird das Ganze durch zwei Mondkarten (eine von der Vorder- und eine von der Rückseite), Landkarten von der Erde sowie ein umfangreiches Register, das das Nachschlagen von Themen erleichtert. So bietet das Buch in kompakter Form eine enorme Bandbreite an Wissen über unseren ständigen Begleiter.

Auch wenn momentan alles darauf hindeutet, dass in naher Zukunft wieder Menschen den Mond betreten werden, wird es auch dann nur Wenigen vorbehalten sein, dies wirklich zu tun. Mit diesem Mondreiseführer kann sich jede Leserin und jeder Leser auf eine lunare Gedankenreise begeben.

Elke Heinemann



Wenn falsch genau richtig ist

Selma ist keine gewöhnliche Spinne. Während ihre Artgenossinnen fleißig Fliegen fangen, spinnt sie ihre Netze, um die Pracht des Universums einzufangen. Und so muss sich die kleine Protagonistin in **Tini Malinas** 2025 erscheinendem Bilderbuch den titelgebenden Satz **Selma, du machst das falsch! (Nord Süd)** immer wieder anhören.

Die Sprache in diesem mit dem Kinder- und Jugendbuchpreis „Luchs“ ausgezeichneten Bilderbuch ist einfach gehalten – kurz, warmherzig und einfühlsam; gut geeignet für Kinder ab etwa vier Jahren und fürs Vorlesen am Abend. Die Illustrationen lenken minimalistisch und mit reduzierter Farbpalette den Blick über die doppelseitigen Visualisierungen von Selmas Weg auf großen DIN-A4-Seiten.

Tini Malinas zeichnet auf empathische Art und Weise Selmas Weg. Sie zeigt mit ihrer Geschichte, wie wertvoll Andersartigkeit und das Sich-treu-bleiben sind, macht aber auch deutlich, dass es eine gewisse Einsamkeit durchzuhalten gilt. Das symbolische Ende wird nicht nur Kinder, sondern auch Erwachsene zur gemeinsamen Interpretation und zum Nachdenken anregen.

Philipp Burtscheidt

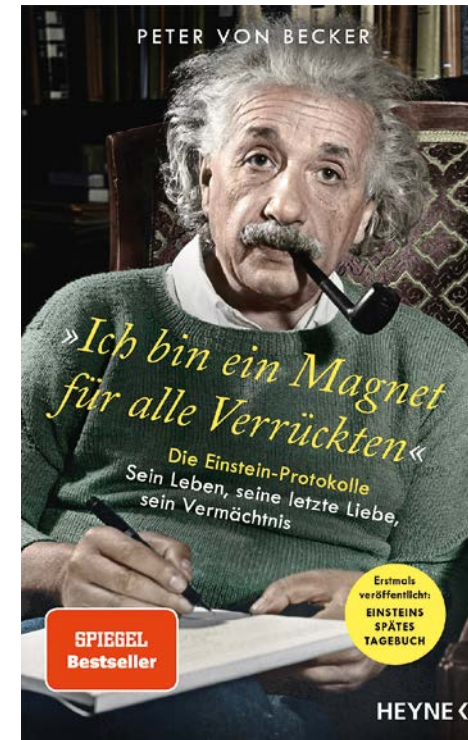


Ideen, die Hoffnung machen

Was lässt uns mit Zuversicht in die Zukunft blicken, wenn die Herausforderungen und Aufgaben unlösbar scheinen? Es sind mutige, kluge und innovative Menschen, die Technologien und Entwicklungen vorantreiben. Das zeigt **Jacob Beauteemps**, Wissenschaftsinfluencer und Youtuber, in seinem Buch **Unsere Zukunft neu denken – Innovationen, die unser Leben besser machen (S. Fischer)**. DNA-Origami, ein gigantisches Höhenwindrad, Vertical Farming und KI-Technologien – all das könnte zum essenziellen Bestandteil unserer Zukunft werden.

