

## DIE ENERGIE STECKT IM SALZ

Forschen für die Energiewende:  
Testanlage für neue Speichertechnologien geht in Betrieb

AUTOMATISCH UNTERWEGS: Autos werden intelligent

AUTONOM AUF DEM MOND: Roboter auf Explorationsmission

LEICHT AUF KURZER STRETCKE: Faser-Metall-Lamine im Flugzeugbau





Bild: Barbara Frommann

**Liebe Leserinnen und Leser,**

es sind nur noch wenige Tage bis zur Bundestagswahl am 24. September 2017. Die etablierten Parteien legen in ihren Wahlprogrammen unter anderem einen Fokus auf die Zukunftsfähigkeit und Innovationskraft Deutschlands. Mit der Verabschiedung der „DLR-Strategie 2030“ sowie der Entscheidung für die Gründung von sieben DLR-Instituten hat der Senat des DLR bereits im Juni die Weichen für die Zukunft des Zentrums gestellt. Denn das Ziel der „DLR-Strategie 2030“ ist es, die Kernkompetenzen des DLR zu stärken und Synergiepotenziale in allen Forschungsbereichen gezielt zu nutzen. Neu hinzu kommt der Querschnittsbereich Digitalisierung.

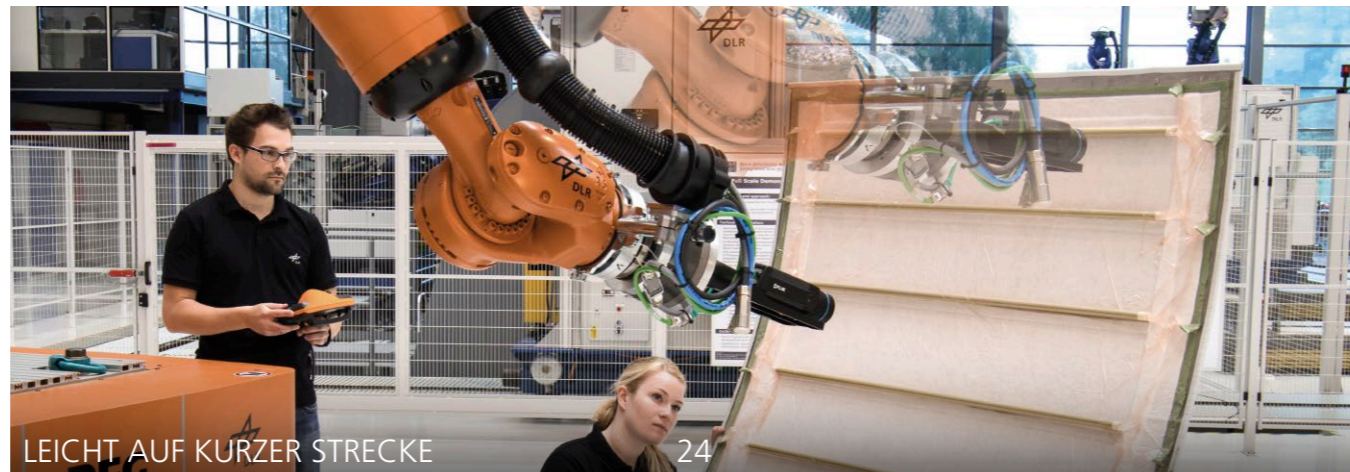
Wie richtig wir mit dieser Vorgehensweise liegen, zeigt die aktuelle deutsche Präsidentschaft der Gruppe der zwanzig wichtigsten Industrie- und Schwellenländer – G20. In ihrer Gipfel-Abschluss-erklärung formulierten die Staats- und Regierungschefs das gemeinsame Ziel, die Herausforderungen unserer Zeit zu meistern und eine vernetzte Welt zu gestalten, denn der „digitale Wandel ist eine Triebkraft des globalen, innovativen, inklusiven und nachhaltigen Wachstums und kann dazu beitragen, Ungleichheit abzubauen und die Ziele der Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung zu erreichen.“

Durch unsere inhaltliche Vielfalt und die Portfolioerweiterung an bundesweit 20 DLR-Standorten mit 40 Instituten und Einrichtungen, dem Raumfahrtmanagement und den Projektträgern schaffen wir einen einzigartigen technologischen und gesellschaftlichen Mehrwert. Viel stärker als bisher werden wir deshalb unsere Beiträge für den Wirtschafts- und Innovationsstandort Deutschland sowie für die Lösungen der globalen Herausforderungen vor dem Hintergrund unserer Leistungsfähigkeit und unserer exzellenten Wissenschaft kommunizieren.

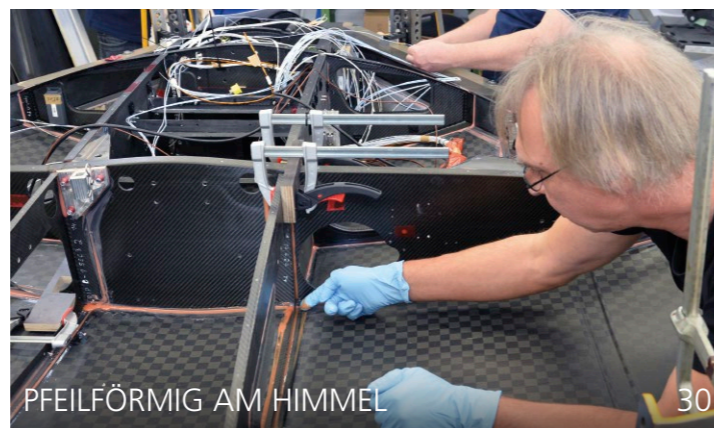
Matthias Ruchser  
Leiter Politikbeziehungen und  
Kommunikation



AUTONOM AUF DEM MOND 34



LEICHT AUF KURZER STRECKE 24



PFEILFÖRMIG AM HIMMEL 30



LADEZUSTAND: FULL POWER 20



NEUES FAHREN 12

# DLRmagazin 155

EDITORIAL	2
KOMMENTAR	4
KURZMELDUNGEN	6
<b>DIE ENERGIE STECKT IM SALZ</b> TESIS: Forschen für die Energiewende	8
<b>AUTOMATISCH UNTERWEGS</b> Neues Fahren mit intelligenten Autos	12
<b>PORTRÄT</b> Simon Clark: Full Power, auch in Afrika	20
<b>LEICHT AUF KURZER STRECKE</b> Automatisierte Flugzeug-Bauteilfertigung	24
<b>PFEILFÖRMIG AM HIMMEL</b> Technologie-Erprobung für unbemanntes Fliegen	30
<b>REPORTAGE</b> ROBEX: Autonom auf dem Mond	34
<b>SICHER AUF SEE</b> Standards für Navigationsdaten	42
<b>MATERIAL NACH MASS</b> 50 Jahre Institut für Werkstoff-Forschung	44
<b>CASSINIS SCHWANENGESANG</b> Das Ende einer Weltraummission	50
<b>IN MUSEEN GESEHEN</b> Das Naturhistorische Museum Wien	52
<b>REZENSIONEN</b>	56

## „KERNKOMPETENZEN STÄRKEN UND SYNERGIEPOTENZIALE NOCH BESSER AUSSCHÖPFEN“

Ein Kommentar der Vorstandsvorsitzenden des DLR,  
Professor Dr. Pascale Ehrenfreund

Mit meinem Amtsantritt als Vorstandsvorsitzende hatte ich mir das Ziel gesetzt, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt mit einer neuen Strategie in die Zukunft zu führen. Dieses Ziel ist erreicht: In seiner Sitzung am 28. Juni 2017 hat der Senat des DLR der „DLR-Strategie 2030“ sowie der Gründung von sieben DLR-Instituten zugestimmt. Die Strategie zielt darauf ab, die Kernkompetenzen des DLR zu stärken und interne Synergiepotenziale noch gezielter auszuschöpfen, um die Spitzenposition des DLR in der Forschung zum Nutzen von Gesellschaft und Wirtschaft weiter auszubauen.

Mit zehn neuen interdisziplinären Querschnittsprojekten wird das DLR einen über die bestehenden Schwerpunkte hinausgehenden technologischen und gesellschaftlichen Mehrwert schaffen. Außerdem wird das DLR gezielt in Innovationsprojekte gemeinsam mit der Wirtschaft, insbesondere mit kleinen und mittleren Unternehmen, investieren. Mit dieser strategischen Weiterentwicklung arbeitet das DLR noch stärker als bisher an den Lösungen der aktuellen globalen Herausforderungen und leistet Beiträge für den Innovationsstandort Deutschland.

Auch künftig erbringen wir Pionierleistungen in unseren Forschungsschwerpunkten Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr. Die traditionelle Stärke des DLR ist die Systemfähigkeit in der Luft- und Raumfahrtforschung, die wir weiter ausbauen. In der Energie- und Verkehrsforschung arbeiten wir an Schlüsselthemen, die für die Energiewende und die künftige Verkehrspolitik von Bedeutung sind. Unsere Know-how-Trägerinnen und -Träger sind themenübergreifend vernetzt. Solch eine Zusammenarbeit hat sich in unserem Querschnittsbereich Sicherheit bewährt. Deshalb stärken wir den Sicherheitsbereich, um auch für künftige Bedrohungsszenarien praxistaugliche Lösungen anzubieten. Auch für die vielfältigen Themen der Digitalisierung etablieren wir mit der „DLR-Strategie 2030“ einen neuen Querschnittsbereich. Auf diese Weise tragen wir der digitalen Revolution Rechnung.

Sieben neue Institute erweitern das DLR-Forschungsportfolio. Von den Kompetenzen dieser Institute werden die Schwerpunkte und Querschnittsbereiche profitieren, und wir stärken die Systemfähigkeit des DLR. Mit den Instituten in Hamburg, Dresden und Augsburg bauen wir die Virtualisierung der Luftfahrtforschung des DLR aus; in Jena erweitern wir die Forschungen auf dem Gebiet Big und Smart Data, auch über die Raumfahrt hinaus, und in Oldenburg stärken wir die Forschung an vernetzten Energiesystemen. In Bremerhaven steht die maritime Sicherheit im Fokus.

Gemeinsam mit den Sitzländern bauen wir die Institute auf und binden sie entsprechend ihrer wissenschaftlichen Ausrichtung in die lokalen und regionalen Forschungsnetzwerke an den jeweiligen Standorten ein. Die neuen Institute liefern somit wichtige Bausteine für die DLR-Strategie 2030.



Pascale Ehrenfreund

Bild: DLR/Gesine Born

## SCHNELLER HUBSCHRAUBER DANK DOPPELDECKER-DESIGN

DLR lieferte Schlüsselkomponenten für den Demonstrator RACER

**Mehr als 400 Kilometer pro Stunde soll der Hochgeschwindigkeits-Hubschrauber RACER (Rapid and Cost-Effective Rotorcraft) fliegen. Das DLR ist an der aerodynamischen Gestaltung der Flügel und des Höhenleitwerks beteiligt.**

Um die Lärmemission zu minimieren, haben DLR-Forscher die akustischen Eigenschaften der neuen Hubschrauberkonfiguration analysiert. Diese verfügt neben dem Hauptrotor auch über zwei kleine Tragflächen mit Extrapropellern. Der Technologiedemonstrator ist Teil des europäischen Luftfahrtforschungsprogramms Clean Sky 2.

Der Demonstrator RACER verbindet Sicherheit und Kosteneffektivität. Neben dem klassischen Hauptrotor sorgen aerodynamisch optimierte Doppeldecker-Tragflächen für zusätzlichen Auftrieb. An den Enden montierte Propeller liefern den nötigen Vorwärtsschub für hohe Geschwindigkeiten. Dieses flexible Konzept ist hochinteressant für Flüge, bei denen senkrecht starten und landen, eine hohe Reisegeschwindigkeit und Effektivität in Aerodynamik und Verbrauch gefragt sind. Dies ist insbesondere im Bereich der Notfallmedizin, der Luftrettung sowie im Geschäftsflug- und Airline-Betrieb zu erwarten.

Ausgehend vom charakteristischen Doppeldecker-Konzept, hat das DLR verschiedene Flügelentwürfe erstellt. Davon wurden in Zusammenarbeit mit Airbus Helicopters geeignete Designs ausgewählt und weiter optimiert. Das endgültige Design ermöglicht die außergewöhnliche Flugleistung des RACER im gesamten Flugbereich bei gleichzeitig geringem Kraftstoffverbrauch. Die aerodynamischen Verbesserungen für den Heckausleger konzentrierten sich auf das Höhenleitwerk, damit eine gute Manövrierbarkeit und Stabilität des Hubschraubers in Verbindung mit einem geringen Luftwiderstand erreicht wird. Der Erstflug des Demonstrators ist für 2020 geplant.



Bild: Airbus Helicopters-PAD

Bis zu 400 Kilometer pro Stunde schnell fliegt das neue Hubschrauber-Modell von Airbus Helicopters – auch dank der Forschung des DLR

## BOTSCHAFTEN FÜR DIE ZUKUNFT

Projekt\_4D: Einsendungen von Jugendlichen umrunden die Erde

**Wünsche von 8.000 Schülerinnen und Schülern sowie 2000 Fotos reisen mit der nächsten Mission von Alexander Gerst ins All.**

Für die Zeitkapsel hatte das DLR über die sozialen Medien aufgerufen, das Alltagsleben zu dokumentieren. Die versiegelte Dokumentation soll in 50 Jahren im Haus der Geschichte in Bonn geöffnet werden. Viele Jugendliche machten sich Gedanken, wie die Welt dann sein könnte: Gibt es noch den Leuchtturm am Küstenrand oder haben Wind und Meer ihn verschwinden lassen? Wird es noch Bienen geben und sind die Gletscher dann längst geschmolzen? Die dazugehörigen Fotos kommen mit auf den Datenträger. Viele reichten Motive ein, bei denen man sicher gehen kann – das wird es in fünf Jahrzehnten kaum mehr geben: einen Süßigkeiten-Automaten, eine Lifftass-Säule und den Briefmarken-Automaten.

Von Schülern aus Hennef kommt die Vision, „... dass jeder einen Roboter hat, der uns bedient und für uns sorgt.“ Ein anderes Team namens „Die coolen Jungs der Moderne“ wünscht sich, „... dass alle Kinder auf der Welt genügend zu essen haben und dass es keinen Krieg gibt. Und dass die Schule nur noch vier Stunden dauert.“ Eine Mädchen-Gruppe aus Berlin stellt einen Katalog von Forderungen für die Zukunft auf: „Bessere Versorgung der armen Länder. Illegalen Tierhandel stoppen. Frauen und Kinder sollen mehr Rechte haben. Mehr Bildung.“

Alle diese Beiträge werden als Daten zur ISS und wieder zurück fliegen – untergebracht auf einem speziellen Datenträger, einer M-Disc im Blu-Ray-Format. Das Haus der Geschichte erhält ein Duplikat und ein heutiges Abspielgerät.



Zeitkapsel für die Zukunft



## DIGITALER PILOT IM COCKPIT

**Einen digitalisierten Piloten im Cockpit mitfliegen lassen, der die realen Piloten während des Fliegens berät** – das ist die Idee des Projekts A-PiMod, der das DLR gemeinsam mit sieben Partnern aus Wissenschaft und Industrie nachgegangen ist. Die neu entwickelte Cockpit-Architektur überwacht nicht nur den Flugzeugzustand und die Umgebungsbedingungen, sondern auch das Befinden der Piloten. Basierend auf den Blickbewegungen, Gesten und Eingaben der Piloten zieht das System Rückschlüsse auf ihre aktuellen Absichten, ihr Situationsbewusstsein sowie ihre Arbeitsbelastung. Das System geht auf die Piloten ein, macht ihnen Vorschläge und passt sich ihnen und der Situation an. Dafür wurde A-PiMod mit dem Deutschen Mobilitätspreis als Leuchtturmprojekt für intelligente Mobilität ausgezeichnet.

## GURKEN IN DER ANTARKTIS

**Ein Modell-Gewächshaus für Wüsten und Gebiete mit tiefen Temperaturen** geht Ende 2017 für ein Jahr unter antarktischen Bedingungen in die Langzeiterprobung. Unabhängig von Wetter, Sonne und Jahreszeit gedeihen im Projekt EDEN ISS Gurken, Radieschen, Paprika, Salate und Kräuter mit geringem Wasserverbrauch und unter Verzicht auf Pestizide und Insektizide. Aeroponik ist das Zauberwort für diese Art von Gärtnerei, die nun den Speiseplan der Überwinterungscrew der vom Alfred-Wegener-Institut (AWI) betriebenen Antarktisstation Neumayer III bereichern soll. Bei dieser Technik werden Pflanzen ohne Erde steril kultiviert und computer-gesteuert mit einem Wasser-Nährstoff-Gemisch besprüht. EDEN ISS ist zugleich ein Versorgungsszenario für eine bemannte Marsmission. Für das Gelingen des Projekts arbeiten unter der Leitung des DLR zahlreiche internationale Partner in einem Forschungskonsortium zusammen. Der Fortschritt von EDEN ISS kann auf den Projekt-Accounts über Instagram und Facebook und über den Hashtag #MadeInAntarctica verfolgt werden.



## HALO MISST EMISSIONEN

**Die Emissionen großer Städte können sich bei bestimmten Wetterlagen über die Grenzen der Metropolen hinaus ausbreiten.** Das DLR führte im Juli 2017 Forschungsflüge durch, um den Weg und die chemische Umwandlung der Emissionen von London, Rom, dem Ruhrgebiet und anderen europäischen Ballungsräumen genauer zu untersuchen. Mehr als 50 Flugstunden war das mit 20 Instrumenten ausgestattete Forschungsflugzeug HALO unterwegs, um die verschiedenen Gas- und Partikel-Emissionen der Großstädte zu erfassen. Die Forscher wollen auch nachvollziehen, welche Umwandlungen in sekundäre Fotooxidantien und Aerosolpartikel stattfinden. Sie untersuchten beispielsweise die Bildung von Ozon aus Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen, Partikeln aus Schwefeldioxid und organischen Vorläuferverbindungen. In Ergänzung zu den HALO-Messflügen finden in England und Italien Messungen mit weiteren Flugzeugplattformen statt. Zudem werden europaweit bodengestützte Messungen und laserbasierte Lidarbeobachtungen zur Planung und Auswertung der HALO-Flüge genutzt.

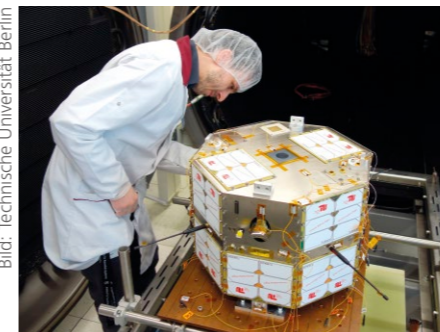


## NEUES ÖL FÜR SOLARANLAGEN

**Wärmeträger-Öle können Parabolrinnenkraftwerke lohnenswerter machen.** Das DLR leitet ein Konsortium aus Forschung und Industrie, das an der Verbesserung der in den Absorberrohren eingesetzten Öle arbeitet. Derzeit wird die Praxistauglichkeit eines durch die Wacker Chemie AG entwickelten Siliconöls bei Temperaturen bis zu 425 Grad Celsius erprobt. Im unteren Temperaturbereich ist der neue Wärmeträger flexibler: Sein Erstarrungspunkt liegt bei minus 55 Grad Celsius, was Heizanlagen zum Schutz der Wärmeträgerflüssigkeit vor Kälte überflüssig machen würde. Auch in Bezug auf die Alterung und den unerwünschten Nebeneffekt der Bildung von Wasserstoff weist siliconbasiertes Wärmeträger-Öl Vorteile gegenüber dem bisher üblichen organischen Gemisch auf. Es spaltet auch keine kritischen Stoffe wie Benzol ab, was den Betrieb solarer Parabolrinnenanlagen noch umweltfreundlicher und sicherer macht.

## ZWEI NEUE MINIS IM ALL

**Seit dem 14. Juli 2017 sind mit „Flying Laptop“ und „TechnoSat“ zwei neue deutsche Kleinsatelliten im All.** Die vom DLR Raumfahrtmanagement geförderten Projekte fliegen in Forschungs- und Ausbildungsmission. Sie wurden von Doktoranden entwickelt und dienen der Technologie-Erprobung. In dem achteckigen und rund 20 Kilogramm schweren Nanosatelliten „TechnoSat“ sind sieben experimentelle Nutzlasten verbaut, deren Funktion und Leistungsfähigkeit im Orbit getestet werden sollen. Für den 110 Kilogramm schweren „Flying Laptop“ wurden neben einem großen Reinraum für die Integration von Satelliten, einem Optiklabor und einer Thermal-Vakuumkammer auch die Bodenstation mit einem Kontrollsegment aufgebaut und eine Satellitensimulationsumgebung entwickelt. Die Satellitenplattform selbst verfügt über ein System zur hochpräzisen Lageregelung und drei Solarpaneele mit einem neuen Entfaltmechanismus. Zudem hat sie noch andere innovative Systeme zur Erprobung im All an Bord.



## REGIONALMELDUNGEN

**JÜLICH:** In den DLR-Solarturm wird ein neuer Empfänger zum Aufnehmen und Speichern von Sonnenenergie eingebaut. Die Technologie CentRec (Centrifugal Receiver) basiert auf Keramik-Kügelchen als Absorber- und Speichermedium. Das macht Temperaturen von über 1.000 Grad Celsius möglich.

**OTTOBRUNN:** Die Produktion der neuen Vinci-Triebwerke für die ARIANE-6 ist im bayerischen Ottobrunn angelaufen. Innovative Produktionsverfahren wie 3D-Druck und Pulvermetallurgie sorgen dafür, dass die Weltraumträger Rakete auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig ist.

**STUTTGART:** Rund 5.000 Besucher nutzten den Tag der offenen Tür des DLR-Standorts Stuttgart für einen Ausflug in die Welt der Wissenschaft. Am 15. Juli 2017 konnten sie das erste viersitzige Passagierflugzeug mit Brennstoffzellenantrieb ebenso sehen wie einen Live-Brennertest, dem Hightech-Materialien unterzogen wurden. Mehr Eindrücke unter #TdoTST.

**BREMEN:** Über aktuelle Raumfahrtmissionen wie Mascot informierten sich Teilnehmer am OPEN CAMPUS der Universität Bremen. Das DLR stellte dort das Landegerät vor, das sich springend über einen Asteroiden bewegen soll. Ein Hingucker war auch der Lagetisch, der detailliert den Schiffsverkehr in der Nordsee am Vortag zeigte und so das Thema Maritime Sicherheit aufgriff.

**BRAUNSCHWEIG:** Der Forschungshubschrauber Bo 105 des DLR war vom 13. bis 20. Juli 2017 über Braunschweig und Umgebung unterwegs. Er führte tagsüber in entsprechender Sicherheitshöhe Messflüge durch. Dabei folgte er einem DLR-Forschungsfahrzeug und zeichnete mit einem angebauten Kamerasystem dessen Fahrt auf. Forschungsziel ist ein besseres Verkehrsmanagement.

**BERLIN:** Das DLR in Berlin-Adlershof, wo Planeten- und Verkehrsforschung sowie die Forschung zu optischen Systemen ihr Domizil haben, hatte am 12. Juli 2017 Ägyptens Bildungs- und Forschungsminister zu Gast. Thema von Professor Dr. Khaled Abdel Ghaffar war unter anderem ein Kooperationsprojekt für ein umweltfreundliches Verkehrsmanagementsystem in Kairo.

**OBERPFÄFFENHOFEN:** Das russische Höhenforschungsflugzeug M55-Geophysika untersuchte am 27. Juli 2017 die Zusammensetzung der Stratosphäre über Asien. Das Projekt StratoCrim unter Leitung des Alfred-Wegener-Instituts (AWI) soll gemeinsam mit dem DLR und 30 weiteren Forschungseinrichtungen zuverlässigere Prognosen für den Klimawandel treffen.

## DLR.DE: MELDUNGEN AUF DER DLR-WEBSITE UND DER DLR-NEWSLETTER

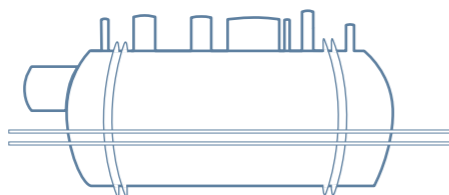
Alle Meldungen können in voller Länge und mit Bildern oder auch Videos online im News-Archiv eingesehen werden. Möchten Sie die Meldungen per E-Mail zugeschickt bekommen, abonnieren Sie einfach den Newsletter.

[DLR.de/meldungen](http://DLR.de/meldungen)

[DLR.de/newsletter](http://DLR.de/newsletter)

# DIE ENERGIE STECKT IM SALZ

**S**chwankende Energie aus Wind und Sonne in regelbaren Strom zu verwandeln, ist eine der größten Herausforderungen, vor denen die Energieforschung steht. Hochtemperatur-Wärmespeicher sind hierfür eine Schlüsseltechnologie, denn mit ihnen lassen sich große Energiemengen preiswert speichern, um dann bedarfsgerecht in Strom umgewandelt oder als direkte Wärmequelle genutzt zu werden. DLR-Forscher nehmen am 15. September 2017 eine weltweit einzigartige Anlage in Betrieb, mit der die Industrie Komponenten zur Flüssigsalzspeicherung unter realen Einsatzbedingungen testen kann. Projektleiter Dr. Thomas Bauer erläutert die Anlage und erklärt, warum flüssiges Salz sich zum Energiespeichern gut eignet. Das Gespräch führte Michel Winand, im DLR Köln verantwortlich für die lokale Kommunikation.



Forschen für die Energiewende: Mit TESIS lässt sich die Wärmespeicherung in Salzschnmelzen praxisnah testen

**Herr Dr. Bauer, Sie nehmen im September eine neue Testanlage in Betrieb: TESIS. Was ist das Besondere an ihr?**

■ Die Testanlage für Wärmespeicherung in Salzschnmelzen, die wir kurz TESIS nennen, ist ein Zwilling. TESIS:store dient der Speicherentwicklung und mit TESIS:com testen wir Komponenten. Und wir verlassen mit der neuen Anlage den Labormaßstab, forschen und entwickeln also nah an der industriellen Nutzung. TESIS:store ist die weltweit größte Forschungsanlage, an der ein neues Eintank-speicherkonzept untersucht werden kann.

**Was bedeutet das?**

■ Überschüssige Wärme in einem großen Tank zu speichern, verringert die Kosten für die Speicheranlage, wir sehen da ein Potenzial von bis zu 40 Prozent Einsparung. Doch dafür sind jede Menge Fragen zu klären: Da geht es um das Material, um den Wärmetransport, die Thermomechanik und die Systemintegration.

**Und was zeichnet den zweiten Anlagenteil aus?**

■ Auch TESIS:com ist einzigartig: Damit können wir gleichermaßen an den Komponenten forschen, die in Flüssigsalzspeichern eingesetzt werden sollen, wie auch die Verfahrenstechnik und die Messtechnik weiterentwickeln. Die Tests sind



Die weltweit einzigartige Anlage TESIS – Test Facility for Thermal Energy Storage In molten Salt – ermöglicht es der Industrie, Komponenten zur Flüssigsalzspeicherung unter realen Einsatzbedingungen zu testen



Die Anlage TESIS ist so konzipiert, dass sich die Salzmassenströme und ihre Temperaturen je nach Testanforderung differenziert regeln lassen

unter definierten Bedingungen in einem klimatisierten Gebäude möglich. Und wir können die Forschungsaufbauten je nach Kunden-Erfordernis flexibel einrichten und umrüsten. Auch die Funktionstüchtigkeit unter extremen Betriebsbedingungen lässt sich untersuchen, denn die Aufbauten befinden sich in einem geschützten Bereich mit Sicherheitseinrichtungen.