Beauteemps erklärt die Ansätze allgemeinverständlich, lebendig und prägnant, wie man es von seinem Youtube-Kanal „Breaking Lab“ gewohnt ist. Dabei nimmt er insbesondere fünf Bereiche in den Blick: die Bekämpfung von Krankheiten, die Energieversorgung der Zukunft, das Speichern von CO₂, die Welternährung und die Chancen und Risiken durch die Nutzung von KI. Ein Buch, das Lust macht auf den Blick nach vorne!

Simon Mechenbier



Das Phantom hat mitgeschrieben

Sie war die letzte Frau an der Seite von Albert Einstein, ihr Name: Johanna Fantova. Einstein hatte in den letzten Jahren vor seinem Tod jeden Abend mit ihr telefoniert – und sie hat fein säuberlich mitgeschrieben. **Peter von Becker** nennt sie „das Phantom“. In seinem Buch **„Ich bin ein Magnet für alle Verrückten“ – Die Einstein-Protokolle (Heyne)** veröffentlicht und kommentiert er ihre Notizen.

Im April 2004 entdeckte der Historiker Alfred Bush in der Firestone Library der Universität Princeton, wo Einstein bis zu seinem Tod lebte und forschte, zwei Kisten im Nachlass seiner Bibliothekskollegin Johanna. Darin ein Stapel mit 62 maschinengeschriebenen Blättern, dazu eine 12-seitige Einführung für eine von ihr erhoffte Buchausgabe – zu der es nie kam.

Mal ehrlich, das Liebesgeflüster mit einem der berühmtesten Menschen des 20. Jahrhunderts protokollieren? Egal, endlich mal was Neues von Einstein, es gibt ja schon unzählige, gute und weniger gute Biografien und Abhandlungen über ihn. Die Gespräche geben einen Einblick in Einsteins Denken und Wirken, abseits des Bilds eines rührigen, weltentrückten Professors. Kein „Liebes Tagebuch“, wie Peter von Becker schreibt, sondern „Protokolle eines allabendlichen Rituals“.

Peter von Becker nennt zunächst Hintergründe, Historisches und Biografisches. Es ist ein Sprung in Einsteins Geschichte, sein Wirken im Berlin der 1920er-Jahre, erste Begegnungen mit der Familie von Johanna Fantova, Berühmtheit und Anfeindungen in Deutschland, schließlich das Exil im „Krähwinkel“ Princeton,

dem „amerikanischen Weimar“. Dazu einige „Intermezzi“, wie von Becker sie nennt, in denen er seine Recherchen vor Ort beschreibt, seine Treffen mit dem letzten lebenden Einstein-Freund Gillet Griffin oder wie der Mossad Einsteins Nachlass in einer Nacht-und-Nebel-Aktion nach Tel Aviv brachte.

Dann die Telefonate: Einstein redet über Gott und die Welt und ganz unsentimental über sein Ende. Meist umfassen die Notizen vom 14. Oktober 1953 bis 12. April 1955 nur einige Zeilen. Es sind Monologe, Johanna Fantova kommt fast nie zu Wort. Sie zeigen eine offene, kritische und menschliche Seite von Einstein. Er spricht über Weltpolitik, den Kalten Krieg und das Wettrüsten, über die Liebe, seine jüdische Identität, seine Suche nach der Weltformel. Oft politisierend, manchmal grummelig, vereinzelt sogar frivol, aber stets treffend und mit einem durchaus bissigen Humor. Einstein reflektiert über die täglichen Begegnungen mit dem Who's Who der damaligen Wissenschaft, den Nachwehen des Manhattan-Projects zum Bau der Atombombe, sein tiefgründiges Engagement gegen Rassismus und seine bleibenden Vorbehalte gegenüber Deutschland. Als „Magnet für Verrückte“ fühlt er sich als Fremder unter Gleichen. Ob Einstein von den Mitschriften wusste, ist nicht bekannt. Vermutlich wäre es ihm auch egal gewesen – er soll ohnehin immer offen gesagt haben, was er dachte.

Ein Buch, das (hoffentlich) zum Nachdenken anregt, denn Einsteins Reflexionen haben heute eine ungeahnte Aktualität. Er sah den Sinn seiner Arbeit auch für spätere Generationen: „Ja, ich bin ein alter Revolutionär (...), aber politisch bin ich immer noch ein feuerspeiender Vesuv“. Albert Einstein bleibt hintergründig, unvollendet und ... isoliert – oder wie er sagte: „Es sind doch so wenige, die mich wirklich kennen.“

Jens Mende, DLR-Standortkommunikation, ist als Bewunderer Albert Einsteins dankbar für die gemeinsame Gnade der schwäbischen Geburt.



Die Gründer von HyImpulse (v.l.): Mario Kobald, Christian Schmierer, Ulrich Fischer, Konstantin Tomilin

Aufbruch ins All

HyImpulse will die europäische Raumfahrt unabhängig machen

58

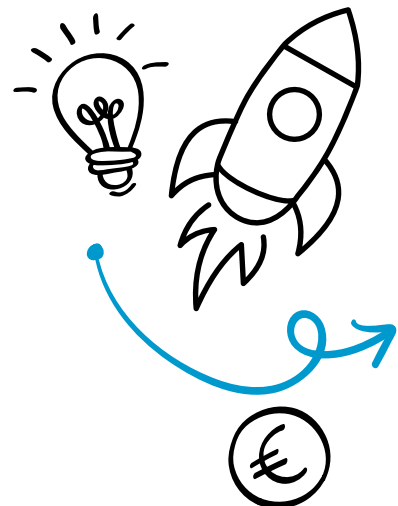
Idee

HyImpulse hat einen Hybridantrieb entwickelt, der auf Paraffinbasis beruht und mit flüssigem Sauerstoff funktioniert. So kommen Trägerraketen zuverlässig und kosteneffizient ins All. Ziel der Satelliten ist die erdnahe Umlaufbahn.



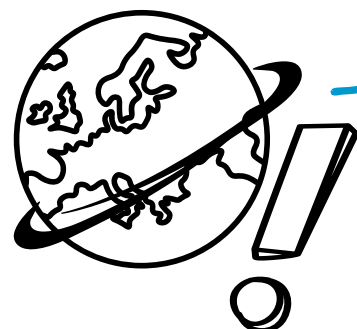
Hintergrund

Kleinsatelliten sind wichtig für die Raumfahrt – für Kommunikation, Erdbeobachtung und Navigation. Europa braucht autonome und flexible Startmöglichkeiten, um technologisch unabhängig zu bleiben.



HyImpulse macht die Welt besser, weil ...

... es sich an Betreiber von Kleinsatelliten und kommerzielle Raumfahrtunternehmen richtet, die zuverlässige, flexible und kostengünstige Startdienste benötigen.



Nächste Herausforderung

Zweiter Start der suborbitalen Rakete SR75 und Jungfernflug der SL1 im Jahr 2027

HyImpulse



Bild: HyImpulse Technologies GmbH

Wie kommen 500 Kilogramm Experimente in die Schwerelosigkeit?

Das Experimentieren in Schwerelosigkeit ist in den Ingenieurwissenschaften, der Materialforschung oder Medizin ein wichtiger Bestandteil der Forschung. Denn in Mikrogravitation, also wenn die Schwerkraft extrem reduziert ist, laufen physikalische, chemische und biologische Prozesse anders und teils schneller ab als auf der Erde. Deshalb führt das DLR im MAPHEUS®-Programm seit mehr als 15 Jahren regelmäßige Flüge mit Höhenforschungsraketen durch. Am 12. November 2025 um 5:05 Uhr machte sich die Mission MAPHEUS®-16 vom Raketenstartplatz der Swedish Space Corporation (SSC) in Esrange auf die Reise in die Schwerelosigkeit. Erstmals kombinierte das DLR dafür zwei RED-KITE-Raketenmotoren. Das ermöglichte einen neuen Rekord bei der Nutzlast: Rund 500 Kilogramm wissenschaftliche Fracht brachte die Rakete für etwas mehr als sechs Minuten in Schwerelosigkeit. Der RED-KITE-Motor ist eine Entwicklung des DLR mit dem Unternehmen Bayern-Chemie.

59

Alle Informationen zu MAPHEUS®