#### Was sind eigentlich die Vorteile von flüssigem Salz gegenüber anderen Speichermedien?

■ Diese liegen im Medium selbst: Flüssiges Salz kann bei Temperaturen von 170 bis 560 Grad Celsius eingesetzt werden. Und die Salze wirken weder toxisch, noch sind sie brennbar. Auch lässt sich Flüssigsalz problemlos pumpen, steht aber im Gegensatz zu beispielsweise Wasser bei hohen Temperaturen nicht unter Druck. Das alles macht das Salz nicht nur als Speichermedium interessant, sondern auch als Wärmeträger. Das Salzspeicherkonzept hat aber auch noch einen anderen Vorteil: Getrennte Bauteile für die Kapazität einerseits und die Leistung andererseits machen es flexibel. Die Speicherkapazität wird in großen Behältern vorgehalten, die relativ kostengünstig sind. Für das Ein- und Auskoppeln der Energie lassen sich dem jeweiligen Bedarf angepasste Leistungskomponenten einsetzen. Zum Beispiel

können die Speicher aus verschiedenen Quellen beladen werden: Abgas, Thermal-Öl oder Elektrowärme.

#### Für welche Industriezweige sind Salzspeicher interessant?

■ Momentan vor allem für solarthermische Kraftwerke im Sonnen-gürtel der Erde. Dort kommt es auf die Senkung der spezifischen Speicherkosten an, um die Anlagen rentabel zu machen. Wir sehen aber für die Zukunft auch Anwendungsfelder für diese Speichertechnologie in unseren Breiten, also auch in Deutschland. Energieintensive Industrieprozesse sind dafür Kandidaten. Dort, wo Stahl, Eisen und Nichteisenmetalle, Glas, Zement oder chemische Produkte produziert werden, werden große Wärmemengen erzeugt, die sich bisher nicht optimal nutzen lassen. Flüssigsalzspeicher können die Energieeffizienz solcher Unternehmen steigern. Auch Strom aus Windenergie oder fotovoltaischen Anlagen, der fluktuert, kann eingekoppelt werden, ohne die Produktionsprozesse einzuschränken.

Selbst konventionelle fossile Kraftwerke hätten einen Nutzen von dieser Speichertechnologie. Der Transformationsprozess, in dem sie sich befinden, würde durch integrierte Wärmespeicher flexibler handhabbar.

#### TESIS:com

##### Ziel

- Test und Qualifizierung von Komponenten der Flüssigsalzspeichertechnologie für die Forschung und die Industrie, beispielsweise Ventile, Absorberrohre, Messtechnik
- verfahrenstechnische Untersuchungen wie etwa Einfrier-vorgänge

##### Betriebsparameter

von 150 bis 560 Grad Celsius

##### Maximaler Massenstrom

8 Kilogramm pro Sekunde

##### Maximale Heiz- beziehungsweise Kühlleistung

420 Kilowatt

#### TESIS:store

##### Ziel

- Demonstration eines Eintankspeichers mit Füllmaterialien zur thermischen Energiespeicherung
- Untersuchung von Wärme- und Stofftransport, Thermo-mechanik, Materialverträglichkeit, Verfahrenstechnik, Skalierung und Systemintegration

##### Betriebsparameter

von 150 bis 560 Grad Celsius

##### Speicherkapazität

200 Kilowattstunden pro Kubikmeter mit 20 Kubikmetern und vier Kilogramm pro Sekunde

#### Eine der wichtigsten Fragen in der Energieforschung ist es doch aber, wie mit der schwankenden Energie von Sonne und Wind umgegangen wird ...

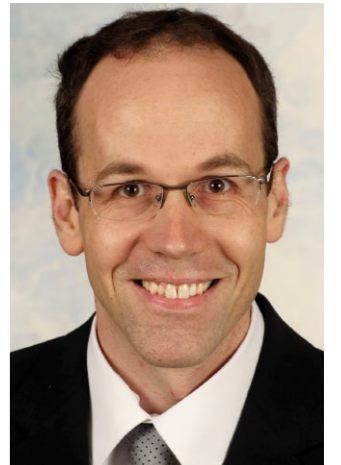
■ Ja, genau, die Umwandlung der erneuerbaren Energien in regelbaren Strom ist eine Kernfrage. Energiespeicher sind hier die Lösung. Doch Batterien sind für Speicheraufgaben im Gigawattstundenbereich zu teuer. Deshalb erforschen wir neue Stromspeichertechnologien mit effizienten Wärmespeichern. Für Flüssigsalz sind die Grundkomponenten wie Elektroerhitzer, Speicher und Dampfkraftwerksblock verfügbar. Doch die Wirkungsgrade sind für manche Anwendungen noch zu gering.

#### Mit der neuen Anlage TESIS können Sie die Forschung ja jetzt forcieren. Ab wann rechnen Sie mit einer Verfügbarkeit effizienter Salzspeichertechnologie für die Industrie?

■ Für solarthermische Kraftwerke hat sich die Flüssigsalz-Speichertechnologie bereits durchgesetzt, hier wird sie seit circa zehn Jahren kommerziell eingesetzt. Ein Technologietransfer mit Demonstrationsprojekten auf neuen Anwendungsfeldern wie im Bereich industrieller Prozesswärme oder in der Kraftwerkstechnik ist in den nächsten Jahren durchaus möglich. Dafür sind Fragen der Systemintegration zu klären und der konkrete Bedarf der Industrie muss identifiziert werden. Förderlich könnte hier wirken, dass das DLR neben den bereits verfügbaren Zweitankspeichern neue, kosteneffiziente Flüssigsalzspeicherkonzepte entwickelt. Beispielsweise das eingangs erwähnte Eintankspeicherkonzept. Nach der Demonstration in der TESIS:store-Anlage muss die Technologie noch weiter skaliert werden. Mit einer kommerziellen Umsetzung rechne ich in etwa zehn Jahren.

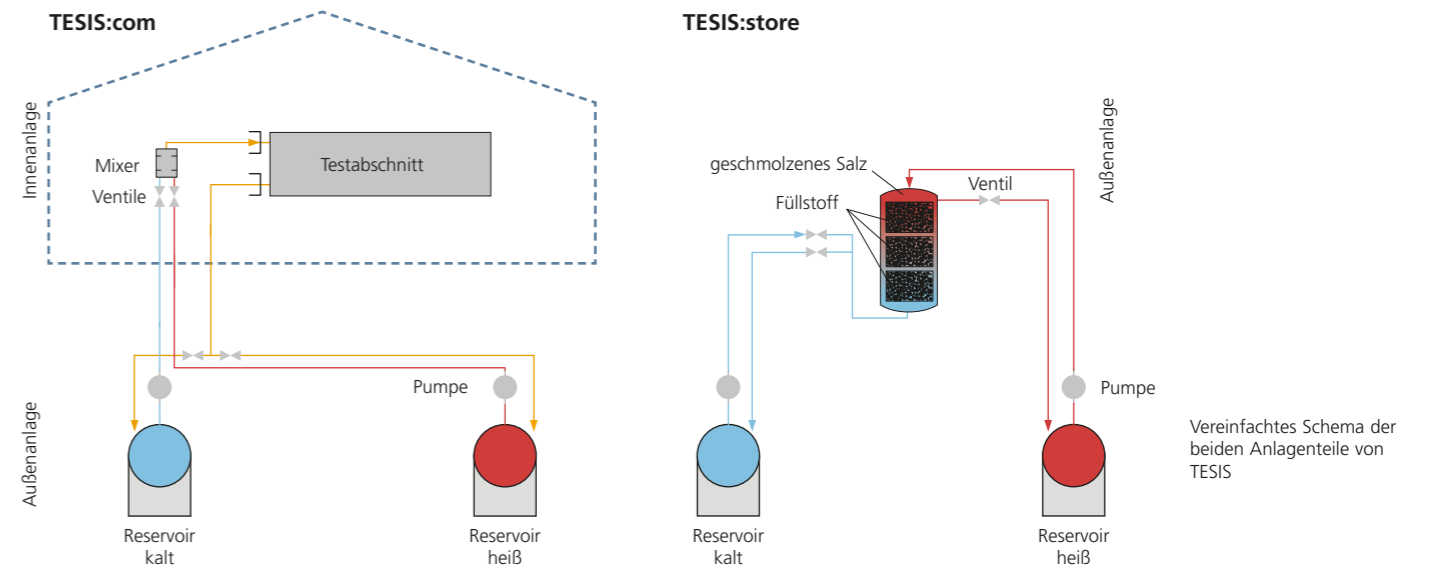
#### Was beeindruckt Sie persönlich am meisten an diesem Projekt?

■ Mit TESIS sammeln wir hautnah Betriebserfahrung zur Verfahrens- und Anlagentechnik der Flüssigsalzspeichertechnologie. Das ist ungemein spannend, aber auch fordernd. Wir können unsere Forschung direkt an den immer neu auftauchenden Fragestellungen ausrichten. Das ist eine Chance. Sie zu nutzen, macht neben viel Arbeit auch viel Freude. Und wir arbeiten mit an der Energiewende, in einem interessanten und dynamischen Umfeld, mit neuen Möglichkeiten, technologische Neuentwicklungen einzubringen. Wir gestalten ein Stück Zukunft mit.



Dr. Thomas Bauer ...

... absolvierte ein Elektronik- und Informationstechnik-Studium in Heilbronn, bevor er in England ein PhD-Studium im Bereich Thermofotovoltaik und Wärmetechnik mit Promotion abschloss. 2005 begann er seine wissenschaftliche Laufbahn beim DLR in Stuttgart in der Abteilung Thermische Prozesstechnik des Instituts für Technische Thermodynamik. 2012 wechselte er nach Köln, wo er seit 2015 in der Abteilung als Fachgebietsleiter „Thermische Systeme für Flüssigkeiten“ für die Forschung vom Material bis zum System verantwortlich ist.



Vereinfachtes Schema der beiden Anlagenteile von TESIS



TESIS-Mitarbeiter stellen das Prozessgas-System ein



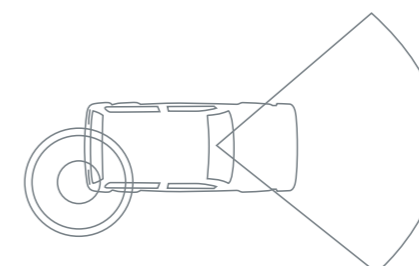
Bild: chombosan/fotolia

# AUTOMATISCH UNTERWEGS

Mit der Automatisierung von Fahrzeugen hat in der Mobilität der Menschen ein immenser Wandel begonnen. Bis Fahrzeuge sicher autonom fahren, sind noch viele technische Herausforderungen zu meistern. Das Thema geht zudem weit über die technischen Aspekte hinaus. Gesellschaftliche und ethische Fragen sind zu beantworten und politische Weichen sind neu zu stellen. Dank seines breiten Forschungsspektrums gibt das DLR für Politik und Unternehmen Handlungsempfehlungen und Impulse, sei es zur Entwicklung intelligenter Fahrzeugtechnologien, zu umfangreichen Testmöglichkeiten für Automobilentwickler oder mit Analysen zum Mobilitätsverhalten der Zukunft und zu Folgen für die Verkehrsplanung und den öffentlichen Personennahverkehr.

## Ein Überblick

von DLR-Verkehrsredakteurin Dorothee Bürkle



## Mit intelligenten Autos wird Mobilität neu erfunden

Von Professor Dr.-Ing. Karsten Lemmer,  
DLR-Vorstand für Energie und Verkehr

Morgens auf der Fahrt ins Büro die ersten E-Mails bearbeiten und sich nicht mehr um den Berufsverkehr kümmern, während Fahrzeugcomputer, Sensoren und GPS sicher übernehmen – selbstfahrende Autos sind keine Utopie mehr. Schon jetzt können Fahrzeuge dem Menschen das Einparken abnehmen, in wenigen Jahren wird man auf der Autobahn zumindest zeitweise die Hände vom Lenkrad nehmen können. In Zukunft bestellen wir ein Auto per App, fahren damit von A nach B, ehe es zum nächsten Nutzer aufbricht. Parken, Tanken und Waschen des Fahrzeugs fallen weg. Autonomes und hochautomatisiertes Fahren in einer vernetzten Welt verändert unsere Mobilität grundlegend. Wie wird sich damit unser Mobilitätsverhalten wandeln?



Karsten Lemmer

Wie sehen Fahrzeuge der Zukunft aus? Wird Autofahren sicherer? Welche neuen Risiken könnten entstehen?

Fest steht, dass wir für höher automatisiertes bis autonomes Fahren ein sehr komplexes Umfeld verstehen und beherrschen müssen, vor allem im städtischen Verkehr, wo von Fußgängern und Radfahrern bis hin zum rollenden Ball alles sicher im Blick sein muss. Und Technik hat nicht den „7. Sinn“, der Menschen Situationen voraussehen lässt. Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf, damit Fahrzeuge diese komplexen Situationen automatisiert meistern können, ist daher enorm.

#### Handlungsfelder für die Forschung

Eine große Hoffnung ist, dass das automatisierte Fahren mehr Sicherheit bringt. Zu Recht, denn viele Unfälle werden durch menschliche Fehler verursacht. Doch eine hundertprozentig sichere Technik gibt es nicht. Für ethische und rechtliche Fragen zu den Themen Sicherheit und Datenschutz werden deshalb bereits jetzt Leitlinien und Handlungsschemata festgelegt. Wer ist im Falle eines Unfalls verantwortlich? Welche Daten sollen und dürfen gespeichert werden, um das festzustellen? Und nicht zuletzt: Wie soll und was kann Technik überhaupt bewerten und entscheiden?

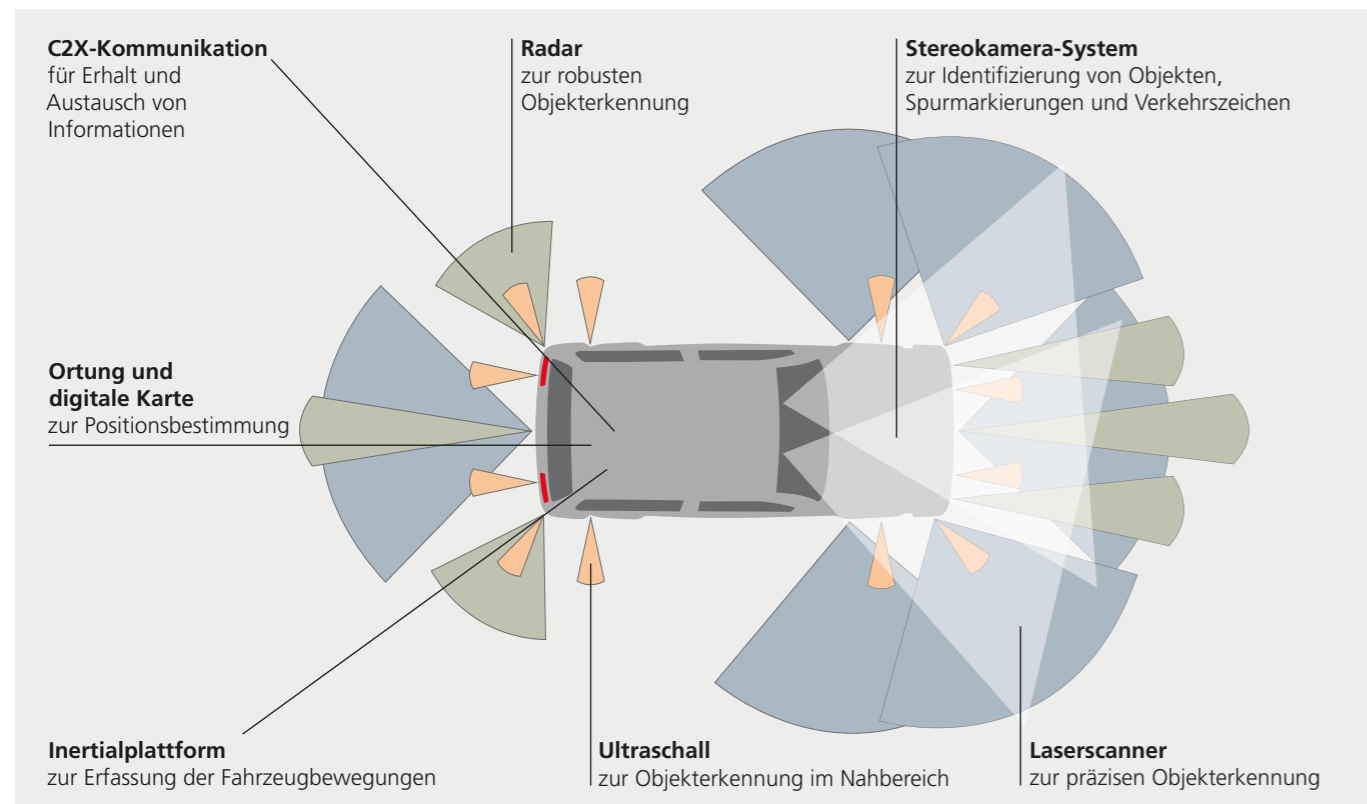
Bei der Einführung automatisierter Fahrzeuge wird auch die Akzeptanz solcher Systeme eine Rolle spielen. Es wird Autofahrer geben, die sich entmündigt fühlen, wenn das Fahrzeug die Kontrolle übernimmt. Zu erforschen ist auch noch, wie Fahrer im anfänglichen Mischverkehr reagieren, wenn automatisierte Fahrzeuge sich ungewohnt „vernünftiger“ verhalten. Eine weitere Frage, die das DLR in seinen Forschungsprojekten bearbeitet, ist die sichere Übergabe der Kontrolle zwischen Fahrzeug und Fahrer.

#### Paradigmenwechsel für die Automobilbranche

Die Automobilhersteller stehen derzeit vor der gewaltigen Herausforderung, Mobilität in Zeiten der Digitalisierung nicht mehr nur als Auto, sondern vielmehr als Service zu denken. Gleichzeitig erfordert die Entwicklung neuer, umweltfreundlicher Antriebe eine Neuausrichtung bisheriger Fahrzeugkonzepte. Für die Zukunftsfähigkeit der Automobilhersteller und auch der zahlreichen Zulieferer ist es entscheidend, dass sie sich für die beiden Paradigmenwechsel neu aufstellen.

Verkehrsforscher im DLR haben die Aufgabe, Lösungen für eine sichere, effiziente und umweltfreundliche Mobilität zu entwickeln und diese aus unterschiedlichen Perspektiven zu bewerten. Mit der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) im Stadtgebiet Braunschweig kann das DLR auf vielfältige Weise automatisiertes und vernetztes Fahren in der Realität und in der Simulation entwickeln und testen. Das Testfeld Niedersachsen wird die Möglichkeiten zur Erprobung automatisierter Fahrzeuge auf Autobahnen und Bundesstraßen umfassend ergänzen. Für zukünftige intelligente Fahrzeuggenerationen forscht das DLR aus vielfältigen Perspektiven an Assistenz- und Automatisierungssystemen. Unter anderem analysieren die Wissenschaftler die Auswirkungen auf den Personen- und Wirtschaftsverkehr und erarbeiten Ansätze für gänzlich neue, nutzergerichte Mobilitätsangebote. Mit diesem breiten und systemischen Themenspektrum unterstützt das DLR Politik, Industrie und Kommunen auf dem Weg zu einer automatisierten und digitalen Mobilität.

Schematische Darstellung der Sensorik in einem automatisierten Fahrzeug



#### Wie Fahrzeuge intelligent werden

Von Professor Dr. Frank Köster

Automatisierung und Vernetzung prägen unser Verkehrssystem mehr und mehr. Über Laserscanner, Radarsensoren und Kameras lernen Fahrzeuge „sehen“. Künftig kennen sie ihre Position stets hinreichend genau und führen sie mit adäquaten virtuellen Abbildern der Umwelt zusammen. Mit verschiedenen Kommunikationstechnologien tauschen sie Daten aus, sowohl untereinander als auch mit der Verkehrsinfrastruktur sowie IT-Hintergrundsystemen. Komplexe Algorithmen machen ihnen das Verstehen ihrer Umwelt und auch das zielgerichtete, unter Umständen auch kooperative Planen von Handlungen möglich, sodass sie sich sicher, energieeffizient und für ihre Nutzer komfortabel in das Gesamtverkehrssystem einfügen können.

Damit einher geht, dass die klassische Rolle des Fahrers in automatisierten und vernetzten Fahrzeugen weitgehend durch die Technik übernommen wird, wobei jedoch der Wunsch des Menschen nach individuellem Gestalten seiner Mobilität zu berücksichtigen bleibt. Der Fahrzeugführer wird auch künftig noch aktiv Einfluss nehmen wollen. Zudem wird manuelles Fahren auch in den kommenden Jahren noch möglich bleiben, nicht zuletzt, weil der Mensch in vielen heutigen Konzepten und Produktideen für automatisierte und vernetzte Straßenfahrzeuge noch immer eine wichtige Rückfallebene ist, sei es, wenn die Technik einmal „nicht weiterweiß“ oder für den Fall, dass sie einmal nicht korrekt funktioniert.

#### Kooperation muss getestet werden

Eingebettet in das Projekt Next Generation Car (NGC) erarbeitet das DLR in seinen Forschungsschwerpunkten Fahrzeugintelligenz und mechatronische Fahrwerke (FIF) Konzepte und Technologien für intelligente Straßenfahrzeuge sowie hierauf zugeschnittene Entwicklungs- und Testmethoden. Neben innovativen Fahrzeugfunktionen für Fahrten auf der Autobahn entwickeln DLR-Forscher in Braunschweig und Berlin auch Möglichkeiten, um in Städten und Kommunen automatisiert zu fahren. Die zum Aufbau der Fahrzeuge notwendigen Entwicklungs- und Testmethoden sind seit einigen Jahren ebenfalls fester Bestandteil der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten des DLR. Die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) und das Testfeld Niedersachsen sind dafür wichtige Testinfrastrukturen.

Automatisierte Fahrzeugfunktionen testen die DLR-Wissenschaftler im Versuchsfahrzeug FASCar



#### FAHRZEUGINTELLIGENZ UND MECHATRONISCHE FAHRWERKE

- Systemarchitektur
- Sensorik
- Sensordatenfusion
- Situationsrepräsentation
- Human Factors
- automatisierte und vernetzte Fahrzeugfunktionen
- mechatronische Fahrwerke
- Entwicklung und Test fortschrittlicher Fahrzeugfunktionen
- hochgenaue virtuelle Welten
- Next Generation Car
- Fahrzeugkonzepte
- Fahrzeugstrukturen
- Antriebsstrang
- Energiemanagement

Beteiligte Institute: Neben den drei Kern-Instituten des DLR im Bereich Verkehr (Verkehrssystemtechnik, Fahrzeugkonzepte und Verkehrsforschung) sind auch verschiedene Institute aus Luft- und Raumfahrt sowie Energie beteiligt.

Die in puncto Fahrzeugintelligenz durchgeführten Arbeiten werden durch Aktivitäten in zahlreichen nationalen und internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten ergänzt, sodass das DLR hier seine Kompetenzen auf dem Gebiet des automatisierten und vernetzten Fahrens konsequent weiter ausbaut.



Wenn es um automatisiertes und vernetztes Fahren in der Stadt geht, stehen kooperative Fahrzeugfunktionen im Mittelpunkt. Zum Beispiel können Forschungsfahrzeuge des DLR in Braunschweig automatisiert auf ausgewählten Strecken fahren. Sie passen dabei ihre Geschwindigkeit an ein Vorderfahrzeug an, kommunizieren mit Ampeln und Verkehrsmanagementsystemen, reagieren auf Geschwindigkeitsbegrenzungen und berücksichtigen bestehende Verkehrsregeln. Sämtliche relevanten Fahrsituationen mit Bezug zur Längsführung in der Stadt können durch das System bereits heute automatisiert bewältigt werden. Spurwechsel und regelkonformes Verhalten zum Beispiel an Kreuzungen werden das Spektrum ergänzen.

### Wie leistungsfähig ist der Mensch?

Um dies zu erreichen, müssen die Ergebnisse verschiedener wissenschaftlicher Arbeitsbereiche in den Forschungsfahrzeugen des DLR zusammenspielen: Eine wichtige Grundlage hierzu ist eine leistungsfähige Technologieplattform zur technischen Integration der verschiedenen Teilsysteme eines automatisierten und vernetzten Straßenfahrzeugs – eine leistungsfähige Systemarchitektur. So müssen die Daten unterschiedlicher Sensoren zusammengeführt werden, damit eine Situation verlässlich eingeschätzt wird. Auch sind viele Fragen zur Integration von Ansätzen der künstlichen Intelligenz (KI) in automatisierte und vernetzte Straßenfahrzeuge noch nicht zufriedenstellend geklärt. Der Nutzer selbst ist im Kontext des automatisierten und vernetzten Fahrens auch ein wichtiger Untersuchungsgegenstand. Zum Beispiel ist Wissen zur menschlichen Leistungsfähigkeit relevant bei der Funktionsgestaltung. Es sind Wege zur Interaktion zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern aufzuzeigen. Und auch die direkte Integration des Menschen in die Fahrzeugführung – im Sinne einer Rückfallebene – ist ein wichtiger Aufgabenbereich. Denn eines darf nicht vergessen werden: Der Nutzer ist der Mensch.

## Automatisiert und vernetzt im Testfeld Niedersachsen

Von Professor Dr. Frank Köster

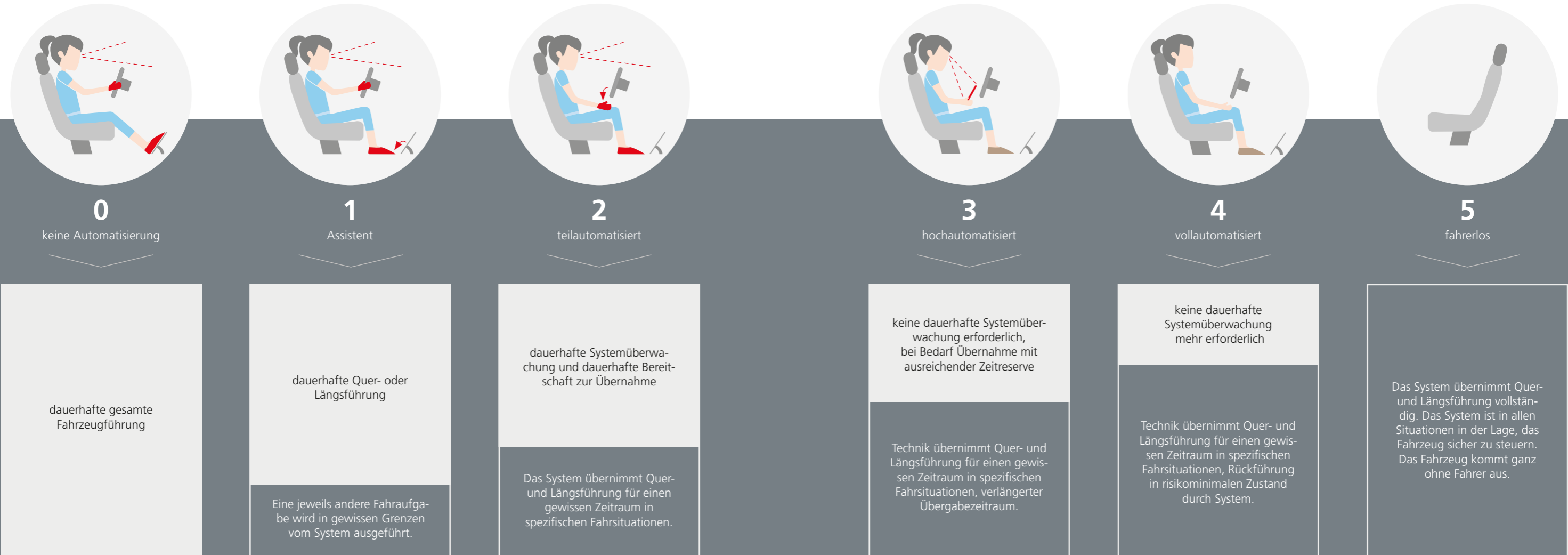
Ein reales Testlabor für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge wird derzeit auf den Autobahnen in Niedersachsen auf einer Länge von 280 Kilometern aufgebaut. Ab 2019 werden sich dort Testfahrzeuge im normalen Autobahnverkehr bewegen, wobei die Autofahrer auf den Streckenabschnitten davon im optimalen Fall gar nichts merken werden. Denn die Systeme werden stets sehr gut auf ihre Felderprobung vorbereitet – unter anderem durch intensive Tests in unterschiedlichen Versuchsumgebungen innerhalb von Laboren und im nicht-öffentlichen Raum. Und die Erprobungen werden genau beobachtet, sodass der schnelle Eingriff durch speziell geschulte Testfahrer oder Versuchingenieure gewährleistet ist.

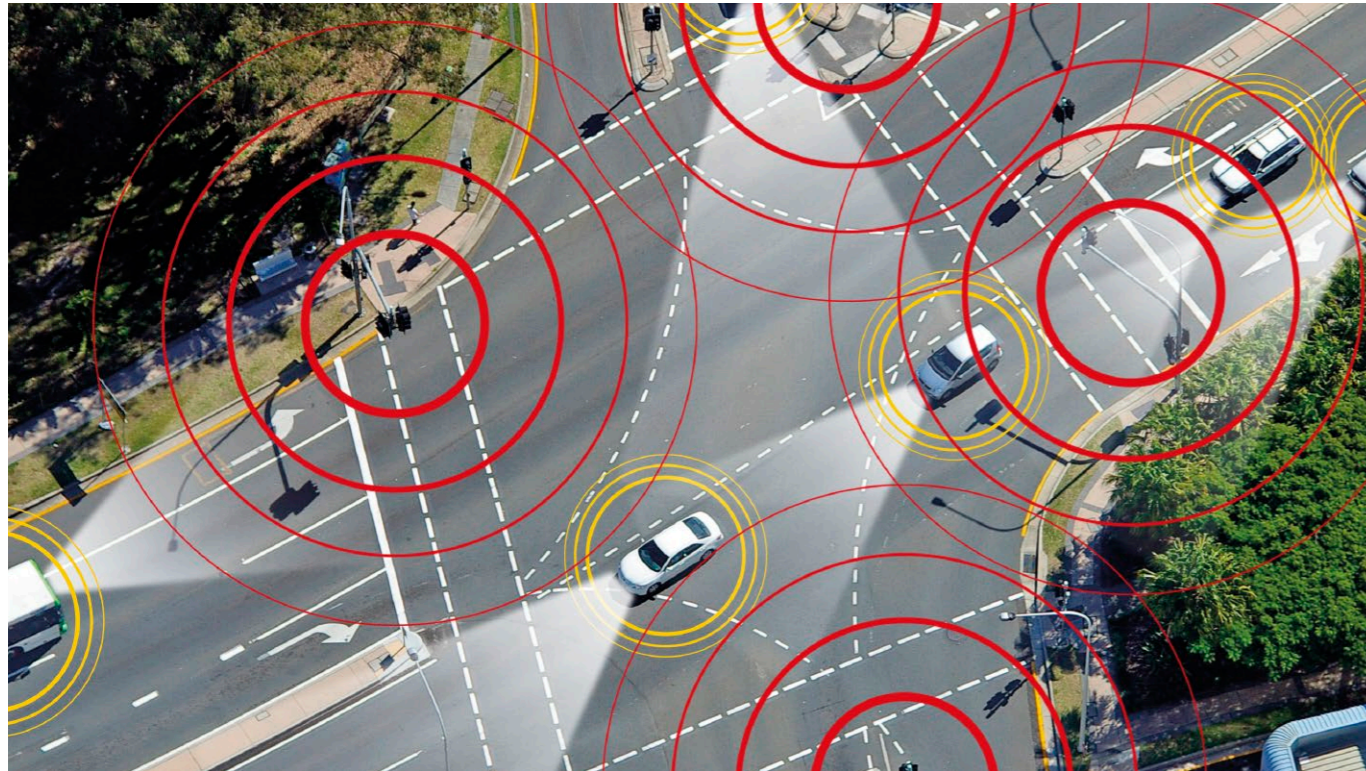
### Tools für schnellere Zulassungen

Erste Prototypen automatisierter und vernetzter Fahrzeuge existieren bereits seit einigen Jahren bei Wirtschaftsunternehmen und in wissenschaftlichen Einrichtungen, auch am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig. Ihre praxisnahe Erprobung wird heute weltweit intensiv vorangetrieben. Es zeichnet sich allerdings ab, dass die etablierten Entwicklungsmethoden und Freigabeprozesse zur Zulassung automatisierter Fahrzeuge nicht mehr ausreichen. Mit dem Testfeld Niedersachsen, welches das DLR aktuell in enger Kooperation mit dem Land Niedersachsen aufbaut und ab 2019 in vollem Funktionsumfang betreiben wird, erhalten Automobilhersteller und Zulieferer einzigartige Möglichkeiten, die Entwicklung automatisierter und vernetzter Straßenfahrzeuge voranzutreiben. Mit den Instrumenten des

### PARTNER IM TESTFELD

Beim Aufbau des Autobahn-Testfeldes arbeiten das Land Niedersachsen und das DLR eng zusammen, gemeinsam investieren sie in den schrittweisen Aufbau des Testfeldes fünf Millionen Euro. Als Industriepartner sind die Volkswagen AG, Continental AG, Siemens AG, Wolfsburg AG, IAV GmbH, NordSys GmbH, Oecon Products & Services GmbH sowie der ADAC Niedersachsen/Sachsen-Anhalt e. V. eng in die Testfeldaktivitäten in Niedersachsen eingebunden.





Wenn Fahrzeuge automatisiert unterwegs sind, sind große Datenmengen zu verarbeiten. Die DLR-Forscher berücksichtigen im Testfeld auch das IT-Hintergrundsystem.

Testfeldes können sie die neuen Fahrzeugsysteme an reale Anforderungen anpassen und deren jeweilige Zulassung vorbereiten. Das DLR wird mit der entstehenden Forschungs- und Entwicklungsinfrastruktur insbesondere auch die nationale Industrie bei der schnellen und kosteneffizienten Markteinführung neuer Produkte unterstützen und damit zu ihrer Konkurrenzfähigkeit beitragen.

#### Verkehrsbeobachtung und Vernetzung

Ein zentraler Bestandteil des Testfeldes ist die Erfassungstechnik. Auf einem speziell ausgewählten Streckenabschnitt von sieben Kilometern werden Masten im Abstand von circa 100 Metern errichtet, an denen Kameras verschlüsselt und anonymisiert alle Verkehrsbewegungen aufzeichnen. Die Daten unterstützen die Entwickler bei der richtigen Auslegung fortschrittlicher Assistenzsysteme und insbesondere automatisierter und vernetzter Fahrzeugfunktionen: Wie muss beispielsweise die Reaktion automatisierter Fahrzeuge auf annehmbare, nicht-normative Fahrweise konventioneller Fahrzeuge aussehen? Die Daten der Kamerasysteme des Testfeldes können hierzu beispielsweise mit den Daten der Fahrzeuge unter Testbedingungen in Relation gesetzt werden. So können die Entwickler feststellen, ob die Fahrzeuge sich zu jedem Zeitpunkt adäquat der Verkehrssituation anpassen.

Neben der Sensorik, mit der sich ein automatisiertes Fahrzeug orientiert, spielt die Vernetzung der Fahrzeuge untereinander, die sogenannte Car2Car-Kommunikation, für den Verkehrsfluss eine wichtige Rolle. Damit beispielsweise umgebende Fahrzeuge vor einem Stauende gewarnt werden können, muss eine Verbindung zwischen zwei Fahrzeugen extrem schnell und zuverlässig aufgebaut werden. Auf einem 18 Kilometer langen Streckenabschnitt der A 39 kann neben verfügbarer Mobilfunktechnologie auch basierend auf ITS G5 eine solche Kommunikation umfassend getestet werden.

Zudem wird ein Kataster aufgebaut, das zum Beispiel die Qualität der Spurmarkierungen oder Beschilderungen genau erfasst. Erkennt ein Fahrzeug die Spurmarkierung nicht mehr, können die Entwickler prüfen, ob ein Fehler des Systems vorliegt oder die Markierung verwitterungsbedingt nicht mehr erkannt werden konnte.

#### Vom Labor auf die Straße

Bevor die Testfahrzeuge selbstständig auf den Autobahnen des Testfeldes fahren, werden sie in realitätsnahen virtuellen Verkehrsumgebungen untersucht. Dafür werden die Simulatoren mit hochgenauen Karten der jeweils relevanten Streckenabschnitte des Testfeldes ausgerüstet. Die Möglichkeit, Tests zuerst im realitätsnahen Simulator durchzuführen, vereinfacht und beschleunigt die Entwicklung der Systeme erheblich. Ein weiterer wichtiger Systembaustein des Testfeldes ist ein umfassendes IT-Hintergrundsystem. Dieses leistungsfähige Big-Data-System kann immens große Datenmengen verarbeiten und zentrale Informationen bereitstellen.

Das DLR kann beim Aufbau des Testfeldes Niedersachsen auf die bereits seit 2014 voll operative Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) in Braunschweig zurückgreifen. Die national und international einzigartige Großforschungsanlage verfügt über eine umfassend mit Kameras und weiterer Sensorik ausgestattete Forschungskreuzung, leistungsfähige IT-Hintergrundsysteme und mehrere automatisierte und vernetzte Straßenfahrzeuge.

**Professor Dr. Frank Köster** leitet im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik die Abteilung Branchen und ist unter anderem zuständig für die Bereiche Automotive und Verkehrsmanagement.

## AUTOMATISIERT FAHRENDE BUSSE – WELCHE ANFORDERUNGEN GIBT ES?

Wie können automatisierte und flexible Mobilitätskonzepte in den bestehenden Nahverkehr integriert werden? Würde ein fahrerloser Bus akzeptiert? DLR-Verkehrsforscher gehen im Projekt RAMONA (Realisierung Automatisierter Mobilitätskonzepte im Öffentlichen Nahverkehr) genau dieser Frage nach. Hierfür wird ein Versuchsfahrzeug vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik mit automatisierten Anwendungen ausgestattet, um dem Fahrgast den Eindruck eines autonom fahrenden Fahrzeugs zu vermitteln. Die Forscher am DLR-Institut für Verkehrsforschung analysieren, wie gut die Fahrgäste solch ein Mobilitätskonzept annehmen und welche zusätzlichen Anforderungen sie haben, wenn kein Busfahrer mehr als Ansprechpartner zur Verfügung steht. Die Ergebnisse fließen in Untersuchungen zum Design zukünftiger Fahrzeuge für den öffentlichen Nahverkehr ein, die im DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte laufen.

Das vom Bundesverkehrsministerium geförderte Projekt startete im Juli 2017 und läuft drei Jahre. Ab 2019 soll das Fahrzeug in den Reallaboren Braunschweig und Berlin zum Einsatz kommen. Partner in dem vom DLR geführten Projekt sind der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), die Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, die Berliner Verkehrsgesellschaft (BVG), die Technische Universität München (Lehrstuhl für Ergonomie) und die Hochschule Esslingen.

## Ein neues Gesicht von Stadt und Land

Von Stefan Trommer

Wird es attraktiver werden, außerhalb von Ballungszentren zu wohnen, wenn automatisierte, also fahrerlose Taxis auf Bestellung die Fahrgäste vor der Türe abholen? Wie werden sich selbstfahrende Autos ins Stadtbild einfügen? Sinkt der Bedarf an Stellplätzen in Innenstädten, weil sich selbstfahrende Autos nach dem Absetzen eines Passagiers direkt zum nächsten Nutzer aufmachen? Oder droht ein Verkehrschaos, weil so viele Fahrgäste in der zweiten Reihe aussteigen?

Mit fortschreitender Automatisierung werden ganz neue Verkehrsangebote möglich. Diese wirken sich auf die Wahl der Verkehrsmittel, auf die Umwelt, auf das Verkehrssystem als Ganzes und auf die Siedlungsstruktur aus. Wie sich der Verkehrsraum neu organisieren wird und mit welchen Folgen zu rechnen ist, das schätzt das DLR-Institut für Verkehrsforschung in Analysen, Szenarien und Simulationen ein. Damit liefert die Forschung der Verkehrspolitik, der Automobilbranche, den Kommunen und Unternehmen des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) wichtige Einschätzungen, um die anstehenden Veränderungen optimal implementieren zu können.

### „Immer wenn Autofahren attraktiver wurde, ist der Verkehr mehr geworden.“

Mit einer höheren Effizienz, einem möglichen Rückgang des Kohlendioxid-Ausstoßes, mehr Sicherheit und einer besseren Verkehrsanbindung des ländlichen Raums werden in vielen Analysen bislang positive Effekte von automatisiertem Fahren hervorgehoben. Unklar ist allerdings, unter welchen Umständen sie zum Tragen kommen. Die Ergebnisse einer DLR-Studie für die Landesagentur für Elektromobilität und Brennstoffzellentechnologie Baden-Württemberg weisen darauf hin, dass beispielsweise die Effizienzsteigerung davon abhängt, wie stark die nationale Fahrzeugflotte von automatisierten Fahrzeugen durchdrungen ist. Modellrechnungen zeigen, dass erst ab mindestens 30 Prozent autonomer Fahrzeuge im Bestand damit zu rechnen ist, dass der Verkehr insgesamt flüssiger läuft.

Bei genauer Betrachtung zeichnen sich auch weniger erwünschte Effekte ab, auf die wir uns einstellen müssen. Durchaus wahrscheinlich ist es zum Beispiel, dass der Individualverkehr weiter zunimmt, weil auch Nutzergruppen, die bislang nicht in der Lage waren, ein Fahrzeug zu führen, wie Jugendliche oder ältere Menschen, stärker am motorisierten Verkehr teilnehmen. Zudem ist – wie bereits jetzt mit den Carsharing-Angeboten – die Verfügbarkeit eines Autos in Zukunft nicht mehr an seinen Besitz gekoppelt. Die Analyse der Mobilitätsentwicklung in der Vergangenheit zeigt: Immer wenn Autofahren attraktiver wurde, hat der Verkehr zugenommen. Heute schon besteht mit Carsharing-Angeboten wie car2go oder Drive Now das Angebot, ohne lästiges Umsteigen in einer Stadt von Tür zu Tür zu fahren. Vor allem bei einer hohen Auslastung dieser Angebote können die Preise für diese Fahrten so attraktiv werden, dass sie mit dem ÖPNV konkurrieren. Die Potenziale eines solchen Trends sind bereits heute in Großstädten der USA und anderer Länder der Welt sichtbar, in denen Fahrdienstleister zehn Prozent und mehr aller Fahrten im Stadtgebiet realisieren, zu Ungunsten des ÖPNV und der klassischen Taxi-Nutzung. Von politischer Seite sollten daher frühzeitig geeignete Steuerungsinstrumente in den Blick genommen werden, um den öffentlichen Verkehr von Bussen und Bahnen zu stärken. Es zeichnet sich ab, dass Städte entscheiden müssen, wie die Angebote solcher zukünftig autonomen Transfers implementiert werden.

### „Wir müssen den Verkehrsraum neu organisieren.“

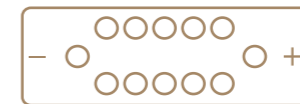
Doch automatisiertes und vernetztes Fahren ist gleichzeitig auch eine Chance, die heute übliche städte- und straßenbauliche Gestaltung neu zu denken. Tatsächlich könnte der Bedarf an Pkw-Stellplätzen zurückgehen, wodurch in städtischen Raum Flächen für eine andere Nutzung frei würden. Zudem kann es sinnvoll sein, Aus- und Einstiegszonen einzuführen. Diese verändern zweifelsohne das Stadtbild. Hand in Hand mit der politischen Steuerung sollte die Erforschung dieser Prozesse gehen. Wichtig sind realitätsnahe Feldtests und Experimentierfelder, beispielsweise Reallabore zum Testen der neuen Mobilitätskonzepte und zur Ermittlung der Umsetzbarkeit neuer Technologien und Bedienformen. Nur so kann automatisiertes Fahren optimal implementiert und die Chance auf erhöhte Lebensqualität in den Städten ebenso wie im Umland genutzt werden.

**Stefan Trommer** leitet im DLR-Institut für Verkehrsforschung die Gruppe Technik-Akzeptanz und Nutzenbewertung.



Simon Clark an seiner Wirkungsstätte am Helmholtz-Institut Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung (HIU)

# LADEZUSTAND: FULL POWER



**O**b Elektroauto, Stromspeicher oder Mobiltelefon – ohne leistungsfähige und im Betrieb sichere Batterien kein Fortschritt bei Elektromobilität und Energieversorgung. Ein Amerikaner in Ulm sucht neue Wege und ist ganz nebenbei auch noch in Afrika unterwegs.

Simon Clark erforscht am DLR Batterien für morgen und macht als „Ingenieur ohne Grenzen“ schon heute die Welt ein bisschen besser

Von Denise Nüssle

Es sind 4.776 Meilen von Columbus im amerikanischen Bundesstaat Georgia bis Ulm, der Universitätsstadt am Rande der Schwäbischen Alb. Für Simon Clark begann diese Reise ins ferne Deutschland vor zehn Jahren mit einem Auslandssemester. Zum ersten Mal verließ er die USA, den Koffer gepackt, den Reisepass in der Hand und die ersten Brocken Deutsch auf der Zunge. Diese hatte er im Sprachkurs an seiner Heimatuniversität Georgia Tech in Atlanta gelernt. Sie zählt zu den größten ingenieurwissenschaftlichen Hochschulen der Vereinigten Staaten. Für viele ihrer Studierenden ist Deutschland ein beliebtes Ziel: Es locken Ruf und Tradition seiner Ingenieure.

Angekommen ist Simon Clark aber nicht nur im Land der Ingenieure, sondern auch im Land der Energiewende, der oft gewöhnungsbedürftigen regionalen Dialekte und der mit Hingabe praktizierten Gepflogenheit der Mülltrennung. Als Doktorand arbeitet er beim DLR und erforscht am Helmholtz-Zentrum für Elektrochemische Energiespeicherung in Ulm Batterien der nächsten Generation. Diese sollen mobilen Geräten zu mehr Leistung und Laufzeit verhelfen sowie Strom aus Windkraft- oder Solaranlagen speichern, der gerade nicht benötigt wird. Clark wohnt in einem kleinen Haus mit Garten, an dem er gerne werkelt und repariert – eine der Schwabenseele nur allzu bekannte Lebensart. Dank seiner Nachbarn, die den Zugezogenen aus dem Südosten der USA schnell ins Herz geschlossen haben, kommen ihm die schwäbischen Vokabeln genauso leicht über die Lippen wie die Erklärung des hiesigen Recycling-Rituals gegenüber Besuchern aus seiner Heimat.

## Was kommt nach der Lithium-Ionen-Batterie?

Beim DLR hat Clark die Möglichkeit, an einem absoluten Zukunftsthema mitzuarbeiten, das vor allem die weiteren Entwicklungen in Mobilität und Energieversorgung entscheidend beeinflussen wird: Von Elektrofahrzeugen über Stromspeicher bis hin zu den meisten tragbaren Geräten wie Smartphones – überall kommen Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz. Diese haben jedoch entscheidende Nachteile: Da Lithium leicht entzündlich ist, können fehlerhafte Batterien anfangen zu brennen oder gar explodieren. Leistung und Lebensdauer halten nicht mit den hohen Nutzeranforderungen Schritt und schließlich ist Lithium auf der Erde zwar häufig, aber nicht unbegrenzt vorhanden, müsste in Zukunft also aufwändig wiederverwendbar gemacht werden. „Um in Sachen Batterie nachhaltig aufgestellt zu sein, beschäftigen wir uns gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung mit der Frage, was nach der Lithium-Batterie

Bild: DLR/Frank Eppler

## HELMHOLTZ-INSTITUT ULM FÜR ELEKTROCHEMISCHE ENERGIESPEICHERUNG (HIU)

Am HIU erforschen und entwickeln mehr als einhundert Wissenschaftler Konzepte für Batterien der nächsten und übernächsten Generation als Schlüssel zur Energiewende und zu mehr Elektromobilität. Damit leistet das HIU einen wichtigen Beitrag zur Zukunftssicherung in diesem bedeutenden Bereich der Energieversorgung und trägt maßgeblich zum Kompetenzaufbau des Forschungs- und Industriestandorts Deutschland bei. Es wurde im Jahr 2011 vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) in Kooperation mit der Universität Ulm gegründet. Assoziierte Partner sind das DLR, das wie das KIT Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft ist, sowie das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW).

kommt“, fasst Professor Arnulf Latz zusammen. Er leitet beim DLR-Institut für Technische Thermodynamik die Abteilung Computergestützte Elektrochemie, die am Helmholtz-Institut für Elektrochemische Energiespeicherung in Ulm angesiedelt ist.

Über ihn führte Simon Clarks Weg ins DLR. Nach dem Bachelor-Abschluss fand er seinen ersten Job in Deutschland bei einer kleinen Ingenieurfirma in Ulm und bekam dort Kontakt zum DLR. Die schwäbische Unistadt ist stark vertreten im Bereich der Energieforschung: Neben dem Helmholtz-Institut arbeiten die dortige Universität und das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) auf diesem Feld. „Das Thema Energie ist eine große Herausforderung für Forschung und Gesellschaft, ein superinteressantes Gebiet und gleichzeitig ganz nah an unserem Alltag“, begründet Clark seine Entscheidung für das Master-Studium „Energy Science and Technology“ in Ulm, bei dem er Arnulf Latz kennenlernte, der ihn im Fach Simulation und Modellierung unterrichtete.

### Strom kompakter und effizienter speichern

In Latz' Team untersucht der Amerikaner gemeinsam mit einem Dutzend Kollegen neue Batteriekonzepte. Ein Schwerpunkt sind Metall-Luft-Batterien, bei denen eine Elektrode aus Metall besteht und die andere aus dem Sauerstoff der Luft. Der Vorteil dieses Aufbaus: Viel mehr Energie lässt sich in einem deutlich kleineren Volumen zu günstigeren Preisen speichern. Neben Lithium kommen Magnesium, Natrium, Aluminium, Calcium, Eisen oder Zink dafür infrage. Simon Clark konzentriert sich in seiner Doktorarbeit auf Zink. Es ist ein reaktives Metall, das häufig in der Natur vorkommt, sich aber im Gegensatz zum hochreaktiven Lithium auch in einer feuchten Sauerstoffatmosphäre sicher handhaben lässt.

Zink-Luft-Batterien existieren bereits und kommen zum Beispiel in Hörgeräten zum Einsatz. Allerdings handelt es sich dabei um Primärbatterien: Sie können nur einmal entladen und nicht wieder aufgeladen werden. Clark arbeitet deshalb an Sekundärbatterien auf Zink-Luft-Basis, die möglichst oft und mit möglichst wenig Verlusten aufgeladen und entladen werden können, also eine hohe Ladezyklenfestigkeit und damit eine lange Lebensdauer aufweisen.

Die Herausforderung liegt wie immer im Detail: „Da wir bei diesem Konzept ganz normale Umgebungsluft verwenden, kann der Kohlenstoffdioxidanteil der Luft die elektrochemischen Prozesse, die im Inneren der Batteriezelle ablaufen, negativ beeinflussen. Dadurch wird die Leistungsfähigkeit der Zelle herabgesetzt, sie degradiert, wie wir sagen“, erklärt Clark. Er untersucht deshalb die Architektur, also den optimalen Aufbau solcher Batterien sowie speziell für sie geeignete Elektrolyte. Das Elektrolyt ist ein zentraler Bestandteil jeder Batterie. Seine beweglichen und elektrisch geladenen Ionen machen die elektrochemischen Prozesse, die dazu führen, dass eine Batterie beim Entladen Strom abgibt und beim Laden wieder aufnehmen kann, erst möglich. Elektrolyte können Flüssigkeiten, aber auch Feststoffe sein. „Die schwierigste Aufgabe ist es, zu verstehen, welche komplizierten Reaktionsprozesse unter welchen Bedingungen im Elektrolyt ablaufen und wie sie sich auf die Leistung der Zelle auswirken“, so der DLR-Wissenschaftler.

Bis die theoretischen Grundlagen entwickelt sind, entsprechende Batteriekonzepte getestet wurden und die Technologie in einem kommerziellen Produkt anwendbar ist, werden wohl noch zehn Jahre vergehen. Als vielversprechendes Einsatzgebiet für Zink-Luft-Batterien gelten Stromspeicher, um Strom aus regenerativen Energiequellen vorzuhalten und bei Bedarf ins Netz zurückzuspeisen. Im Gegensatz zu Batterien auf Lithium-Ionen- oder Blei-Säure-Basis sind sie sehr sicher und nicht giftig. „Gehen sie kaputt, explodieren sie nicht, sondern sind eben nur kaputt. Außerdem sehen wir in Zink-Luft-Batterien das Potenzial, dass sie billiger, kompakter und aufgrund ihrer höheren Energiedichte auch leistungsfähiger sein werden als Lithium-Batterien“, erläutert Clarks wissenschaftlicher Betreuer Professor Arnulf Latz.



Simon Clark ist mit viel Herzblut dabei: ob bei der Vermittlung von Technik-Wissen in Mozambique oder bei der Doktorarbeit in Ulm

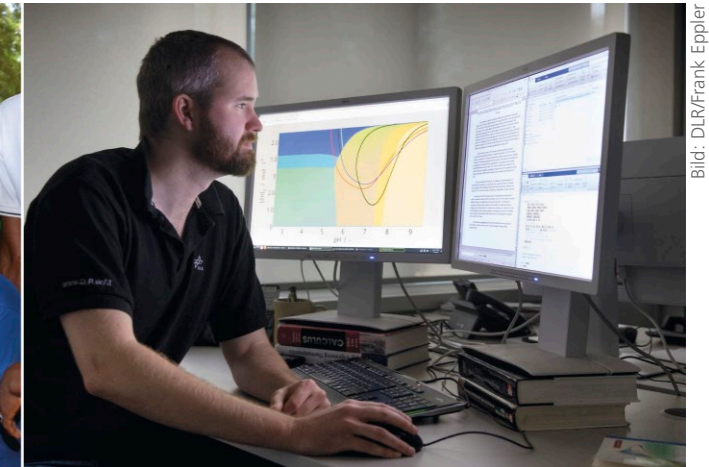


Bild: DLR/Frank Eppler

### Batterie von morgen – heute schon simuliert

Bis dahin hält der Arbeitsalltag für Simon Clark und seine Kollegen zunächst noch viele Stunden am Computer bereit. Sie entwickeln Modelle und simulieren, welche Prozesse in den Batteriezellen ablaufen. Mit diesem Wissen werden erste kleine Batteriezellen gebaut und dann zum Beispiel von den Stuttgarter Institutskollegen der Abteilung Elektrochemische Energietechnik in Laborversuchen getestet. Deren Ergebnisse fließen wiederum in die Modelle ein. „Eine Zelle hundert Mal zu laden und wieder zu entladen und die dabei ablaufenden Prozesse zu beobachten, das dauert im Labor oft Monate. Am Rechner können wir das innerhalb eines Tages simulieren und ermöglichen so gezieltere und wesentlich effizientere Laborversuche.“

Die Möglichkeit, sich mit den experimentell arbeitenden Kollegen am DLR in Stuttgart auszutauschen, schätzt der Amerikaner genauso wie die Zusammenarbeit mit internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft. „Gemeinsam stoßen wir immer wieder auf neue Faktoren, die einfach nicht vorhersehbar waren und die wir weiter untersuchen wollen. Genau das ist es auch, was mir an der Arbeit im DLR so gut gefällt: Wir können mit einer langfristigen Perspektive forschen und haben die Freiheit, Dinge manchmal einfach auszuprobieren. Gleichzeitig hat unsere Arbeit einen ganz praktischen Anwendungsbezug – für mich ist das die ideale Mischung.“

### Ingenieur ohne Grenzen

International und voller Energie ist Simon Clark auch in seiner Freizeit unterwegs. Seit er im Jahr 2006 noch als Student in den USA einen Vortrag der weltweit tätigen Hilfsorganisation „Ingenieure ohne Grenzen“ hörte, hat ihn die Idee dahinter nicht mehr losgelassen. „Uns geht es darum, in Entwicklungsländern gemeinsam mit den Menschen vor Ort Technik zu entwickeln und das Wissen zu vermitteln, damit diese dort selbstständig angewendet und gewartet werden kann“, beschreibt Clark den Ansatz der Organisation. „Technische Geräte einfach nur mitzubringen und aufzustellen, bringt langfristig oft nichts, weil sie kaputtgehen können und lokal die Mittel fehlen, sie zu reparieren.“ Die praktische Arbeit vor Ort, nah an den Menschen und ihren Bedürfnissen, gefällt dem DLR-Forscher gut. Seit er in Ulm ist, gehört er zum harten Kern der dortigen Gruppe von Ingenieuren ohne Grenzen und hat mitgeholfen, Projekte in Honduras und Kamerun anzustoßen.

Sein erster eigener Einsatz führte ihn 2012 nach Mozambique, um dort abgelegene Schulen zu elektrifizieren. Die Infrastruktur des bis in die Neunzigerjahre vom Bürgerkrieg gebeutelten Landes in Südafrika ist bis heute vor allem in den ländlichen Gebieten schwach. Mehr als die Hälfte der heute Erwachsenen hat nie lesen oder schreiben gelernt. „Die einzige Möglichkeit für diese Menschen ist es, das

abends in Schulen nachzuholen. Dazu braucht man allerdings Licht“, erklärt Simon Clark die Hintergründe des Projekts. Deshalb hat die Gruppe um den DLR-Wissenschaftler eine Lampe entwickelt, welche die Leute in Mozambique mit einfachen Mitteln selbst bauen können und die mit Solaranlagen betrieben wird. „Das ist Learning by Doing. Gleichzeitig identifizieren sich die Techniker, die wir ausbilden, viel mehr mit ihrem eigenen Produkt und übernehmen Verantwortung dafür.“

Drei weitere Male war Simon Clark bisher in Mozambique. Ein bisschen Zeit brauche man schon immer, um mental in einem Land anzukommen, in dem feste Zeitpläne nicht existieren, das Leben langsamer vonstatten geht und in dem es auf dem Land keinen Strom und kaum geteerte Straßen gibt, meint er. „Wir haben aber nie Kontaktprobleme gehabt, die Mehrheit der Menschen ist sehr neugierig, aufgeschlossen und freundlich. Das macht es einfach, persönliche Beziehungen aufzubauen, die für den Erfolg unseres Projekts extrem wichtig sind“, fasst Clark seine Erfahrungen zusammen. Dass für sein Engagement ein Großteil seines Urlaubs draufgeht, sieht er entspannt: „Ich erhalte dadurch ganz andere Perspektiven, lerne viel Neues kennen und kann meine Aufmerksamkeit mal auf etwas völlig anderes lenken. Das gibt mir neuen Antrieb und vermittelt mir das Gefühl, mit meiner Freizeit etwas Gutes und Sinnvolles gemacht zu haben.“ Nach der Rückkehr von seinem letzten Aufenthalt im Februar dieses Jahres saß Clark am nächsten Tag gleich wieder in seinem Büro beim DLR – schließlich soll ja auch die Doktorarbeit in einem Jahr fertig sein.

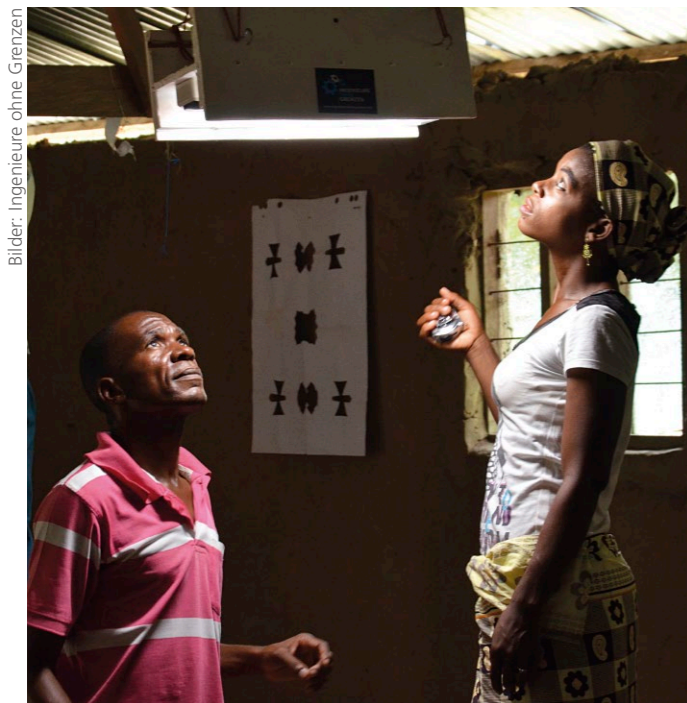
## BLICK IN DIE ZUKUNFT

### Die nächste Generation von Batterien (in fünf Jahren)

Lithium-Batterien werden besser, sicherer und billiger bei geringerem Materialeinsatz. Ansätze dazu sind zum Beispiel die Verwendung von Glas als Elektrolyt, um Kurzschlüsse und Brände zu verhindern, oder Weiterentwicklungen wie Lithium-Metall-, Lithium-Schwefel- oder Lithium-Luft-Batterien.

### Die übernächste Generation von Batterien (zehn Jahre +)

Es werden neue Batteriekonzepte entwickelt, die unabhängig von Lithium sind. Nach Alternativen zur Lithium-Technologie zu suchen, ist unter Batterieforschern Konsens – wohin der Weg genau führen wird, ist noch unklar. Deshalb werden abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall unterschiedliche Ansätze verfolgt.



Technisches Wissen für den Alltag zu vermitteln, gehört zu den Grundsätzen der Arbeit der Ingenieure ohne Grenzen

# LEICHT AUF KURZER STRECKE

**D**as Kurzstreckenflugzeug von morgen: Wie soll es aussehen und welche Eigenschaften muss es haben, um den Spagat zwischen Effizienz und Kosten optimal hinzubekommen? Fragen, auf die DLR-Wissenschaftler und -Wissenschaftlerinnen Antworten geben. Sie arbeiten dazu mit dem führenden europäischen Flugzeugbauer Airbus und dessen Zulieferern Premium Aerotec, Fokker und Stelia Aerospace sowie der Fraunhofer-Gesellschaft zusammen. Einen bedeutenden europäischen Wirtschaftszweig macht das DLR mit innovativen Werkstoffen und automatisierter Produktion somit fit für die Zukunft.

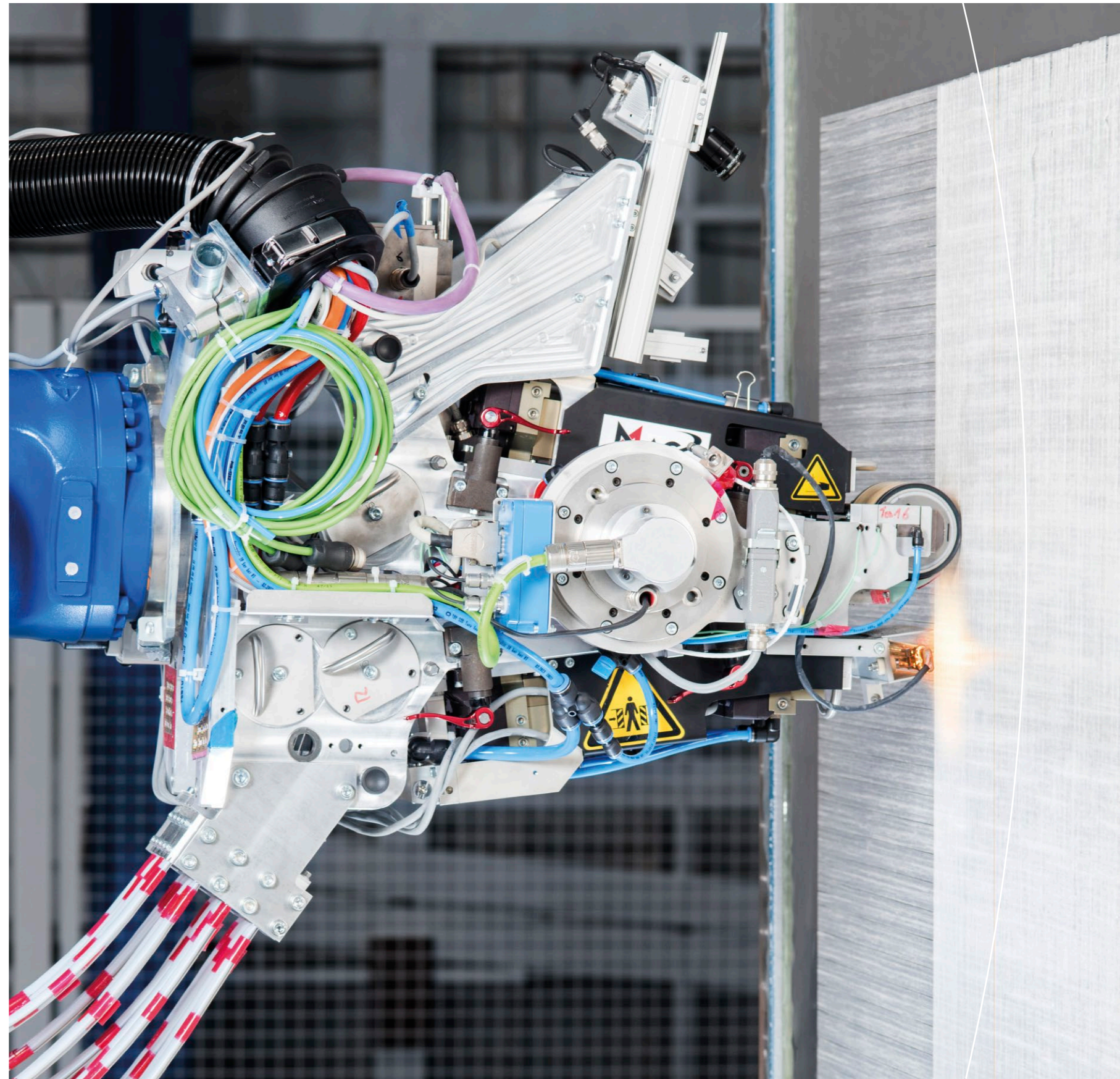


Automatisierte Bauteilfertigung aus Faser-Metall-Laminaten hat das Potenzial für hohe Produktionsraten im Flugzeugbau

Von Jana Hoidis und Nicole Waibel

Faser-Metall-Laminat – ein Begriff, den man sich merken muss. Insbesondere eine Kombination aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und Aluminium ist ein Hoffnungsträger für die Flugzeugbauer. Großflächige Rumpfkomponten aus diesem Hochleistungswerkstoff haben das Potenzial, Kurzstreckenflugzeuge bis zu 400 Kilogramm leichter zu machen. Und das bei gleichbleibenden Herstellungskosten. „Glasfaser-Aluminium-Laminat ist eines der vielversprechendsten Materialien für fortschrittliche Metallrumpfbauweisen und somit eine mögliche Lösung für Flugzeuge der nächsten Generation“, erklärt Gesamtprojektleiter Hakan Uçan. Optimistisch blickt er in die Zukunft „Das Material ist leichter als Aluminium und wird bei automatisierter Produktion kostengünstiger als carbonfaserverstärkter Kunststoff, der im Airbus A350 eingesetzt wurde und sich eigentlich erst auf Langstreckenflügen rentiert. Kurzstreckenflugzeuge sind oft länger am Boden als in der Luft. Faser-Metall-Laminat wären in diesem Fall eine effiziente Alternative.“

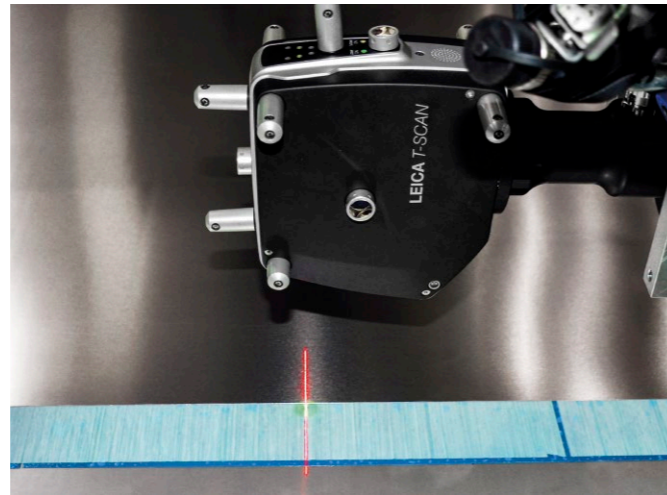
Ein augenscheinlich perfekter Werkstoff für den Flugzeugbau. Wenn doch die Produktion nicht – wie bei allen Faserverbundwerkstoffen – in großen Teilen manuell abläufe. Damit wirtschaftlich produziert werden kann, müssen die Bauteile hochautomatisiert gefertigt werden. Hier setzen die DLR-Ingenieure an. Gemeinsam wollen das Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in



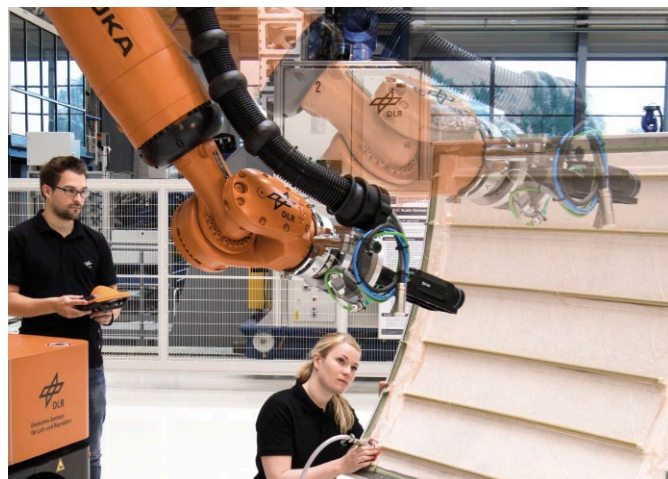
Ein Roboter legt dünne Glasfaserstreifen ab. Schicht für Schicht entsteht das Faser-Metall-Laminat.



Zwei Roboter legen kooperierend das Aluminium ab



Ein Lasersensor prüft die genaue Ablage der Aluminiumzuschnitte



Nach Versiegeln des Bauteils mit einer luftdichten Folie spürt eine Infrarotkamera undichte Stellen auf



Sensoren wie die im Bild sichern die Qualität des Bauteils, während es im Autoklav aushärtet

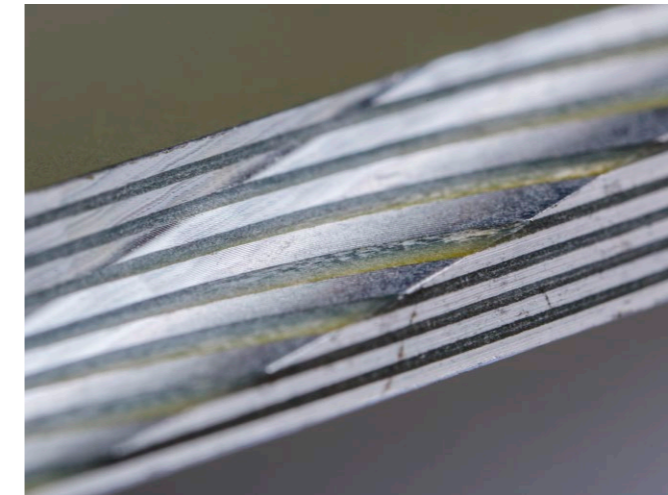
Braunschweig, das Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie in Stuttgart, das Institut für Werkstoff-Forschung in Köln und das Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) mit seinen Standorten in Stade und Augsburg die Herstellung von Bauteilen aus Faser-Metall-Laminat in automatisierte Prozesse überführen – bis zur Industrialisierungsfähigkeit.

„Mit unseren Forschungs- und Versuchsanlagen verfügen wir über Hochtechnologie, die es uns ermöglicht, Dinge zu erproben, wie es der Industrie allein nicht möglich wäre. Wir wollen zusammen mit unseren Partnern eine effiziente, automatisierte Produktion von großflächigen Rumpfsegmenten entwickeln, die sowohl einen hohen Grad der Qualitätssicherung als auch eine hohe Takt-Rate ermöglicht“, erläutert Uçan das Ziel. 60 bis 70 Flugzeuge sollen ab

2025 pro Monat vom Band rollen. „Ein Flugzeugrumpf, der aus Großschalenbauteilen und somit aus weniger Einzelteilen besteht, hat auch weniger genietete Längs- und Quernähte. Das spart nicht nur Fertigungsschritte beim Zusammenbau, sondern macht das Flugzeug auch leichter“, führt Uçan zu den Vorteilen von großen Rumpfsektionen aus.

#### Viele Schritte – ein Prozess

Der Fertigungsprozess einer Rumpfschale aus FML besteht aus vielen Einzelschritten. Einer dieser Schritte ist der Aufbau der Lagen. Die einzelnen Schichten aus Aluminiumfolie, Glasfaser und Klebfilm werden nach heutigem Stand der Technik manuell zusammengeführt. Das kostet viel Zeit und ist fehleranfällig. „DLR-Aufgabe ist es,



#### Was sind Faser-Metall-Laminat?

Mehrere 0,2 bis 0,5 Millimeter dicke Schichten Metallfolie wechselseitig verklebt mit glasfaserverstärktem Kunststoff – das ist ein Faser-Metall-Laminat (FML). Diese Laminat sind Hochleistungswerkstoffe im modernen Flugzeugbau und kombinieren die Vorteile von Metall und Faserverbundkunststoffen. Erstmals großflächig verbaut wurde glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) mit Aluminium am Airbus A380. Die GFK-Lagen verringern das Ausbreiten eventueller Risse. Hinsichtlich des Ermüdungsverhaltens zeigt das Material Vorteile gegenüber reinem Aluminium. Glasfaser-Aluminium-Laminat ist zudem leichter als reines Aluminium, gleichzeitig sind die Ausgangsmaterialien kostengünstiger als die von carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK).

alle Einzelschritte in einen automatisierten Prozess zu überführen“, erklärt Dorothea Nieberl vom Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) in Augsburg, die zwei Arbeitspakete koordiniert. Zuerst werden die verschiedenen Schritte einzeln genau untersucht: Die Wissenschaftler des ZLP in Augsburg widmen sich der Aluminiumablage, die Kollegen des ZLP in Stade der Glasfaserablage und das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM) kümmert sich um das Aufbringen des Klebfilms. Anschließend werden die Einzellösungen zusammengeführt.

„Eine durchgängige Produktionskette ist essenziell für eine hohe Prozesssicherheit und konstante Produktqualität“, betont Nieberl. Auch die automatisierte Qualitätssicherung ist für eine industrielle Herstellung von FML unabdingbar. In der heutigen, manuellen Fertigung erfolgt die Bauteilprüfung nach der Produktion. Ein Qualitätssicherungskonzept, das schon den Herstellungsprozess begleitet, hilft, Ausschuss und Nacharbeiten zu verringern. „Wir untersuchen, an welchen Stellen im Produktionsprozess eine integrierte Prüfung notwendig, möglich und letztlich wirtschaftlich ist“, so Nieberl.

#### Schicht auf Schicht: Aluminium und Glasfasern im Wechsel

Dorothea Nieberl verrät, worauf es bei der Ablage der Aluminiumfolien ankommt: „Entscheidend ist, die Folien genau zu positionieren, ohne dass Luftpneinschlüsse entstehen oder die unteren Lagen verrutschen.“ Wegen der Länge der Aluminiumfolie von bis zu acht Metern kommen gleich zwei kooperierende Roboter zum Einsatz. Sie nehmen die Bahn jeweils an einem der beiden Enden auf, transportieren sie und legen sie in die Form. „Wir können so auch große Zuschnitte sicher handhaben und hochgenau in Position bringen“, nennt Nieberl die Vorteile. Wie stark die Folie dabei gekrümmt wird, lässt sich einstellen: Die Roboter können die Zuschnitte aus verschie-

denen Positionen aufnehmen – zweidimensional von einem flachen Aufnahmetisch oder bereits gekrümmt – und in der Form für die Rumpfschale ablegen. „Einen Streifengreifer, den wir für die Ablage von carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) bereits konstruiert haben, entwickeln wir nun für die Alu-Ablage weiter.“

Nicht nur für die Ablage der Aluminiumfolien, sondern auch für das Aufbringen der Glasfasern wird ein Konzept aus der CFK-Fertigung übernommen und angepasst. Mittels der Automated-Fibre-Placement-Technologie (AFP) werden parallel mehrere mit Harz vorprägnierte Faserstränge durch einen Roboter in ein Formwerkzeug abgelegt. Die Vorteile dieser Technologie liegen in der genauen und automatisierten Faserablage. Das vorherige Zuschneiden entfällt; damit gibt es auch keinen Verschnitt von Materialien mehr.

Neben der Bahnplanung, Simulation und Programmierung der Roboter gehört auch eine zuverlässige Qualitätssicherung zu den Aufgaben der Wissenschaftler. Die Positioniergenauigkeit der abgelegten Aluminiumzuschnitte wird mit einem laserbasierten Verfahren sichergestellt, sodass die Bleche lücken- und faltenfrei in die Form kommen. Bei der Glasfaserablage prüft ebenfalls ein Lasersensor, ob es unerwünschte Lücken zwischen den einzelnen Faserbahnen gibt oder diese Fehler im Material aufweisen.

Weshalb gerade das DLR für diese Zukunftsforschung prädestiniert ist, erklärt Hakan Uçan so: „Unsere Wissenschaftler an den Standorten Stade und Augsburg entwickeln seit 2009 Forschungsanlagen weiter, mit denen wir großflächige Strukturbauteile automatisiert fertigen können. Sie sind ideal für diese Versuche im Maßstab 1 : 1. Unseren Industriepartnern können wir so eine flexible Möglichkeit anbieten, eine Technologie bis zu einem hohen Reifegrad zu entwickeln, sodass sie ohne großen Weiterentwicklungsaufwand in die industrielle Produktion überführt werden kann.“

#### Gesamtprozesskette bei der Bauteilfertigung aus Faser-Metall-Laminat (FML)



Forschungspakete des DLR im vorgestellten Projekt

#### JEC World in Paris mit Start-up-Wettbewerb

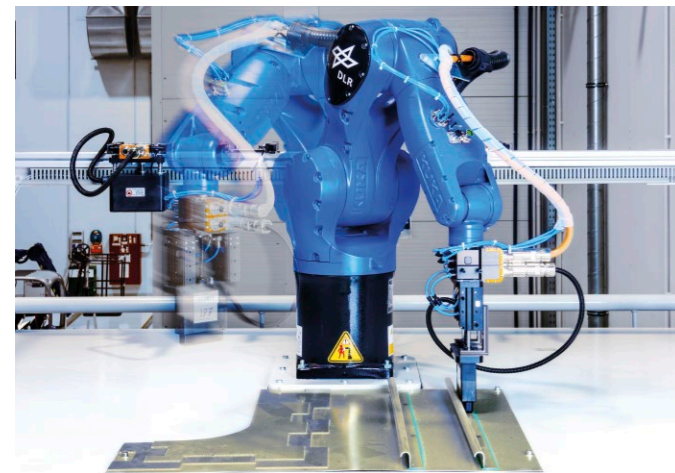
Das DLR wird im kommenden Jahr wieder mit einem eigenen Stand auf der JEC World, der weltweit größten Messe der Faserverbundbranche, in Paris vom 6. bis 8. März 2018 vertreten sein und seine neuesten Entwicklungen in diesem Bereich präsentieren. Paris ist zugleich Schauplatz des größten internationalen Start-up-Wettbewerbs für Innovationen der Faserverbundwerkstoffindustrie.

Weitere Informationen, auch zur Einreichung der Projekte, unter [bit.ly/2uPCWLS](http://bit.ly/2uPCWLS)

## Aushärten und Versteifen

Liegt die Haut erst in der Schale, so müssen nun noch die Versteifungselemente, sogenannte Stringer, aufgebracht werden. „Wir verkleben die Stringer mit einer eigens hierfür entwickelten und patentierten Technologie. Auf Grundlage elektromagnetischer Induktion gelangt innerhalb kürzester Zeit direkt Wärme an die Verklebungsstelle, ähnlich wie bei einem Induktionsherd. Das verkürzt die Prozesszeiten von etwa einer Minute auf wenige Sekunden“, erläutert Uçan die Vorteile der Induktion, die konventionelle Heizmethoden beim Verkleben ersetzt. Die Stringer werden zusammen mit der Rumpfhaut unter einer Vakuumfolie versiegelt. Bereits kleinste Leckagen, wie Löcher in der Folie, können die Qualität des Bauteils negativ beeinflussen. Eine eigens entwickelte Leckage-Erkennung spürt mit Hilfe der Infrarottechnologie undichte Stellen in der Folie auf, bevor das Bauteil im DLR Stade in den Forschungsautoklav BALU™ kommt, worin es schließlich ausgehärtet wird. Um das Innere des Bauteils genau überwachen zu können, bedienen sich die Wissenschaftler faseroptischer Sensoren, die sich neben den anderen Glasfasern im Bauteil befinden. Zusätzlich werden noch unterschiedliche Sensoren getestet, mit denen später der Aushärteprozess im Bauteil von außen überprüft werden soll. Somit können während der gesamten Prozesszeit Informationen über den internen Materialzustand abgerufen werden.

„Ein Faser-Metall-Laminat aus glasfaserverstärktem Kunststoff und Aluminium entwickelt während der Fertigung einen komplizierten Eigenspannungszustand“, weiß Dr. Erik Kappel aus Braunschweig. „Über die Sensorik können wir bereits während des Autoklavprozesses erkennen, ob sich ein Teil nach dem Aushärten verformen wird, und umgehend Prozessparameter wie Temperatur oder Druck verändern.“ Das kann man sich ähnlich vorstellen wie Kuchenbacken: Wenn man diesen zu kurz, zu lange oder mit der falschen Temperatur bäckt, kann er nach dem Backen zusammenfallen oder ist verbrannt. „Die Sensorik ist quasi unser Holzstäbchen, mit dem man beim Kuchen prüft, ob der



Wie die induktive Vorverklebung von Versteifungselementen automatisiert werden kann, untersuchen die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler am Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) in Stade

In die biaxiale Prüfmaschine eingespannte Kreuzprobe am DLR-Institut für Werkstoff-Forschung in Köln (links unten) und eine Nahaufnahme einer zerrissenen Faser-Metall-Laminat-Probe



Teig durchgebacken ist“, ergänzt Uçan salopp „wir können eine Vielzahl an Eigenschaften damit überwachen.“ Sie alle haben ein Ziel: optimierte Autoklavprozesse abzuleiten, damit ein Bauteil zukünftig immer auf Anhieb gelingt und somit eine konstante Produktqualität sichergestellt ist.

## Zerreißprobe für das Material

Professor Dr. Guillermo Requena und das Wissenschaftlerteam um Julian Schwinn prüfen am Institut für Werkstoff-Forschung in Köln, wie Faser-Metall-Lamine reagieren, wenn sie mit einer Bohrung versehen werden. Bohrungen kommen im Flugzeugbau tausendfach vor. Jeder Niet, der gesetzt wird, um Bauteile miteinander zu verbinden, bedeutet ein kleines Loch. Und jedes Loch schwächt das Material. Das muss bei der Auslegung der Struktur berücksichtigt werden. „Je besser bekannt ist, wie groß die Schwächung tatsächlich ist, desto weniger zusätzliches Material muss eingesetzt werden, um diese zu kompensieren“, betont Requena.

Die Festigkeit von Faser-Metall-Laminaten mit Nietbohrungen wird in sogenannten Blunt-Notch-Prüfungen untersucht. Die Materialproben werden dabei in eine biaxiale Prüfmaschine eingespannt, mit deren Hilfe das Material in zwei Richtungen gleichzeitig gezogen oder zusammengedrückt werden kann. „Mit der biaxialen Prüfmaschine können wir gezielt einzelne Effekte untersuchen, zum Beispiel bruchmechanisches Verhalten wie Risse oder das Verhalten ganzer Strukturen. So kann auch eine Flugzeughaut mit Stringern überprüft werden“, erklärt Requena. „Unser Ziel ist es, ein Modell zur Vorhersage des Verhaltens an Bohrungen zu erstellen. Auf diese Weise können wir die Einsatzmöglichkeiten von FML ausloten und die positiven Werkstoffeigenschaften voll ausschöpfen.“

Jana Hoidis arbeitet im Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Nicole Waibel im Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie. Beide sind unter anderem mit der Öffentlichkeitsarbeit betraut.



## Hakan Uçan ...

... studierte Maschinenbau an der Technischen Universität Darmstadt. Seit 2009 arbeitet er am Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in Stade. Als Teamleiter ist er verantwortlich für den Bereich der Aushärtungs- und Infusionsprozesse von Leichtbaustrukturen.

Hakan Uçan ist Gesamtprojektleiter des vorgestellten Projekts und koordiniert die Arbeiten an den DLR-Standorten Augsburg, Braunschweig, Köln und Stade.

## Ein Blick in die Zukunft

Drei Fragen an Projektleiter Hakan Uçan

### Was sind Ihre nächsten Forschungsziele?

Wir konzentrieren uns bis 2021 darauf, eine neue Prozesskette für die Rumpfschalenherstellung zu entwickeln. Neben der erstmaligen Automatisierung der Metall-Laminat-Herstellung wollen wir Felder für die Flugzeughaut in großen Dimensionen produzieren. Ein Teilerfolg ist uns zusammen mit unseren Industriepartnern bereits gelungen: der erste automatisierte Ablageprozess eines Rumpfschalenausschnitts. Das ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Industrialisierung dieser Technologie bis hin zur Serienproduktion. Das DLR trägt hierzu Schlüsseltechnologien bei.

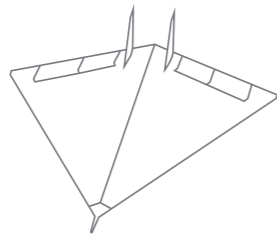
### Wo sehen Sie Faser-Metall-Lamine in fünfzehn Jahren?

Seit Jahren steigt die Anzahl der Flugpassagiere auf kurzen Strecken und damit die Anzahl der Flugzeuge. Dieser Trend wird sich vermutlich noch fortsetzen. Vor einigen Jahren noch standen Kurzflüge von Frankfurt nach München nicht zur Debatte. Heute gehören sie zum Alltag. Über ein neues Kurzstreckenflugzeug wird bereits seit Langem gesprochen. Dieses wird kommen, wann und aus welchem Werkstoff, hängt jedoch von vielen Faktoren ab. Wenn wir es schaffen, dass FML effizient und automatisiert produziert werden kann, hat es gute Chancen, in einem zukünftigen Flieger verbaut zu werden.

### Ist dieser neue Stern am Werkstoff-Himmel auch für andere Branchen relevant?

Derzeit kommt das Material für zukünftige Flugzeug-Generationen in Betracht. Theoretisch könnte es aufgrund seines geringen Gewichts und seinen – im Vergleich zum Aluminium – besseren mechanischen Eigenschaften auch für die Automobilindustrie interessant sein. Aber alles beginnt und endet mit dem Preis: Für eine wirtschaftliche Produktion in hohen Stückzahlen müsste noch weiter geforscht werden. Langfristig könnte FML auch in den Alltag einziehen, so wie es bei vielen anderen Hochleistungsmaterialien, beispielsweise CFK, der Fall war. Lassen wir uns überraschen, welche Gebrauchsgegenstände uns in einigen Jahren aus Faser-Metall-Laminaten begegnen werden ...

# PFEILFÖRMIG AM HIMMEL



**F**ür die nächsten Jahre wird weiterhin ein stetig steigender Luftverkehr prognostiziert. Um sicher zu fliegen, auch wenn es am Himmel immer voller wird, wird es neuartige Fluggeräte geben müssen. Mit dem Erprobungsträger SAGITTA können innovative Strukturkomponenten getestet werden.

## 3, 2, 1, Start: Erstflug mit DLR-Systemkompetenz

Von Jana Hoidis

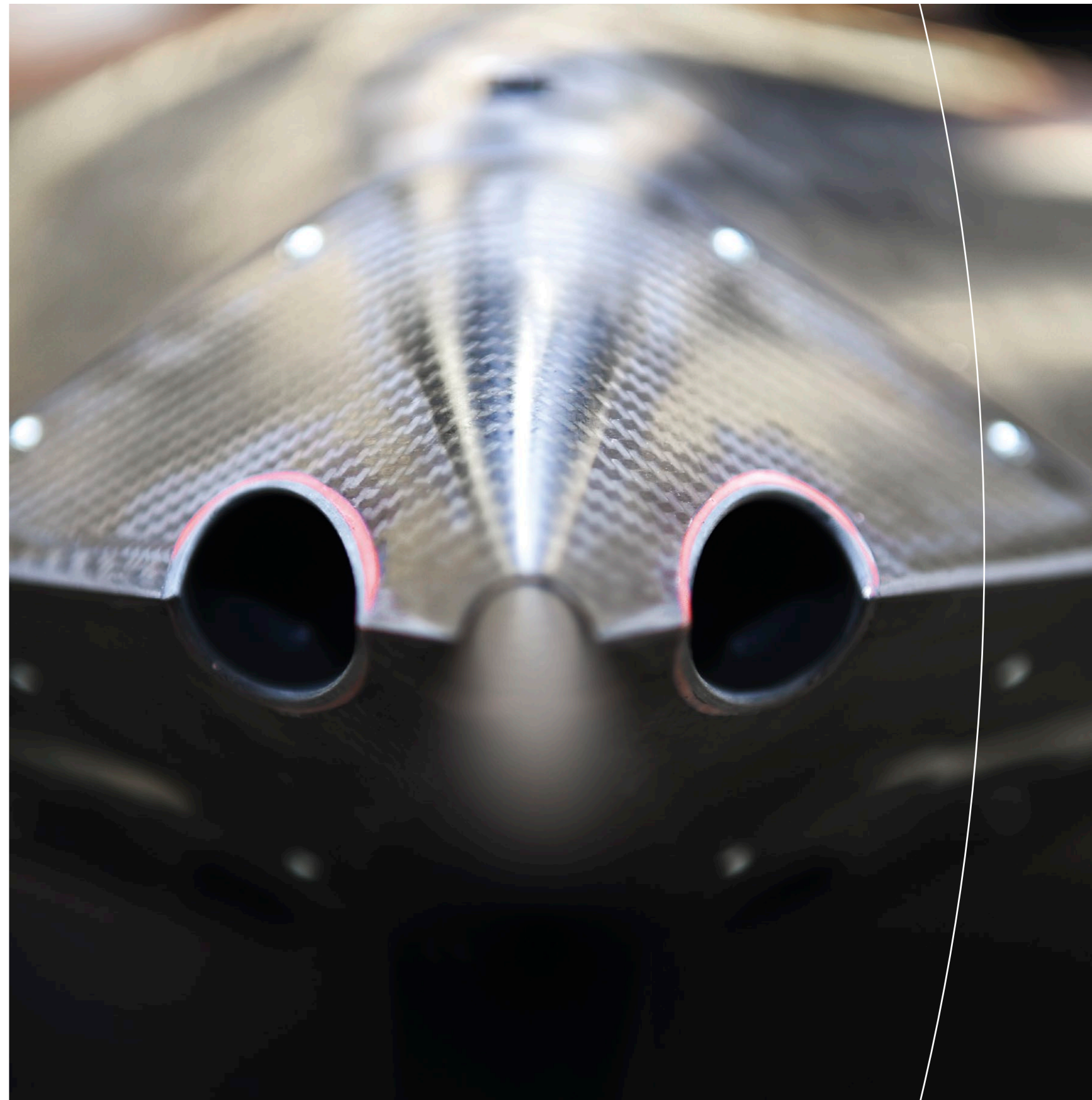
Die Anspannung ist groß. Ingenieure und Techniker starren auf die Startbahn. An der eigens für den Flugversuch eingerichteten Kontrollstation drückt der Flight Operator den Startknopf. Auf das, was nun gleich auf dem Flugexperimentgelände in Südafrika passiert, hat das DLR als Teil des Projektteams „Open Innovation“ unter Führung von Airbus seit Jahren hingearbeitet. Der gebaute unbemannte Nurflügler startet. Und er fliegt. Völlig autonom: Alle wichtigen Flugparameter inklusive der Route wurden bereits vor dem Start in das Flugzeug eingespeist.

„Da liegen die Nerven blank!“, beschreibt Versuchsingenieur Richard Kuchar vom DLR-Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik das Gefühl, das ihn beim Erleben des Starts überkam. Er war live beim Erstflug auf dem Testgelände in Overberg in Südafrika dabei. „Da werden Jahre der Arbeit auf den Punkt gebracht. Wir hatten zuvor zwar ausgiebige Tests durchgeführt, aber man kann zuvor nie zu einhundert Prozent sicher sein, ob in der Luft auch alles funktionieren wird.“

Zuerst war angedacht, den Flugversuch auf einem Testgelände in Deutschland stattfinden zu lassen. Testfluggeräte dürfen jedoch den Flugplatz nicht verlassen. Da Europa so dicht besiedelt ist, kam aus Platz- und Sicherheitsgründen kein Fluggelände in Deutschland oder in angrenzenden Ländern infrage. Nun also Südafrika.

### Virtuell zur Realität

In den zwei Wochen vor dem Start wurde auf dem Testflugplatz noch eine umfangreiche Versuchskampagne am Boden durchgeführt, um das Unfallrisiko so gering wie möglich zu halten. Damit die Landung selbst bei einem Systemausfall sichergestellt ist, können die speziell ausgebildeten Piloten im Notfall in den Flug eingreifen und das Flugzeug vom Boden aus steuern. Vorausgegangen war eine intensive Zusammenarbeit des DLR-Instituts für Systemdynamik und Regelungstechnik in Oberpfaffenhofen mit Airbus. Gemeinsam entwickelten die Ingenieure ein virtuelles Testsystem, das alle Flugzustände in der Luft und am Boden sehr präzise und in Echtzeit simulieren kann. Bereits während der Bauphase führte



Die Nahaufnahme des Flugertprobungsträgers zeigt zwei Lufteinlässe. Sie kühlen das Steuersystem.



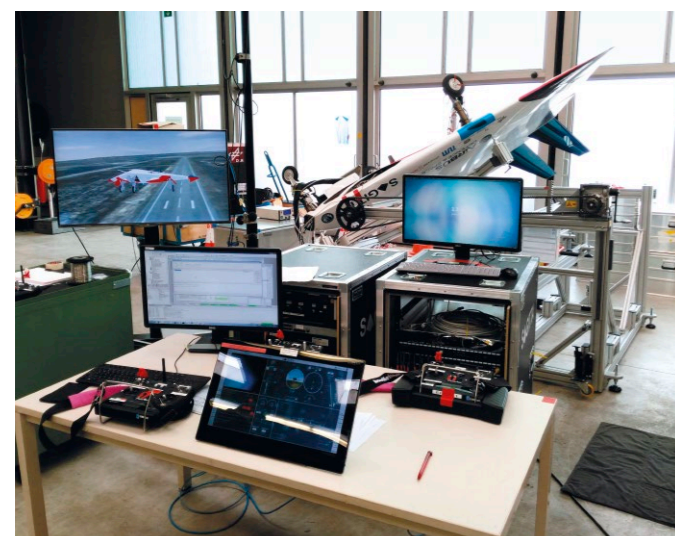
das Institut mit hierfür eigens entwickelten Simulationsmodellen und -anlagen detaillierte Integrationstests durch. Nach den virtuellen Versuchen für die einzelnen Systeme, beispielsweise das Flugsteuerungssystem, wurde schließlich das Zusammenspiel der Komponenten im gesamten Flugzeug getestet. Mit Hilfe der hieraus gewonnenen Erkenntnisse konnten die an der Erstflugkampagne beteiligten Operatoren, externe Piloten und Systemingenieure, vielfältige Flug-szenarien durchspielen, interne Abläufe erarbeiten und optimieren sowie eine Vielzahl an potenziellen Fehlermöglichkeiten betrachten. „Bis zum Start des Fliegers war es ein langer Weg“, berichtet DLR-Ingenieur Richard Kuchar. „Wir haben für den Test des Flugsteuerungssystems eine mit Airbus- und DLR-Standards kompatible spezielle Softwareplattform entwickelt, die es ermöglicht, das gesamte System, von den Komponenten bis zum physikalischen Gesamtflugzeug, in die Simulations- und Testumgebung zu integrieren und alles am Boden bis ins Detail zu überprüfen.“ Bereits 2013 konnte in Windkanaltests an der TU München und darauf aufbauenden Studien mit der DLR-Simulationsanlage nachgewiesen werden, dass das Flugzeug start- und landefähig ist. Im April dieses Jahres fanden dann die letzten Simulations- und Hardwaretests in Manching statt, nach deren erfolgreichem Abschluss Airbus die Freigabe für den Erstflug erteilte.

Am 22. Juni 2017 machte sich daraufhin ein 25 Personen starkes Team von Wissenschaftlern, Testingenieuren und Piloten auf den Weg zur großen Premiere nach Südafrika. Die spannende Frage, die sie in den folgenden drei Wochen zu beantworten hatten, lautete: Wird sich ihr Meisterstück in der Luft auch so verhalten wie zuvor etliche Male am Computer simuliert? Oder noch heikler: Wird es überhaupt in die Luft gehen? Nach mehreren Roll-Tests am Boden und letzten Prüfungen der Datenverbindung war es dann endlich so weit: der Erstflug! Sieben Minuten dauerte er. Nach dem ersten folgte sogleich der zweite, der mit neun Minuten etwas länger währte. Bei diesem konnten gleich mehrere Flugmanöver erfolgreich getestet werden: Steig- und Sinkflug sowie eine Warteschleife. „Alle Beteiligten vor Ort und zu Hause hatten hohe Erwartungen und waren sehr gespannt“, resümiert Kuchar, „umso erleichterter waren wir, als unser Flieger unversehrt wieder auf der Landebahn stand. Nun können wir ihn als Versuchsträger nutzen, um weitere Technologien direkt in der Luft zu erproben.“

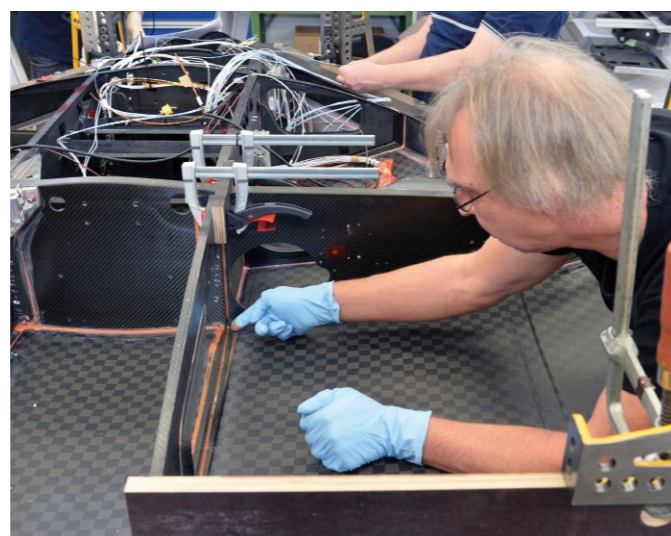


Bild: Airbus

Der Forschungsdemonstrator hebt zum Erstflug ab



Vor dem Erstflug stand die Simulation im Hangar von Airbus in Manching



Die filigranen Strukturbauteile waren sorgfältig verklebt worden

## Neuartige Flugsysteme

Die ultraleichte Struktur und die Systemkomponenten für den neuartigen Flugkörper wurden im DLR Braunschweig entwickelt und zusammengebaut. „Die unkonventionelle Konfiguration des Luftfahrzeugs erfordert für gute Flugeigenschaften eine Unterstützung durch ein Flugregelungssystem. Die hierfür notwendigen Stellsysteme für die Steuerflächen müssen außergewöhnliche Anforderungen erfüllen, da sie bei minimalem Gewicht gleichzeitig hohe Trimmlasten aushalten und eine hohe Dynamik aufweisen müssen“, erklärt Andreas Bierig vom Institut für Flugsystemtechnik. Weitere spezielle Anforderungen an das Fluggerät waren, dass das Fahrwerk einziehbar ist und das Treibstoffsystem das Fluggerät in allen Fluglagen, also auch im Rückenflug, zuverlässig versorgt. Der geringe Bauraum der kompakten Diamantform in Kombination mit hohen Sinkgeschwindigkeiten beim Anflug stellte hohe technologische Anforderungen an die Auslegung des Fahrwerks. In diesem Zusammenhang wurde unter anderem ein speziell auf die Anforderungen des Flug-Demonstrators zugeschnittener Fahrwerkprüfstand entwickelt. Damit konnte das Fahrwerkssystem optimiert werden. Auch die notwendigen Nachweise wurden so geführt.

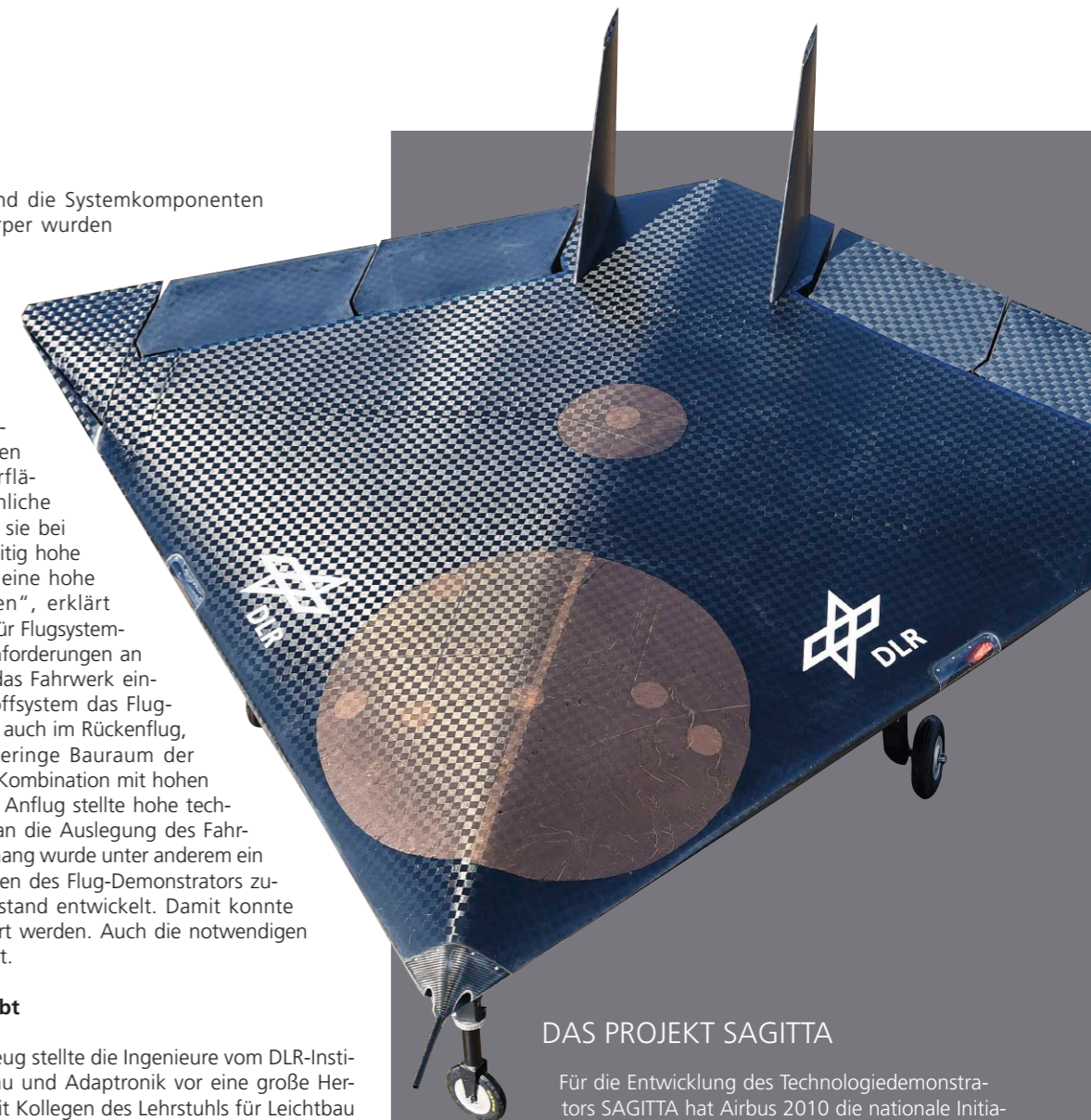
## Ultraleicht und fest verklebt

Das gänzlich neue Luftfahrzeug stellte die Ingenieure vom DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik vor eine große Herausforderung. Zusammen mit Kollegen des Lehrstuhls für Leichtbau der Technischen Universität München war es ihre Aufgabe, seine extrem leichte Struktur zu bauen. Filigrane Strukturbauteile aus hauchdünnen CFK-Lagen, in der Fachsprache Thin Plies, müssen für eine optimale Lastübertragung fehlerfrei verklebt werden. Dementsprechend waren die einzelnen Bauteile so zu konstruieren und zu fertigen, dass sie bei der Montage präzise zueinanderpassen. Für die Festigkeit der Verbindung ist zudem eine dünne und gleichmäßige Klebschicht notwendig.

„Die Arbeit war absolut experimentell und sehr gewagt“, resümiert Ingenieur Michael Hanke, der für den Bau der Struktur verantwortlich war. „Dass wir die Gesamtflugzeugstruktur mit wesentlichen Systemen bei uns auch noch montieren konnten, war für uns ein Highlight. Allerdings mussten wir erst lernen, wie eine Struktur mit derart hauchdünnen Materialien auszusehen hat, damit das Ergebnis luftfahrttauglich ist. Hierbei hat uns die sehr enge Zusammenarbeit mit der Industrie geholfen. Wir lieferten die Ideen, entwickelten sie zusammen mit Airbus weiter und brachten sie in die Luft.“

Mit dem Erstflug ist nun die erste Erprobungsphase, die auch umfangreiche Testreihen am Boden umfasste, erfolgreich abgeschlossen. Das DLR und seine Entwicklungspartner gewannen wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf neue Technologien. Wissen, das künftig von großem Wert ist, wenn der Erprobungsträger SAGITTA verwendet wird, um neuartige Strukturkomponenten zu testen, in die aktive Funktionselemente integriert werden – wie zum Beispiel adaptive Steuerklappen.

**Jana Hoidis** ist im DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik unter anderem für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig.



## DAS PROJEKT SAGITTA

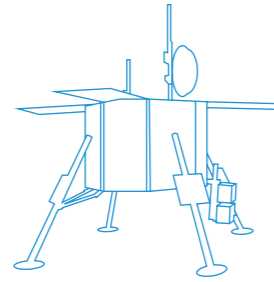
Für die Entwicklung des Technologiedemonstrators SAGITTA hat Airbus 2010 die nationale Initiative „Open Innovation“ ins Leben gerufen. Ziel ist es, gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt sowie Instituten der Technischen Universitäten in München und Chemnitz, der Bundeswehruniversität in München und der Technischen Hochschule Ingolstadt fortschrittliche Technologien für unbemanntes Fliegen zu entwickeln. Im Rahmen des Projekts wurde zunächst eine Machbarkeitsstudie mit einer Nurfügel-Konfiguration durchgeführt, bevor diese nun in einem Demonstrator realisiert wurde.

Entwurfskriterien waren ein hoher Grad an Autonomie, eine variable Missionsgestaltung und geringe Wahrnehmbarkeit im Flug. Der Technologierprobungsträger ist im Maßstab 1 : 4 entworfen worden und misst drei mal drei Meter. Er ist als diamantförmiger Nurfügliger ausgelegt und wird von zwei 300-Newton-Turbinen angetrieben. Sein maximales Startgewicht beträgt 150 Kilogramm.

Die Zelle ist vollständig aus Kohlefaser-Verbundwerkstoff (CFK) hergestellt. Mit Ausnahme der Bremsen handelt es sich um ein elektrisches Fluggerät, das anstelle von Hydraulik-Komponenten über elektromechanische Stellantriebe gesteuert wird. Der Experimentträger ist kein seriennahes Produkt. Er dient dazu, Erfahrungswerte hinsichtlich neuer Technologien für unbemannte Flugsysteme zu sammeln.

Seitens des DLR sind drei Institute beteiligt: die Institute für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Flugsystemtechnik sowie Systemdynamik und Regelungstechnik.

# AUTONOM AUF DEM MOND



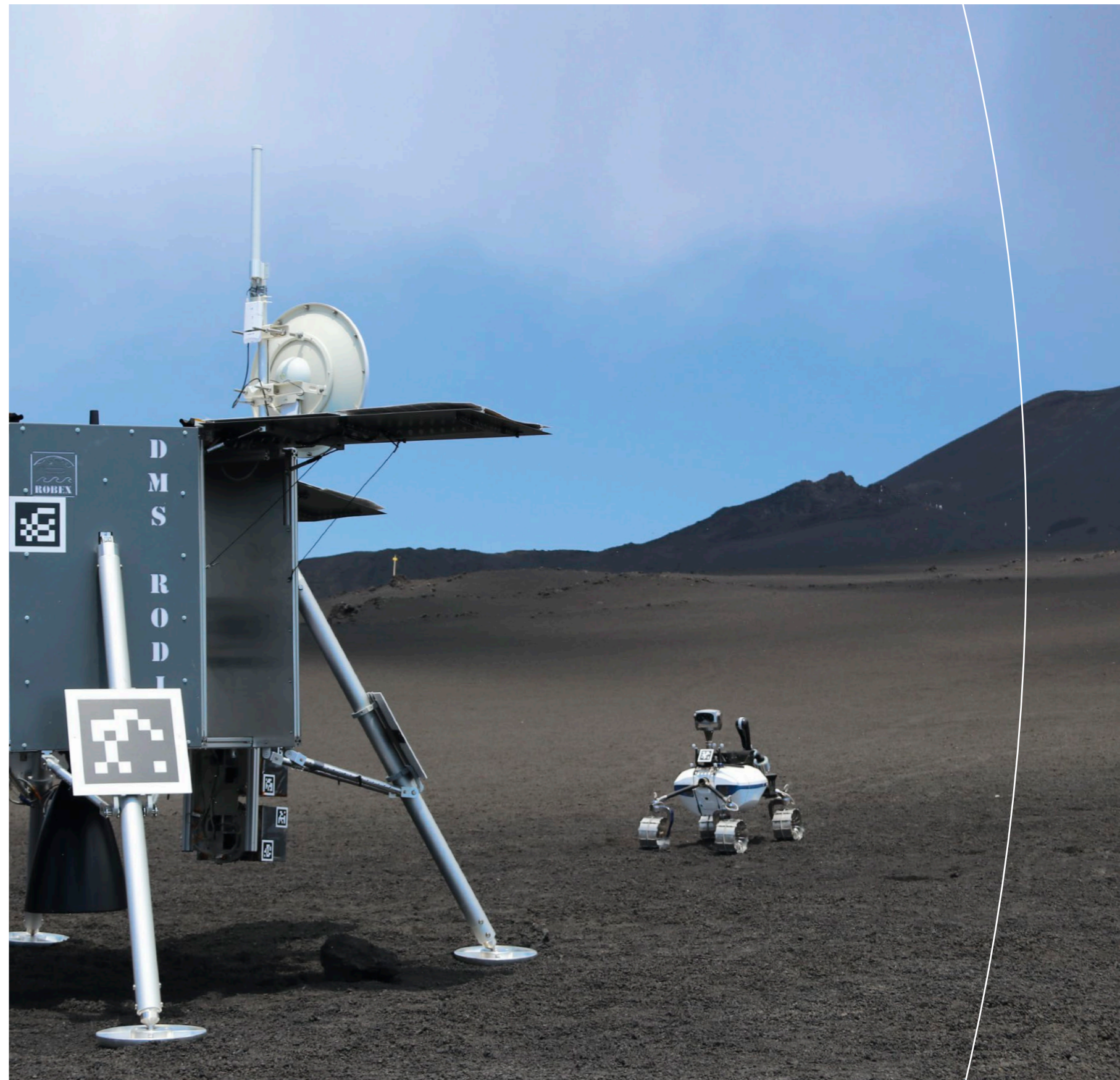
**E**s ist eine Premiere: Noch nie zuvor haben Wissenschaftler aus der Tiefsee- und der Raumfahrtforschung für ein Projekt Wissen ausgetauscht und gemeinsam Technologien entwickelt. In der Helmholtz-Allianz ROBEX (Robotische Exploration unter Extrembedingungen) arbeiteten in den vergangenen fünf Jahren erstmals Ingenieure und Forscher aus beiden Bereichen zusammen. Mit einer Demo-Mission auf dem Ätna im letzten Jahr der Allianz stellten die Raumfahrer ihre Technologien in einer Mond-Analog-Landschaft auf die Probe. Autonomes Navigieren, ein innovativer Energieaustausch und der effektive Datentransfer waren die Herausforderungen, die gemeistert werden mussten. Das Ziel: ein System aus Sensorboxen auf dem Boden auslegen, mit denen sich auf dem Mond erstmals dessen innere Struktur und die Zusammensetzung der oberen Schichten des Regoliths bestimmen lassen.

## Wissenschaftler testen mit ROBEX Technologien für die Exploration

Von Manuela Braun

Sie sind jeden Tag auf der Parkbank. Die vier Rentner, die morgens auf der linken Seite der Straße in der Sonne sitzen und am Abend zur sonnenbeschienenen Sitzbank auf die rechte Straßenseite wechseln. Dr. Peter Kyr winkt freundlich aus dem Autofenster in ihre Richtung. „Mach ich immer“, sagt er. Insgesamt vier Wochen ist ein Team für die Mission ROBEX am Ätna und fährt jeden Morgen vom Küstenort Catania durch die italienischen Dörfchen hoch zum Vulkan. Irgendwie führen in dem Wirrwarr aus schmalen Straßen und Häusern mit leicht abblätternder Farbe alle Wege zum Ätna – solange es nur bergauf geht. Durch den Ort Pedara mit seiner Rentnerbank geht es fast jeden Tag. Und jeden Tag winkt Kyr. Und jeden Tag ignoriert das ehrwürdige Quartett diesen freundlichen Gruß. Es ist trotzdem ein gern gepflegtes Ritual auf der über einstündigen Fahrt zur Seilbahn in 2.300 Meter Höhe.

Morgens um kurz vor acht Uhr sind die fast 30 Ingenieure und Wissenschaftler vor ihrem Hotel in die kleinen Miet-Busse gestiegen. An der Küste sind es jetzt schon über 25 Grad Celsius, und in ihren Bergschuhen und langen Hosen ist allen warm. Doch jeder hat noch Pullover, Jacke und Mütze eingepackt. Auf dem Ätna – dort, wo am Ende der Vier-Wochen-Mission ein Rover autonom ein Netzwerk aus seismischen Messstationen auslegen soll, um die Erschütterungen im Boden zu erfassen – ist das Wetter jeden Tag eine Überraschung. Der Vulkan kann sich in wenigen Momenten in Wolkenbänke hüllen, was die Sicht auf einige Meter reduziert. Dann fällt die Temperatur auf wenige Grad Celsius und der Wind fegt in mächtigen Böen über die schwarze Lava-Landschaft. Dazwischen taucht dann auch wieder die Sonne auf, erwärmt die Luft auf etwa 20 Grad – und sorgt für Sonnenbrand.



## DAS PROJEKT ROBEX

Die Helmholtz-Allianz ROBEX (Robotische Exploration unter Extrembedingungen) bringt deutschlandweit unterschiedliche Institutionen in einem Projekt zusammen: das koordinierende Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, das GEOMAR, die Jacobs University, das Marum, die Universität Würzburg, die Technischen Universitäten Dresden, Kaiserslautern, München und Berlin, die Universität Bremen, Airbus sowie das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt ist mit dem Robotik- und Mechatronikzentrum, dem Institut für Planetenforschung, dem Institut für Raumfahrtsysteme, dem Raumflugbetrieb und dem Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik beteiligt.



Das DLR begleitete die außergewöhnliche Mission crossmedial: 41 Tweets auf Deutsch und Englisch erreichten 209.950 Rezipienten; vier Blog-Beiträge und diverse Einträge auf Instagram und Facebook machten ROBEX weithin bekannt.

## Außerirdisches Labor

2.600 Meter hoch liegt das Testfeld, das für die Dauer der Mission den Mond darstellt und mit Geländewagen angefahren wird. Fürs menschliche Auge wirkt der Ätna mit seiner kargen Landschaft und den schwefeligen Vulkankegeln außerirdisch. Für die Kamera-Augen von Rover LRU-1 (Light Weight Rover Unit) sieht es ein wenig wie „Heimat“ aus – er wurde schließlich dafür gebaut, auf dem Mond zu fahren und zu arbeiten. DLR-Ingenieur Norbert Todt schickt zwischen durch eine Fotomontage im Team herum: Lander Rodin, Rover LRU-1 und statt eines blauen Himmels mit Wolken einen schwarzen Himmel mit Blick auf die Erdkugel. Mehr nach Mondmission könnte auch ein echtes Foto kaum aussehen.

Auf dem Mond wären Lander, Rover und Instrumente allein – ohne die Möglichkeit, dass ihre Erfinder und Betreiber vor Ort eingreifen könnten. Stattdessen haben diese ihre Fahrzeuge und Geräte so ausgestattet, dass sie selbstständig programmierte Sequenzen abarbeiten und auch die richtigen „Entscheidungen“ für ihren Forschungsauftrag treffen können. Das autonome Auto, das sich im Straßenverkehr selbst seinen Weg sucht und Hindernissen zuverlässig ausweicht, ist schon auf der Erde immer noch Zukunftsmusik. Im Weltall kommt noch hinzu: Übungsfahrten sind nicht möglich. Zudem sind die Umgebungsbedingungen extrem: grelles Licht und tiefe Dunkelheit im Wechsel, Schwerelosigkeit, Weltraumstrahlung und eine große Distanz zum Kontrollzentrum.

## Kommunikation ist alles

Pling. Pling. Immer wieder prasseln kleine Steinchen mit einem hellen Geräusch gegen die Metallräder, auf denen der Rover langsam, aber stetig in Richtung Lander rollt. Dazu tönt das dunkle Knirschen, mit dem die Lava wie schwarzes Katzenstreu unter dem Rover nachgibt. „Wie ist die Batterieleistung?“, fragt Bernd Vodermeier über Walkie-



Sieht einfach aus – ist es aber nicht: Der Rover blickt auf die Sensorbox (rechts) und bewegt dann seinen Greifer (links) zum Verbindungsstück.



Explorationserfahren: DLR-Vorstandsvorsitzende Professor Dr. Pascale Ehrenfreund informiert sich vor Ort über die Mission. DLR-Ingenieur Lars Witte diskutiert mit der Astrobiologin die technologischen Möglichkeiten von ROBEX bei einer Mond-Mission.

Talkie im Kontrollzentrum nach. Das befindet sich unten an der Küste, 23 Kilometer Luftlinie entfernt in Catania. Bei einer Mondmission würde auch niemand in Sichtweite sitzen und den Rover steuern. Deshalb soll auch alles autonom ablaufen: mit den Kamera-Augen die Umgebung erfassen, einen sicheren Weg planen, die Sensorboxen erkennen und mit einem Roboterarm greifen. Bei all dem sollen der Lander, der als Relais-Station zum Kontrollzentrum und zur Energieversorgung dient, der Rover und auch die Sensorboxen mit ihrem seismischen Instrument miteinander kommunizieren und Informationen austauschen.

Aus dem Walkie-Talkie kommt knisternd die Info: „Die Batterie ist gleich leer.“ Auf dem Mond würde der Rover immer wieder längere Pausen einlegen und über Solarpaneele Energie aufladen. Während des Experiments auf dem Ätna hat niemand Zeit, Stunden zu warten. Bernhard Rebele stapft deshalb mehrmals am Tag die 80 Höhenmeter hoch zum Basecamp und zurück zum Testfeld, um aufgeladene Akkus für LRU-2 zu holen. Auch die Schwerkraft macht LRU-2 zu schaffen. Auf dem Mond würde er sein eigenes Gewicht oder das Gewicht der drei Kilogramm schweren Sensorbox kaum spüren. Und dort würde ihm auch kein Wind entgegenfegen, der schon den Wissenschaftlern den Gang durch die Lava-Landschaft anstrengend macht. Aber den Mond mit all seinen Bedingungen bekommt man halt nicht 1 : 1 auf der Erde.



Das Basecamp mit seinen Containern ist zugleich Lager, Kontrollzentrum, Sonnenschutz und Labor

## Auch Rover können launisch sein

Bisher haben alle Einheiten – Lander, Rover und Instrumentbox – ihre Tests in den heimischen Laboren bestanden. Jetzt sind sie zum ersten Mal in dieser Kombination vereint und müssen mit echtem Lava-Boden, Wind und Kommunikationsabbrissen klarkommen. An dem 500 Kilogramm schweren Lander sowie an den Sensorboxen in seinen Ladebuchten sind Schilder befestigt, die der Rover zur Orientierung wahrnehmen und scannen soll. Knirschend fährt er auf RODIN zu und starrt auf die schwarz-weißen Muster. Und starrt weiterhin. Nichts tut sich. Um den Rover hat sich mittlerweile ein kleines Grüppchen gebildet. Vor die Kamera darf ihm niemand springen, das irritiert ihn nur noch mehr. „Macht er noch was?“, fragt Bernhard Vodermeier. Aus dem Walkie-Talkie kommt die frustrierende Antwort aus dem Kontrollzentrum: „Nein. Abbruch.“ LRU-2 ist manchmal wie eine launische Diva. Erkennt er nicht seine Umgebung oder weiß er nicht, wie er sich ausrichten muss, geht es nicht weiter. Besteht die Gefahr, dass ihm die Last am Roboterarm zu schwer wird, lässt er diesen einfach mal nach unten sinken.

An den vorherigen Tagen hatte der Lander nicht mitgespielt, als er autonom – ohne Ansteuerung durch seine Betreiber – die Sensorboxen aus seinen Ladebuchten ausfahren sollte. Da herrschte Unruhe im Team vom DLR-Institut für Raumfahrtsysteme, das RODIN entwickelt und gebaut hat. Für die Planetenforscher des DLR ist das oftmals eine Geduldssprobe: Erst wenn der Rover wie geplant die empfindlichen seismischen Messstationen am Boden ausgelegt hat, können die Wissenschaftler messen, was im Inneren des Ätna geschieht.

„Das reibungslose Zusammenspiel zwischen Bodenkonzern, Wissenschaft und Technologie muss erst einmal eingeübt werden“, sagt Dr. Armin Wedler. Der Ingenieur vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik ist der Projektleiter am DLR für die ROBEX-Mission,



Nur wenn die Antennen exakt ausgerichtet sind, funktioniert die Kommunikation zwischen Lander, Rover, Sensorbox und Kontrollzentrum

an der gleich fünf DLR-Institute beteiligt sind. Schon allein die Koordination und Kooperation der vielen Wissenschaftler und Ingenieure vor Ort in Sizilien benötigt Zeit, bis nach und nach eine Routine in der Zusammenarbeit wächst.

#### Raumfahrt auf dem Vulkan

Eines bleibt von Anfang an gleich: Die Arbeitstage auf dem Ätna sind lang. Jeden Morgen geht die Fahrt von Catania durch den italienischen Verkehr zur Seilbahn, von da fahren eigene Geländefahrzeuge die restlichen 300 Höhenmeter bis zum Basiccamp. Dann werden die Container, in denen jeden Abend Kisten, Rover und Sensorboxen verstaut werden, wieder ausgeräumt – und das Basiccamp zum Leben erweckt. Mit jedem Tag werden Geräte, Rover und Ausrüstung mehr mit feinem und klebrigem Lava-Staub bedeckt. Schuhe und Hosen sind bis zum Knie leicht schwarz verfärbt. Erst gegen Abend fahren die Geländewagen wieder in Richtung Küste. Das Ende der Demo-Mission naht – und immer noch gelingt es nicht, die komplette autonome Sequenz durchlaufen zu lassen, ohne dass es hakt. Immer wieder funktionieren einzelne Schritte tadellos, nur im Zusammenspiel halt leider nicht. Selbst der Weg aus 2.600 Meter Höhe bis auf Meereshöhe wird genutzt, um Softwareprobleme und Kommunikationsmacken zu diskutieren.

Für die Touristen auf dem Ätna sind die ROBEX-Forscher und ihre Rover eine Attraktion, die ebenso viel Aufmerksamkeit erhält wie der Vulkan selbst. Die Planetenforscher, die auf ihre Messungen warten, machen sich nützlich: „Wir erforschen hier Technologie, mit der man eine Mondmission durchführen kann“, sagt Alexandra Heffels vom DLR-Institut für Planetenforschung zu einer Gruppe von Wanderern, die eigentlich auf den Ätna wollte und dabei auf Raumfahrer gestoßen ist. So fängt die Wissenschaftlerin immer mal wieder Touristengruppen ab, die – ohne es zu wissen – gerade auf den Mond stolpern und eine autonom durchgeführte Explorationsmission stören.

#### Meteoriten-Einschläge mit dem Hammer

Schließlich klappt es und die Planetenforscher erfassen die ersten Daten, wie sich der Schall durch die unterschiedlich dicken Lava-Schichten ausbreitet: Der Fünf-Kilo-Hammer muss her. Er simuliert die Meteoriten-Einschläge, die den Mond immer wieder erschüttern. Zu Hause im DLR in Berlin hat das Team geübt, wie man mit dem Hammer exakt und kräftig eine Aluminiumscheibe trifft und für die Seismometer in den Sensorboxen messbare Schallwellen produziert. Sabrina Schwinger nimmt Haltung an. Jetzt, wenn die Instrumente



Mit dem Hammer simulieren die Planetenforscher Meteoriteneinschläge auf dem Mond. Die Abfolge der Schläge wird genau notiert.

messen, darf auch niemand mehr durch das Lava-Geröll laufen – jede Erschütterung würde von den empfindlichen Sensoren wahrgenommen und in den gewonnenen Daten auftauchen. Nur der Ätna selbst hält sich nicht daran: Wie bereits mehrfach an diesem Tag spuckt er eine schwarze Aschewolke aus, die wie eine Fahne über dem Schwefelkegel aufsteigt.

Dr. Frank Sohl greift zu Block und Bleistift. Jetzt saust der Hammer 20 Mal auf die Aluminiumplatte. Sabrina Schwinger macht das exakt und gleichförmig wie ein Uhrwerk. In Catania sitzt Dr. Martin Knapmeyer im Kontrollzentrum und schaut auf die Ausschläge, die von den Seismometern aufgezeichnet werden. „Die sehen sehr gut aus“, gibt er an seine Kollegen auf dem Berg weiter. Später werden die Wissenschaftler am Schreibtisch in Berlin diese Kurven auswerten und analysieren, in welcher Tiefe die lose Lava-Schicht endet und die massive beginnt. Durch feste Basaltsteine saust der Schall mit sechs bis acht Kilometern in der Sekunde, durch die Vulkanasche „schleicht“ er mit nur wenigen hundert Metern in der Sekunde. Auf dem Mond wurden solche Messungen zum ersten und letzten Mal 1972 durchgeführt – nicht autonom von einem Rover und von Sensorboxen, sondern von den Astronauten Eugene Cernan und Harrison Schmitt auf der Mission Apollo 17.

#### Sturmböen kurz vor Abschluss

Für die Ingenieure von ROBEX sieht es nicht so gut aus: Immer wieder fegen Sturmböen mit über 50 Kilometern in der Stunde über die Mond-Ersatzlandschaft. Die Windstöße wirbeln Staubwolken auf und drücken auf den Roboterarm, mit dem der LRU-2 nach den Sensorboxen greift. Kurz vor dem Missionsende geht dann gar nichts mehr: Der Windmesser am Lander zeigt Werte über 100 Kilometer in der Stunde. Selbst unter den Containern weht der Sturm den Untergrund zur Seite. Der Lander wird mit Gurten gesichert, damit die Klappen der Ladebuchten sich nicht öffnen und beschädigt werden. Der Rover bleibt in der „Garage“. – Auf dem Mond gibt es keine

Windstöße, der Ätna hat an diesem Tag hingegen reichlich davon. Was fixiert werden kann, wird fixiert. Dann fahren die Teams wieder zur Küste zurück, wo die Sonne mit über 30 Grad Celsius die Touristen in T-Shirts, Shorts und Flip-Flops® schwitzen lässt. Schritt für Schritt ist man der Autonomie immer näher gekommen, jetzt spielt das Wetter nicht mehr mit. Zwangspause für Team, Rover und Lander.

Zu diesem Zeitpunkt ist die Frustration groß. Niemand weiß, ob die letzten Tage noch die Gelegenheit geben werden, die Mission durchzuspielen. Eigentlich wollte man geladenen Gästen demonstrieren, wie erfolgreich die Technologien eingesetzt werden können. Den Rover mit seiner autonomen Navigation. Den Lander als Kommunikationsgarant. Die Sensorboxen mit ihren empfindlichen Instrumenten. Und das Gerät zum induktiven Laden des Rovers. Hätten an diesem Abend alle gewusst, dass ein paar Tage später alles anders aussehen wird, wäre die Stimmung besser gewesen. Die Wettervorhersagen werden immer wieder über Handys abgerufen. Nur wenn der Wind sich legt, können Rover und Lander wieder aktiviert werden.

#### Mission accomplished!

Schließlich ist es so weit: Der Wind lässt etwas nach, die Sonne sorgt sogar für erträgliche Temperaturen auf dem Berg. Lander RODIN und Rover LRU-2 verzichten auf ihre Launen. Zielstrebig fährt LRU-2 auf den Lander zu, fixiert ihn und parkt zielsicher rückwärts vor der Ladebucht ein. Sein Roboterarm fährt aus und bewegt sich auf einer selbst berechneten Bahn auf die Sensorbox zu. Dann schließt sich der Greifmechanismus um den Anschlussring, dockt die Box ab und der Roboterarm legt seine Nutzlast präzise auf dem Rücken des Rovers ab. Knirschend geht es über den Lava-Boden, um die erste Sensorbox am vorgegebenen Ort abzulegen. Am Ende hat das ROBEX-Team das Glück des Tüchtigen. Es verlässt den Ätna, kehrt heim vom Mond ...



Erfolg in der Allianz: Martina Wilde vom AWI und Dr. Armin Wedler vom DLR

#### STARK IM TEAM

Tiefsee und Raumfahrt im Verbund – seit 2012 arbeiten Wissenschaftler aus beiden Bereichen in der Helmholtz-Allianz ROBEX zusammen. DLR-Projektleiter Dr. Armin Wedler und die wissenschaftliche Koordinatorin Martina Wilde vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) berichten im Gespräch mit DLR-Raumfahrt-Redakteurin Manuela Braun, wie das funktioniert hat.

#### Wie kam die Zusammenarbeit zwischen diesen Forschungsbereichen überhaupt zustande?

• **Martina Wilde:** Ursprünglich wurde sie „verordnet“ – die Helmholtz-Gemeinschaft fasste zwei getrennte Förderanträge zusammen und so entstand die HGF-Allianz ROBEX mit 16 über ganz Deutschland verteilten Institutionen. Heute ist die Allianz eine so glückliche Ehe, dass sich die an ROBEX beteiligten Helmholtz-Zentren DLR, AWI und GEOMAR zu dem neuen Förderprojekt „ARCHES“ zusammengeschlossen haben.

#### Auf den ersten Blick haben die Tiefsee und das Weltall nicht viele Gemeinsamkeiten. Wo liegen die Synergien, die in der Allianz genutzt werden?

• **Dr. Armin Wedler:** Schnittmengen liegen in den Problemen, die die Tiefsee und das Weltall als extreme Regionen aufwerfen: zum Beispiel die notwendige Autonomie der Explorationsgeräte, die schwierige Navigation und die erschwerte Energieversorgung.

#### Was konnten die Tiefseeforscher von den Raumfahrern lernen?

• **Martina Wilde:** Sie profitieren enorm von den Technologien und Software-Entwicklungen, die bereits erfolgreich in der Raumfahrt eingesetzt wurden. Die Software und die Navigationsmarker, mit denen das Transport-Raumschiff ATV an der Internationalen Raumstation ISS andockte, werden jetzt in der Tiefsee eingesetzt und führen dort zu einer bisher noch nie möglichen Autonomie.

#### Und was konnten sich die Raumfahrer von den Kollegen der Tiefsee-Forschung abschauen?

• **Dr. Armin Wedler:** Wir haben von technologischen Ansätzen wie der Modularität gelernt – aber uns auch vom Mut, sich extremen Umgebungen zu stellen, anstecken lassen und die für ein solches Experiment hilfreiche pragmatische Herangehensweise übernehmen.



Plötzlich aufziehende Wolken auf dem Ätna hüllen Rover und Ingenieure in eine dicke Nebelwand. Das Wetter auf dem Vulkan entspricht nicht dem auf dem Mond – dafür aber sind Landschaft, Bodenbeschaffenheit und kleinere Beben aus der Tiefe des Ätna dem Erdtrabanten sehr ähnlich.



# SICHER AUF SEE



**Die Schifffahrt wird digital. Modernste Navigations-, Kommunikations- und Informationstechnologien haben längst Einzug in das maritime Verkehrssystem gehalten. Statt Sextant und Hand-Lot liefern heutzutage elektronische Systeme die nautischen Informationen. Doch wie zuverlässig und wie störfest sind sie? – In ihrer Strategie zur „e-Navigation“ hat die Internationale Maritime Organisation (IMO) dargelegt, dass die Digitalisierung der Schifffahrt große Herausforderungen mit sich bringt. Dazu gehören die Implementierung von Daten- und Systemintegrität in das maritime Verkehrssystem genauso wie die Erhöhung der Störfestigkeit (Resilienz) navigationsrelevanter Systeme. DLR-Wissenschaftler bringen hier ihre Kompetenzen in Kommunikation und Navigation ein.**

## DLR-Know-how für standardisierte Navigationsdaten

Von Dr.-Ing. Evelin Engler

Positionsdaten. Navigationsdaten. Zeitdaten. Kurz: PNT. – Seit mehreren Jahren widmet sich ein interdisziplinäres Expertenteam der Frage, wie schiffsseitig PNT-Daten bereitgestellt werden müssen, um den vielfältigen Anforderungen an Genauigkeit und Integrität gerecht zu werden. Schiffstypen und Nutzerbedürfnisse sind dabei extrem vielfältig. Das Konzept, das vom DLR, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) und Schiffsausrüstern in Abstimmung mit dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gemeinsam entwickelt wurde, beruht auf der Modularisierung der Architektur des maritimen PNT-Systems. Um minimale ebenso wie höhere Leistungsanforderungen spezifizieren zu können, wurde eine Skalierung eingeführt. Im Juni 2017 verabschiedete das „Maritime Safety Committee“ (MSC) die Richtlinien zur schiffsseitigen Positions-, Navigations- und Zeitdatenprozessierung.

Mit diesen Guidelines steht nun ein Regelwerk zur Verfügung, das die PNT-Daten sowie zugeordnete Integritäts- und Statusinformationen klassifiziert, strukturiert und vereinheitlicht. Um die Daten zu gewinnen, kommen Funknavigationsempfänger, PNT-relevante Sensoren und Datenquellen sowie Positionsreferenzsysteme zum Einsatz. Doch warum wird es immer wichtiger, neben Geräten (Performanzstandard) auch Software (Guidelines) zu standardisieren? Im Fokus der IMO stehen neben wirtschaftlichen Aspekten die Sicherheit des Schiffsverkehrs und der Schutz des maritimen Lebensraums. PNT-Daten sind essenziell für einen sicheren Schiffsverkehr, denn auf ihrer Grundlage werden Schiffe von einem Ort zum anderen navigiert, können Kollisionen und Grundberührungen vermieden werden. Auch lassen sich nautische Aufgaben assistieren und teil- oder vollautomatisiert realisieren. Doch jede Anwendung braucht spezifische Daten. Für eine kleine Jolle ist es ausreichend, die aktuelle Position zu kennen. Für das Drehen und Anlegen großer Containerschiffe ist jedoch die Lage des Schiffskörpers in Relation zum Hafenbecken genau und zuverlässig zu bestimmen. Für Schiffe, die mitten auf dem Ozean fahren, können Positionsgenauigkeiten von einigen zehn Metern ausreichend sein. In Meerengen und in Gebieten mit hohen

Im April 1912 kollidierte die Titanic südöstlich von Neufundland mit einem Eisberg und sank wenig später im Nordatlantik. Mehr als 1.500 Menschen verloren ihr Leben. Aus diesem Grund entstand die „International Convention for the Safety of Life at Sea“ (SOLAS). Minimale Sicherheitsstandards in Bezug auf Anzahl der Rettungsboote, Notfallausrüstung, Sicherheitsprozeduren und kontinuierliche Funkwachen wurden spezifiziert. Seit 1958 ist die Internationale Maritime Organisation (IMO) als Sonderorganisation der Vereinten Nationen dafür verantwortlich, weltweit höchstmögliche Standards für einen sicheren, effizienten und umweltschonenden Schiffsverkehr zu setzen.

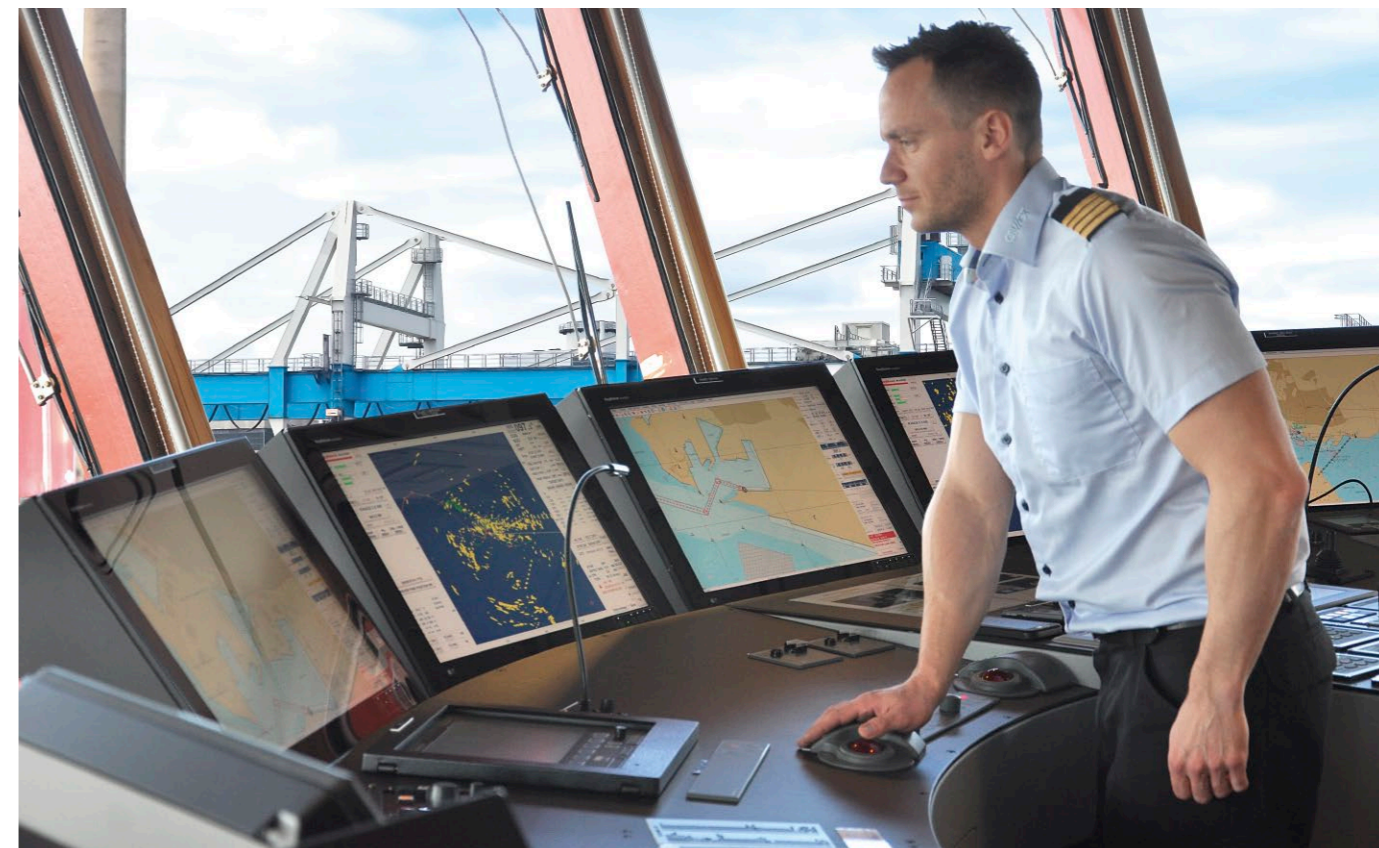


Bild: Raytheon-Anschütz

Die moderne Schifffahrt ist für eine zuverlässige Navigation auf präzise Informationen über die Position angewiesen. Indem Qualitätsstandards für die Daten festgelegt werden, wird dies gewährleistet.

Verkehrsdichten sowie in Häfen muss die Lage des Schiffskörpers mit einer Genauigkeit von wenigen Metern bestimmt werden, um Kollisionen sicher zu vermeiden. Der Gesamtbedarf an bordseitiger PNT-Datenbereitstellung muss also im zeitlichen, räumlichen und funktionalen Kontext strukturiert werden, bevor geeignete technologische Lösungen identifiziert, klassifiziert und letztlich auf System- oder Komponentenebene standardisiert werden können.

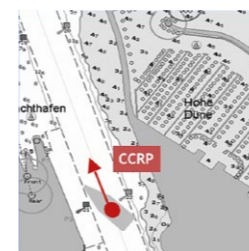
Das Besondere an diesen Guidelines ist, dass in ihnen für Gerätehersteller, Werften, Schiffseigner und Schiffsausrüster erstmals Leitlinien formuliert sind, wie Redundanz in der schiffsseitigen Datenbasis auszunutzen ist, um die Integrität der PNT-Daten nach global einheitlichen Normen zu bewerten. Das schafft Klarheit hinsichtlich der Qualität und Vertrauenswürdigkeit von PNT-Daten. Und es hilft Nautikern an Bord von Kreuzfahrtschiffen, Containerschiffen und Fähren

wie auch Lotsen in den Häfen der Welt gleichermaßen, Fehler bei der Lageeinschätzung zu vermeiden und in kritischen Situationen die richtigen Entscheidungen zu treffen.

Forschung und Standardisierung sind dabei zueinander komplementäre Entwicklungsprozesse. Beide gestalten den Übergang vom Heute zum Morgen. Es ist Aufgabe der Forschung, herauszufinden, wie etwa Systeme zuverlässiger werden und sich Unfallsrisiken verringern lassen. Den internationalen Standardisierungsgremien obliegt die Entscheidung, welche der Lösungsoptionen das Prädikat „Best Practice“ verdient und letztlich Standard wird.

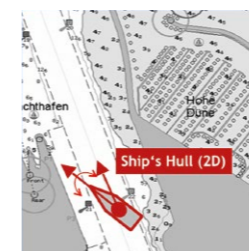
**Dr.-Ing. Evelin Engler** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Kommunikation und Navigation und arbeitet in maritimen Standardisierungsgremien mit.

## STUFEN DER BENÖTIGTEN PNT-DATEN



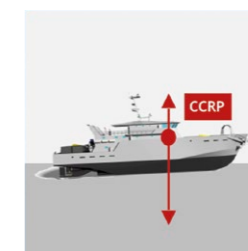
Grad 1

- Längen- und Breitengrad
- Geschwindigkeit und Kurs über Grund
- Zeit



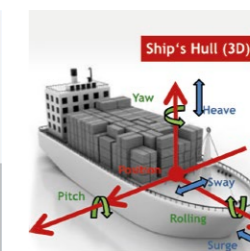
Grad 2

- Kurs und Drehgeschwindigkeit
- Geschwindigkeit und Kurs durch Wasser



Grad 3 (erweitert)

- Höhe
- Tiefgang



Grad 4 (vollständig)

- Tauch-, Längs- und Querbewegung
- Gier-, Nick- und Rollwinkel

Welche PNT-Daten gebraucht werden – ob Position und Zeit oder gar die dreidimensionale Lage des Schiffes –, wird jetzt durch den Grad der PNT-Datenbereitstellung spezifiziert

# MATERIAL NACH MASS

Kammermusik war einmal: Wo einst Metalle die erste Geige spielten, geben heute Faserverbünde und metallischer 3D-Druck den Ton an

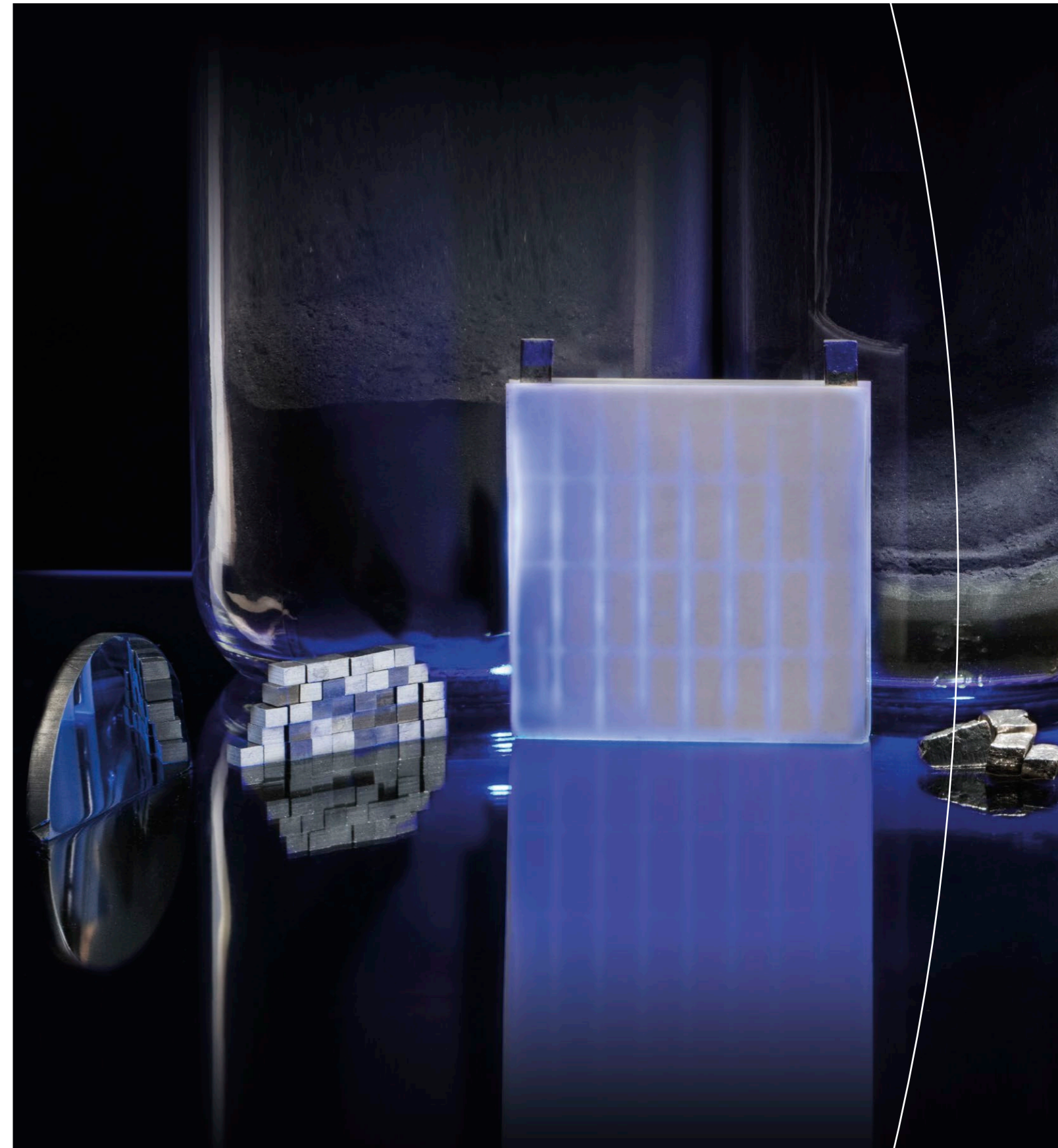
Von Frank Seidler

**D**as Flugzeug glänzte früher metallisch silbern. Doch längst geben innovative Materialien wie Metall-Kunststoff-Lamine und Faserverbundkunststoffe dem Flugzeug Leichtigkeit und Sicherheit. Das Fliegen wird umweltfreundlicher, auch weil keramische Werkstoffe als Schutzschicht auf Turbinenschaufeln deren Eigenschaften verbessern. Die verwendeten Werkstoffe entscheiden mitunter darüber, wer auf dem Markt der Flugzeugbauer besteht. Seit nun schon einem halben Jahrhundert sorgt das DLR-Institut für Werkstoff-Forschung in Köln für innovative Materialien. Die heutige Forschung für das Flugzeug von morgen ist verbunden mit einer zunehmenden Digitalisierung beim Entwickeln von neuen Werkstoffen.



„Zwischen Prüfmachines von etlichen Tonnen Gewicht und Prüfständen, die der Werkstoff-Forschung dienen, erklang am Freitagnachmittag Mozarts Allegro aus einem Streichquartett. Die Mozartweisen waren ein festlicher Auftakt zur Neueinweihung des Instituts für Werkstoff-Forschung in der Deutschen Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt auf der Linder Höhe.“

Kölnener Stadtanzeiger im Oktober 1967



Thermoelektrische Materialien sind, neben Faserverbünden und weiteren Werkstoff-Innovationen, ein aktuelles Thema der Wissenschaftler des Instituts für Werkstoff-Forschung im DLR Köln. Die Forschung reicht von der Pulverherstellung über diverse Prozessschritte bis hin zu Prototypen für thermoelektrische Generatoren. An ihnen hat die Industrie Interesse, um sie zur Restwärmenutzung beispielsweise in Fahrzeugen einzusetzen.

## Luftfahrt im Aufwind

Nein, heute käme wohl keiner mehr auf die Idee, Mozart in die Versuchshallen zu holen. Ein gesetztes Konzert zwischen Anlagen zum 3D-Drucken oder Sputtern, neben Glühöfen oder einem Elektronenmikroskop? Am 20. Oktober 1967 war das anders: Von Geigen und Bratschen zwischen Prüfanlagen berichtete der Kölner Stadtanzeiger und von Herren im schwarzen Anzug auf „Konzertgestühl“. Es ging sehr feierlich zu, als das Institut für Werkstoff-Forschung am DLR-Standort Köln offiziell eröffnet wurde. Den Namen trägt das Institut noch heute. Die Halle indessen hat sich verändert: Die Anlagen des Beschichtungszentrums lassen heute keinen Raum für Stuhlreihen.

Jahrzehnte zuvor sah das alles ganz anders aus: Mit der Materialforschung hatten die Forscher und Ingenieure in der damaligen Deutschen Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DVL) zwar schon Erfahrungen sammeln können, aber nicht in Köln. Und die Anfänge reichen noch weiter zurück: Schon 1912 hatten die Pioniere der Luftfahrt erkannt, welche enorme Bedeutung die Materialien für Luftschiffe und Flugzeuge haben, und führten in der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt erste Materialprüfungen durch, dazu mal in Berlin-Charlottenburg. Mit der „Allgemeinen Abteilung für Materialien für Luftschiff- und Flugzeugbau“ schufen sie kurze Zeit später einen Rahmen, um ab 1917 Forschung an Materialien und Werkstoffen in Deutschland zu betreiben.

Die modernen Werkstoffe von heute waren da noch nicht in Sicht. Ballonstoffen für die Luftschiffahrt galt des Forschers Interesse, insbesondere deren Festigkeit, elektrischer Leitfähigkeit und Gasdurchlässigkeit. Erst Anfang der Zwanzigerjahre zogen metallische Werkstoffe die Aufmerksamkeit der Luftfahrtkonstrukteure auf sich und eine Gruppe „Metallforschung“ nahm ihre Tätigkeit auf.

Zehn Jahre nachdem die erste Abteilung Materialforschung gegründet worden war, gab es in Deutschland bereits Linienflüge mit Verkehrsflugzeugen. Doch Fliegen war noch ein großes Abenteuer und mit Risiken verbunden. Die Einsicht musste wachsen, dass ein tieferes Verständnis von Werkstoffen erforderlich war, um die Verkehrsflieger zuverlässiger zu machen. Und so kamen in der Versuchsanstalt ab 1927 Planbiegemaschinen für Schwingungsprüfungen zum Einsatz, um Schwingungsbrüche an Kurbelwellen, Propellern und Flügelanschlüssen zu erforschen. Korrosionsprüfapparate hielten Einzug in die Prüf- und Technologiehallen der Forschungseinrichtung, um die Korrosion von Aluminium-Legierungen zu untersuchen.

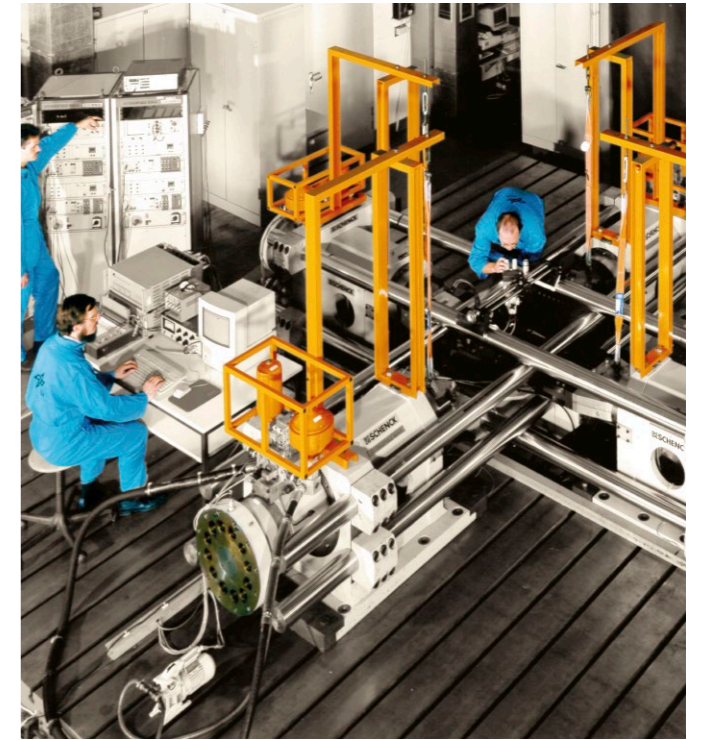
In der darauffolgenden Dekade wurden die Anforderungen an Werkstoffe rasch anspruchsvoller und die eingesetzten Materialien vielseitiger. Mit der Restrukturierung der DVL und der Gründung des Instituts für Werkstoff-Forschung im Jahr 1936 wurden bereits Leichtmetalle, Eisenlegierungen und Gleitlager-Legierungen untersucht. Nichtmetallische Werkstoffe wie Kunststoffe, Gummi und Gläser wurden interessant und der Oberflächenschutz begann eine größere Rolle zu spielen.

Auch die Dauerfestigkeit von Werkstoffen wurde nun erforscht und die damit verbundenen Prüfverfahren wurden am Institut etabliert. Die Wissenschaftler widmeten sich nun stärker den Ansprüchen, die durch Neuerungen in der Luftfahrt an die Werkstoffe gestellt wurden.

Nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs kamen die Arbeiten in der DVL praktisch zum Erliegen. Erst Anfang der Sechzigerjahre, nachdem die DVL ihre Arbeit wieder aufnehmen durfte, wurde das Institut für Werkstoff-Forschung neu aufgebaut. Im Institutsneubau in Porz-Wahn sollte ein Aufgabenspektrum ähnlich wie in den Vorkriegsjahren bearbeitet werden, jedoch erweitert um Werkstoff-Innovationen für neuartige Antriebe und Anwendungen in der der Raumfahrt.

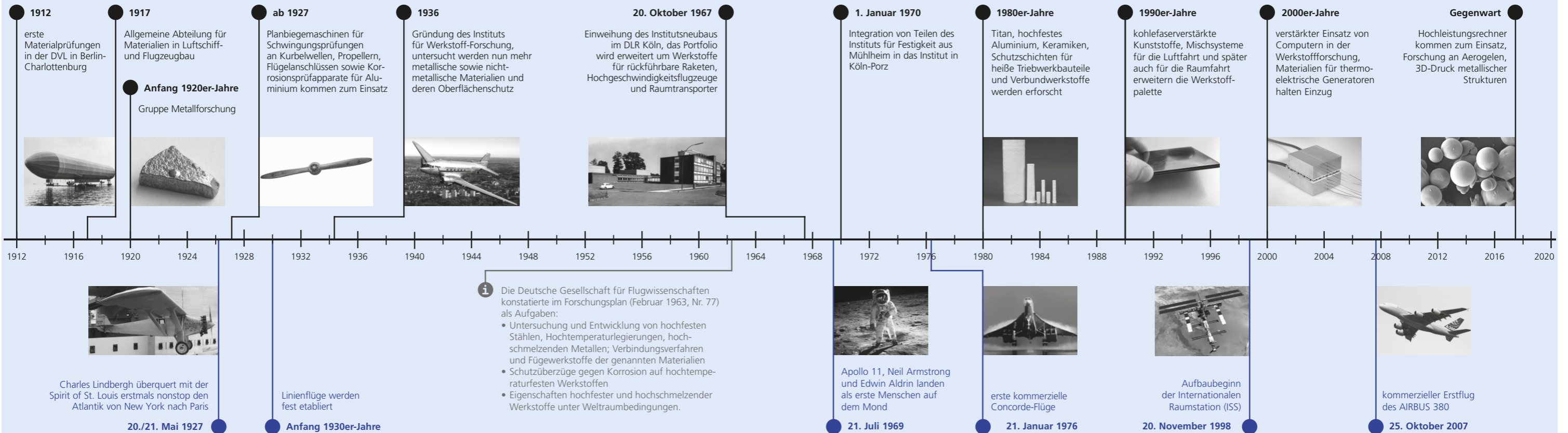
## Auftakt mit Mozarts Allegro

Am 20. Oktober 1967 war es dann so weit. Ein Quartett spielte Mozarts Allegro. Wissenschaftler in dunklen Anzügen, Prominenz aus der Politik und Ehrengäste saßen in einer großen Technologiehalle zwischen den schweren Prüfmaschinen. Es war ein Freitagnachmittag, an dem das Institut für Werkstoff-Forschung in Köln feierlich eröffnet wurde. Für den Bau und die Einrichtung wurden sechs Millionen Mark investiert. Mit 25 Wissenschaftlern und Ingenieuren nahm das Institut seine Arbeit auf. Wie schon dreißig Jahre zuvor lagen die Schwerpunkte auf Korrosion, Metallkunde, Technologie und Werkstoff-Prüfung. Aber auch an Werkstoffen wurde nun geforscht – für rückführbare Raketen, Hochgeschwindigkeitsflugzeuge und Raumtransporter, ein Aufgabenfeld, das in den Folgejahren ausgebaut werden sollte.



Biaxiale Prüfmaschine im Jahr 1994

## Aus der Geschichte der Werkstoffforschung



Bilder: 1912 – Festschrift DVL 1912 bis 1962, Seite 44; Anfang 20er-Jahre – Tomihahndorf, CC BY-SA 3.0; 1927 – Ad Meskens, National Air and Space Museum, CC BY-SA 3.0;

1936 – Towpilot, Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0; 1969 – NASA; 1976 – Auto & Technik Museum Sinsheim; 1998 – NASA



## Funktionswerkstoffe sind im Kommen

1969 ging die DVL in die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, kurz DFVLR, auf. Mit dem Beginn der Siebzigerjahre bekam das Kölner Institut Zuwachs: Teile des Instituts für Festigkeit aus Mülheim – und damit die Abteilung Ermüdungsfestigkeit – wurden in das Institut für Werkstoff-Forschung integriert. In den Achtzigerjahren wuchs der Bedarf an innovativen Materialien erneut an und es kristallisierte sich heraus, dass die modernen Werkstoffe der Luft- und Raumfahrt auch für andere Verkehrsmittel Potenzial haben. Damit erweiterte sich die Palette der zu erforschenden Werkstoffe erneut. Die Experten der DFVLR untersuchten nun auch Titan, hochfestes Aluminium, neue Werkstoffe für Turbinenschaufeln, Keramiken, Schutzschichten für heiße Triebwerkbauteile und Verbundwerkstoffe. Auch Fragen nach der Verfügbarkeit der Materialien, dem Energiebedarf und der Gewinnung von Werkstoffen rückten in den Fokus der Forschungsarbeiten. Aspekte, die heute eine noch bedeutendere Rolle spielen.

Mit Beginn der Neunzigerjahre, als die DFVLR in die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt umbenannt wurde, erweiterte das Institut sein Portfolio um die Arbeit an kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen für die Luftfahrt. Die Luftfahrtbranche fragte inzwischen nach leichteren und besser umweltverträglichen Verkehrsflugzeugen. Die Experten wussten aber auch, dass Kunststoffe die Metalle im Flugzeugbau nicht so schnell ersetzen konnten. Denn die Beanspruchungen im Flugzeug sind höchst unterschiedlicher Natur. Kunststoffe, Metalle und Mischsysteme für Luftfahrtanwendungen und später auch für Raumfahrtanwendungen gehörten von nun an auch zu den Forschungsthemen. Der Übergang von den Strukturwerkstoffen hin zu den Funktionswerkstoffen war eingeläutet. Statt der in erster Linie werkstoffgerechten Konstruktion machten sich die Wissenschaftler nun auch daran, Materialien funktionsgerecht zu optimieren. Keramiken und Kunststoffe, die nun faserverstärkt waren und dem allgemeinen Trend zu leichteren Werkstoffen folgten, rückten mehr und mehr ins Blickfeld.

## Flug ins neue Jahrtausend

Kurz vor der Jahrtausendwende – die Forschungsanstalt trug seit 1997 den Namen Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – wurden am Institut für Werkstoff-Forschung die Weichen für neue Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten gestellt. Die Forscher arbeiteten nun mit modernen Computern zur Modellierung des mechanischen Verhaltens von faserverstärkten Werkstoffen, in diesem Fall

Keramiken. Sie eröffneten das Forschungsfeld der thermoelektrischen Materialien und Generatoren. Sie ermöglichen es, aus sonst ungenutzter Wärme einen elektrischen Strom zu erzeugen. Diese können zum Beispiel auf erdfernen Missionen durch Sekundärenergieerzeugung die Batterien eines Raumfahrzeugs schonen.

Heute wird das Verhalten von Materialien mit Werkstoffmodellen vorhergesagt und mit Hochleistungsrechnern simuliert. Zum Forschungsthema des Instituts wurden die ebenfalls im DLR entwickelten Aerogele, Festkörper mit faszinierenden Eigenschaften. Sie zeichnen sich durch geringe Dichte, eine große innere Oberfläche, eine hohe Schallabsorption sowie eine extrem niedrige Wärmeleitfähigkeit aus.

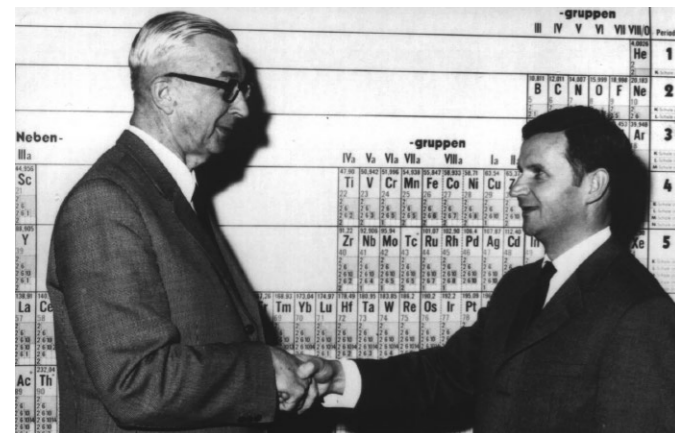
Die DLR-Wissenschaftler optimieren Werkstoffe und Legierungen, um metallische Strukturen im 3D-Druck herzustellen. Das könnte den Satellitenbau revolutionieren. Materialien und Schutzsysteme im Triebwerk werden stetig verbessert, sie müssen ihre Resistenz gegen Vulkanasche unter Beweis stellen, um das Fliegen sicherer zu machen.

Mit der Digitalisierung können auch in der Werkstoffforschung verschiedenste Datenquellen, beispielsweise aus Versuchsanlagen, Prozessen und Computermodellen, intelligent miteinander verknüpft werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, Werkstoffe und ihr Verhalten auch in anderen Zusammenhängen zu erforschen und tieferes Verständnis für die Gesetzmäßigkeiten zu erlangen, denen die Materialien unterliegen.

Die Palette der am Institut für Werkstoff-Forschung erforschten Materialien ist seit der Gründung in Köln vor 50 Jahren immer reichhaltiger geworden. So mancher Werkstoff wird neue technische Errungenschaften möglich machen, wie es sich zum Beispiel gerade im Leichtbau bei den gedruckten metallischen Strukturen andeutet. Eine erstaunliche Entwicklungsgeschichte, deren Dynamik, Wandlungsprozesse und aktuelle Komplexität dann besonders deutlich werden, wenn man sich einmal an die Anfänge mit Materialien für Ballone und erste Forschungen an einigen wenigen metallischen Werkstoffen erinnert.

So gesehen, müsste zum Jubiläum 2017 statt Mozarts Allegro ein Sinfoniekonzert mit Geigen, Pauken und Trompeten erklingen.

**Frank Seidler** ist im DLR-Institut für Werkstoff-Forschung unter anderem mit Kommunikation und Marketing betraut.



Professor Dr. Wolfgang Bunk (rechts) übernimmt 1970 von Professor Dr.-Ing. Friedrich-Carl Althof die Leitung des DVL-Instituts für Werkstoff-Forschung



Experten der DVL nehmen mit dem Transmissionselektronenmikroskop Untersuchungen an Werkstoffen vor

Bilder: DLR-Archiv



Heinz Voggenreiter ist passionierter Forscher und freut sich darauf, in Zukunft mit Hilfe der künstlichen Intelligenz neue Werkstoff-Lösungen zu entwickeln

## NIE WAR WERKSTOFFFORSCHUNG SO SPANNEND WIE HEUTE

Drei Fragen an Professor Dr.-Ing. Heinz Voggenreiter, Direktor des Instituts für Werkstoff-Forschung sowie des Instituts für Bauweisen und Strukturtechnologie des DLR

**Herr Professor Voggenreiter, seit der Gründung des Instituts für Werkstoff-Forschung vor 50 Jahren sind die im Flugzeugbau eingesetzten Materialien immer vielfältiger geworden. Wird dieser Trend anhalten?**

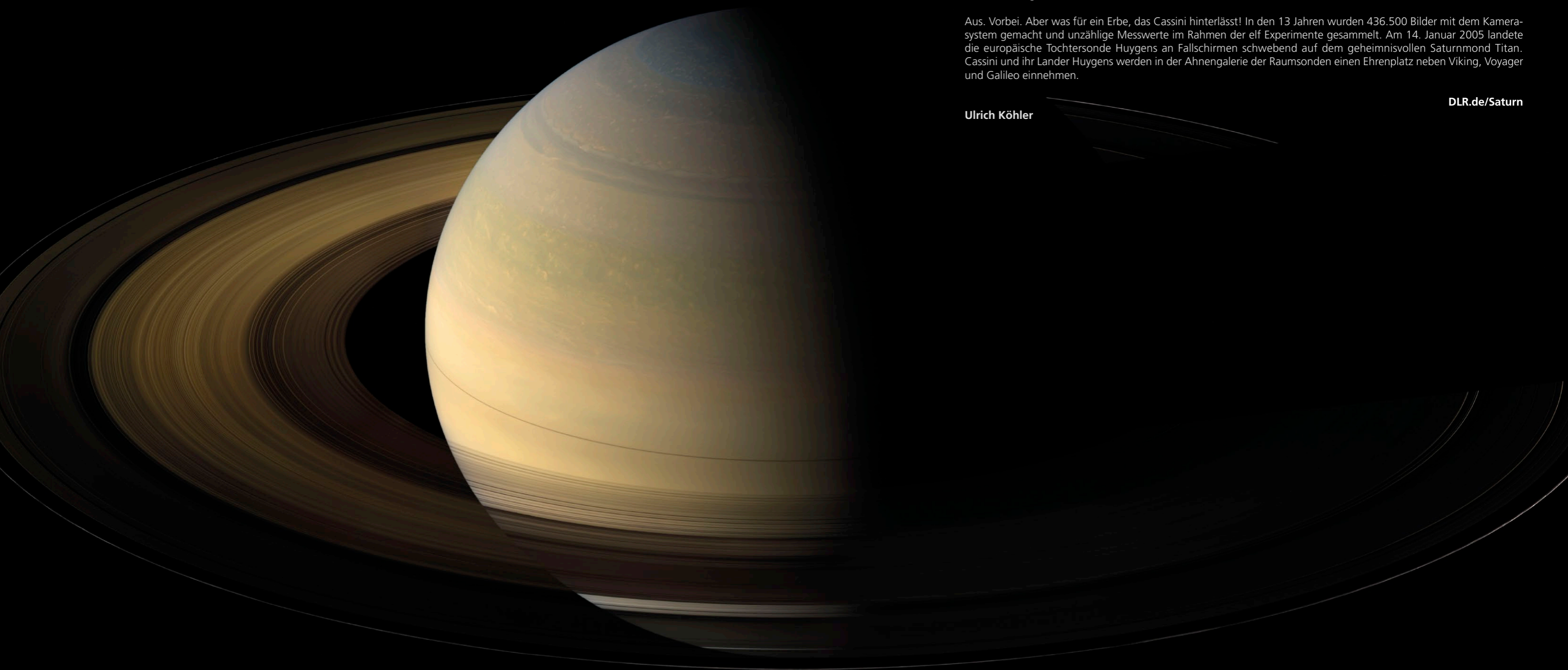
■ Eindeutig: Ja. Im globalen Wettbewerb müssen die Flugzeughersteller Kosten und Umweltbelastungen bei der Produktion und im Betrieb ihrer Flugzeuge senken. Das elektrische Fliegen, das die bestehende Technologie grundlegend verändern wird, stellt uns in diesem Zusammenhang vor weitere technische Herausforderungen, beispielsweise im Strukturleichtbau, in der Batterietechnik und bei den Antrieben. Und überall spielen geringeres Gewicht und höhere Leistungsfähigkeit, also neue Werkstoffe und Leichtbauweisen, eine entscheidende Rolle. Dies wird die Bandbreite der in den Flugzeugen zukünftiger Generationen eingesetzten Werkstoffe unweigerlich erhöhen.

**Auch in der Raumfahrt spielen moderne Werkstoffe eine entscheidende Rolle, ermöglichten sogar erst erdferne Missionen. Werden die Materialien auch hier vielseitiger?**

■ Ganz sicher. Treiber ist auch in der Raumfahrt der zunehmende Kostendruck. Die US-amerikanische Firma Space X hat angekündigt, mit der teilweise wiederverwendbaren Trägerrakete Falcon 9 die Transportkosten auf ein Fünftel des Preises der europäischen Ariane 5 zu senken! Im Satellitenbau drängen die Constellations – das sind Netzwerke aus 600 bis 900 Kleinsatelliten – zu einer Kostenreduktion im Satellitenbau um 90 Prozent. Die Entwicklung von wettbewerbsfähigen neuen Träger- und Satellitenkonfigurationen gründet wesentlich auf dem Einsatz von neuen Werkstoffen wie innovativen Aluminiumlegierungen, Aerogelen sowie polymeren und keramischen Faserverbundwerkstoffen. Diese wiederum sind in neue Bauweisen umzusetzen. Deshalb treiben wir auch die Entwicklung neuer Fertigungs- und Produktionstechniken voran, wie den 3D-Druck und automatisierte Fertigungsverfahren.

**Welche Zeit in der Geschichte der Werkstoffwissenschaften finden Sie am interessantesten?**

■ Heute! Die neuen numerischen Simulationsmethoden, immer leistungsfähigere Computer und die zunehmende Verfügbarkeit von Methoden der künstlichen Intelligenz ermöglichen es uns, zu neuen Werkstoffkonfigurationen zu gelangen, die wir mit reinem experimentellen Vorgehen nie hätten erschließen können. Zudem werden die Entwicklungszyklen damit kürzer. Für uns Werkstoffwissenschaftler und Strukturtechnologen eröffnet das enorme Perspektiven für die Zukunft. Das bedeutet aber gleichzeitig einen kulturellen Wandel in der Forschung. Das ist außerordentlich spannend!



## Cassinis Schwanengesang

Der 15. September 2017 wird in die Raumfahrtgeschichte eingehen. Fast genau 60 Jahre, nachdem mit Sputnik 1 das Raumfahrtzeitalter begonnen hatte, geht eine der größten, aber auch großartigsten und wissenschaftlich ergiebigsten Missionen zur Erforschung des Sonnensystems zu Ende. Zum 22. und letzten Mal wird dann die Raumsonde Cassini durch die Ebene der Saturnringe fliegen und mit einer Geschwindigkeit von mehr als 75.000 Kilometern pro Stunde in die Wolkenhülle des Saturn eintauchen. Dort wird der Orbiter, der 1997 gestartet worden war und seit 2004 den zweitgrößten Planeten des Sonnensystems fast 300 Mal umkreiste, gegen Mittag unserer Zeit innerhalb weniger Sekunden verglühen.

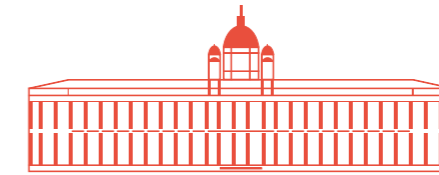
Aus. Vorbei. Aber was für ein Erbe, das Cassini hinterlässt! In den 13 Jahren wurden 436.500 Bilder mit dem Kamerasystem gemacht und unzählige Messwerte im Rahmen der elf Experimente gesammelt. Am 14. Januar 2005 landete die europäische Tochtersonde Huygens an Fallschirmen schwebend auf dem geheimnisvollen Saturnmond Titan. Cassini und ihr Lander Huygens werden in der Ahnengalerie der Raumsonden einen Ehrenplatz neben Viking, Voyager und Galileo einnehmen.

Ulrich Köhler

[DLR.de/Saturn](http://DLR.de/Saturn)



# EINE KAISERLICHE METEORITENSAMMLUNG



Was für ein Glücksfall, dass ein Habsburger zum Zeitvertreib eine Sammlung kaufte: Das Naturhistorische Museum Wien ist schlicht grandios!

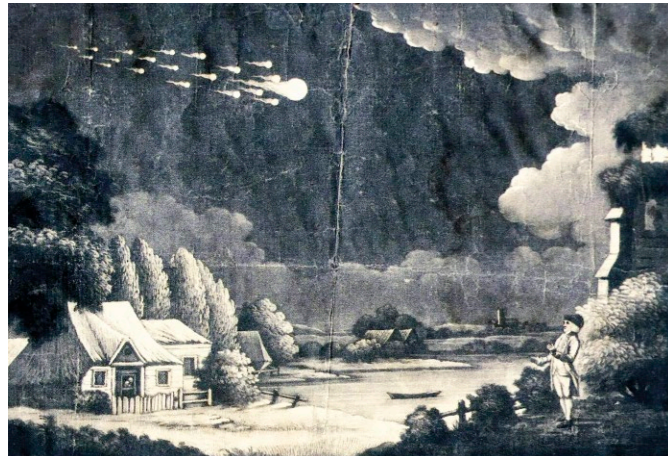
Von Ulrich Köhler

Wien ob seiner Grandezza zu preisen, ist wie Eulen nach Athen tragen. Jeder Hektar der Stadt atmet Geschichte und wartet mit „G'schicht'n“ auf. Gleichzeitig strahlt die wuselige Mischung aus Einheimischen und Besuchern aus aller Welt eine moderne, frische Lebendigkeit aus, die für eine Aura sondergleichen sorgt. Alles Walzer? – Längst schlägt das Herz Wiens mit dem Puls der Zeit, weltstädtisch und nicht mehr ausschließlich im Dreivierteltakt. Mal ist der Rhythmus hart und schnell wie in der Musik von Falco, dem verunglückten Lieblingssohn der Stadt, mal ganz langsam, still, und dies nicht nur auf dem Zentralfriedhof, Stephansdom, Hofburg, Prater, Albertina oder Schönbrunn: Ein Leben reicht nicht, alle Schätze dieser Stadt aufzunehmen. Einer der wertvollsten erfordert allein zwei Tage, mindestens, um ihn in all seiner Pracht zu erfassen: das Naturhistorische Museum am Maria-Theresien-Platz, vis-à-vis der Neuen Burg.

Alle Weltstädte haben Museen, die sich mit der mannigfaltigen Natur des Planeten Erde beschäftigen, die darstellen, wie geheimnisvoll die Ozeane und überwältigend die Kontinente sind. Museen, die zeigen, dass die Evolution von Flora und Fauna entgegen einigen verirrt Strömungen des Zeitgeists eine Tatsache ist, und dieses Wunder des Lebens in all seinen Facetten erklären.



Das Naturhistorische Museum in Wien am Maria-Theresien-Platz. Sein Saal 5 (Bild links) ist für Meteoritenkundler aus aller Welt eine wahre Pilgerstätte.



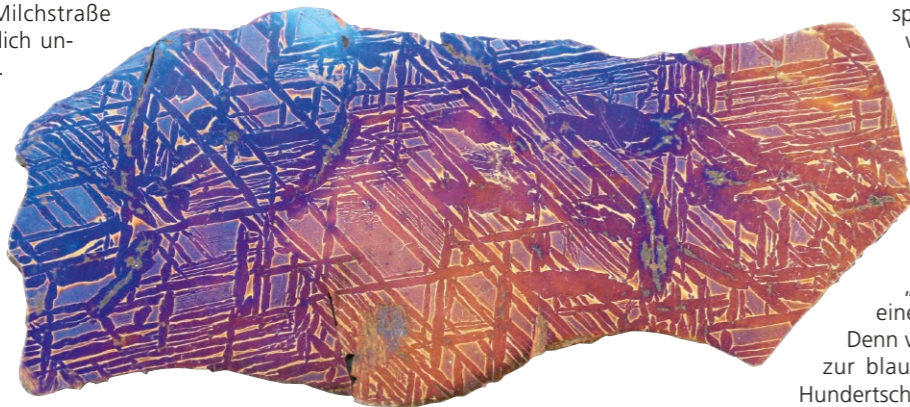
„Zuerst war nur ein roter Feuerball sichtbar“, schilderte der Chronist einen Meteor, der am 18. August 1783 in New Jersey zu sehen war, „dann zerbrach die Feuerkugel in mehrere Teile und wenig später war ein donnernder Knall zu hören!“



Was bedeuten Meteorite für die Entwicklung des Sonnensystems und nicht zuletzt der Erde? Die im Wiener Museum ausgestellte Meteoritensammlung ist nicht nur die weltweit größte, sie besticht auch durch ihre gute didaktische Aufarbeitung.

Abbildung im Text:  
Schnittfläche eines Eisenmeteoriten,  
ein „Widmannstättensches Gefüge“.

Auch beschäftigen sich die meisten dieser „Kathedralen naturwissenschaftlicher Erkenntnis“ (als eine solche tituliert sich auch das Museum in Wien) längst mit der Erde als einem Himmelskörper, als Bestandteil des Sonnensystems, deshalb der Galaxis namens Milchstraße und also des vermeintlich unendlichen Universums. So gesehen sind naturkundliche Museen im Wortsinne universelle Bildungsstätten, denn der Besucher wird nicht nur staunen, verblüfft sein und Extreme erfahren. In seinem Kopf wird er Bilder vom größten und kleinsten, vom längsten und kürzesten, vom schwersten und leichtesten, vom ältesten und jüngsten, langlebigsten und kurzzeitigsten Insekt, Meeresbewohner, Wurm oder Wirbeltier mit nach Hause nehmen. Gewollt oder ungewollt: Er wird vieles auch gelernt haben.



das Entrée ins Museum ist ein Fest und weckt die Vorfreude auf die vor einem liegenden, gewiss auch anstrengenden Stunden (Tipp: Im ausgezeichneten Restaurant kann man sich aufs Beste stärken). Doch man mag sich ja kaum losreißen von dieser Pracht, um sich dann am späten Nachmittag doch von der Lautsprecherdurchsage erlöst zu sehen, sich nun bitte langsam zum Ausgang zu begeben: „Das Museum schließt!“ Und ganz viele murmeln dann zu ihrer Begleitung: „Das wär’s doch jetzt, eine Nacht im Museum!“ Denn vielleicht gesellen sich ja zur blauen Stunde einige der Hundertschaften von präparierten Wirbeltieren aus den Lagern in den vielstöckigen Katakomben des Museums auf einen Walzer zu ihren ausgestellten Artgenossen. Wie in allen Sammlungen hat es nicht für alle und alles eine Ausstellungsfläche.

#### Das erste Museum im Sinne der Aufklärung

Wie so viele Museen hatte auch das in Wien seinen Ursprung in der Sammelleidenschaft eines Monarchen, der es sich leisten konnte, den Forschungsgeist bedeutender Wissenschaftler seiner Zeit großzügig mit von ihm bezahlten Expeditionen zu befeuern. Die Anfänge der Sammlung reichen über 250 Jahre weit zurück in die Regentschaft Kaiser Franz I. Stephan, der einem florentinischen Gelehrten eine Sammlung von dreißigtausend Exponaten abkaufte. Eine Legende sagt, der Kaiser habe seine geliebte Sammlung täglich besucht. Nach Franz’ Tod 1765 überwidmete seine Gemahlin Maria Theresia die Sammlung dem Staat und sorgte dafür, dass sie öffentlich zugänglich wurde. Das erste Museum im Sinne der Aufklärung stand in Wien.

Aufklärung und Renaissance wirkten heftig nach, sodass im 19. Jahrhundert aus allen Erdteilen Herbarien, Vogelbälge, Echsen und Kröten, Mineralien und Fossilien in Europa, also auch an der Donau eintrafen.

Das alles wollte katalogisiert und taxiert werden. Gleichzeitig verbrachten Astronomen Nacht um Nacht an den Teleskopen der immer größer werdenden Observatorien und erweiterten den Horizont in Richtung All. Das Wissen mehrte sich in dieser Zeit exponentiell. Doch wohin mit all den in Alkohol eingelegten Schlangen, Echsen und ausgestopften Tieren, den schweren Mineralienstufen? Es musste mehr Raum geschaffen werden!

Franz Joseph I., der als Kaiser bis zu seinem Tod 1916 unglückliche 68 Jahre lang über sein K.u.K.-Reich herrschte, legte im Jahre 1871 persönlich den Grundstein für ein naturkundliches Museum. 18 Jahre später weihte er es 1889 feierlich ein. Offensichtlich konnten sich die Architekten Gottfried Semper (den kennen wir aus Dresden) und der Wiener Carl von Hasenauer ohne Rücksicht auf Kosten und Zeit austoben. Das Gebäude ist eine Schau, auch ohne die Exponate! Bedeutende Künstler haben auf wandfüllenden Ölgemälden Fundorte und urzeitliche Fantasielandschaften festgehalten. Allerorten begegnet man Statuen, die berühmte Wissenschaftler oder die Kräfte der Natur darstellen. In goldenen Buchstaben steht in der vom emporstrebenden Sonnengott Helios gekrönten, 60 Meter hohen Kuppel die kaiserliche Widmung: „Dem Reiche der Natur und seiner Forschung“.

#### Saal Nr. 5: einmalig, außerirdisch

Alle naturwissenschaftlichen Disziplinen fanden ihren Platz. Damals wie heute wälzen sich die Besucherströme Tag für Tag zuverlässig an Tausenden von Exponaten vorbei. Eher etwas weniger beachtet gibt es da aber auch den Saal Nr. 5. Er ist in der weltweiten Museumslandschaft einmalig: Die Meteoritensammlung! Wer sich professionell mit extraterrestrischer Materie beschäftigt, ist einfach nur entzückt und wird sich intensiv mit der präzisen Klassifikation beschäftigen. Der Laie staunt ob der vielen gewaltigen Brocken mit ihren gerundeten Schmelzkrusten, Meteoriten mit kohlenstoffhaltigen Kügelchen, den Urbausteinen der Planeten, bewundert die durch Ätzung sichtbar gemachten geometrischen Muster auf den Schnittflächen von Eisenmeteoriten – nach Alois Widmannstätten (1754–1849) Widmannstättensches Gefüge genannt.

Meteorite fallen gelegentlich vom Himmel, weil sich ihre Bahn um die Sonne mit dem Orbit der Erde kreuzt und ein kleines Überbleibsel aus dem Kreissaal des Sonnensystems dann mit der Geschwindigkeit von

Das 39 Kilogramm schwere Hauptstück des Meteoritenfalls im kroatischen Hraschina, damals Teil des Weltreichs der K.u.K.-Monarchie, begründete die berühmte Wiener Meteoritensammlung

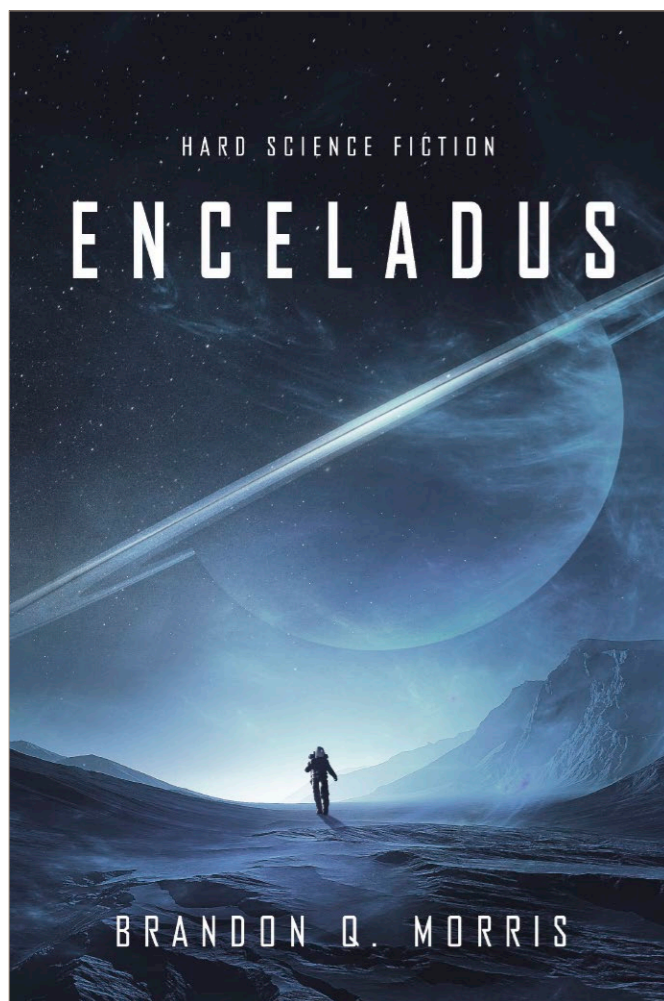


hundert- oder sogar zweihunderttausend Kilometern in der Stunde durch die Atmosphäre schießt. Dabei verglüht Materie. Nach wenigen Sekunden ist die Geschwindigkeit so niedrig, dass es sich ausgeglüht hat und manchmal ein kleiner Rest übrig bleibt und auf die Erde plumpst: Ein „Fall“, wie die Forscher sagen. Ein paar Tonnen treten jeden Tag in die Lufthülle der Erde ein, fast nichts kommt auf dem Boden an. Fälle sind selten und stellen keine Gefahr dar. Doch wenn denn ein Meteorit gefunden wird, ist ein jeder davon für die Wissenschaft von Bedeutung. Und so wird auch im Naturhistorischen Museum Wien mit diesen Meteoriten Grundlagenforschung betrieben. Schließlich möchte man verstehen, wie die Erde entstanden ist. Die bis zu 4,5 Milliarden Jahre alten Meteorite sind ein Schlüssel hierzu.

In Wien wurden Meteorite schon gesammelt, als man noch dachte, sie hätten ihren Ursprung auf der Erde. Aerolithe nannte man sie, Luftsteine. Jedenfalls hatten selbst Gebildete in jener Zeit gehörigen Respekt vor diesen mysteriösen Gesteinsbrocken. Als 1751, drei Jahre nach dem Ankauf der Naturaliensammlung durch Franz I., nahe Zagreb ein Meteoritenfall beobachtet wurde, forderte der Kaiser einen Bericht an. Dieser wurde ihm zusammen mit ein paar Eisenmeteoriten an den Hof geliefert. Das 39 Kilogramm schwere Hauptstück dieses Falls ist das erste Exemplar der Wiener Meteoritensammlung. 2.400 „Himmelssteine“ sind seither dazu gekommen, davon sind 1.100 Stücke von 650 Meteoriten ausgestellt. Zahlreiche bedeutende Wissenschaftler betreuten die Sammlungen – klangvolle Namen hatten sie: Andreas Xaverius Stütz (1747–1806), Carl Franz Anton Ritter von Schreibers (1775–1852), Gustav Tschermagg von Seysenegg (1836–1927). Auch der aktuelle Generaldirektor des Naturhistorischen Museums, Christian Köberl, ist einer der weltweit führenden Wissenschaftler auf dem Gebiet der Asteroideneinschläge und Meteoritenforschung. Sein tief sinniger Humor stößt nur dann an seine Grenzen, wenn man den Herrn Universitätsprofessor augenzwinkernd fragt, ob die Eingangshalle des Natural History Museum in London mit den Sauriern vielleicht „a bisserl spektakulärer“ sei, oder doch jene in Wien mit der prächtigen Kuppel? – „Also wissen’s, geh’... naa!“

www.nhm-wien.ac.at

Ulrich Köhler ist Planetengeologe am DLR-Institut für Planetenforschung und hat ein Faible für Wissenschaftsgeschichte und die Orte, an denen diese sichtbar wird.

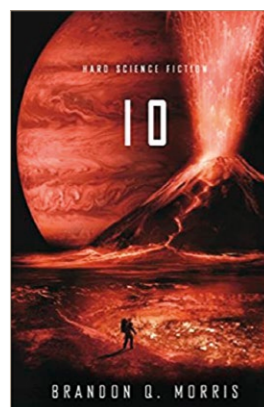
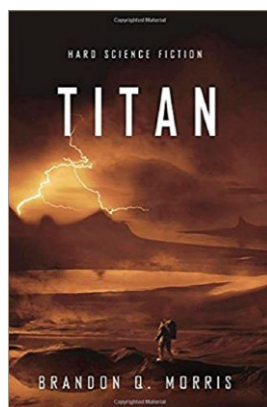


## KÜHLER TRIP ZUM SATURN-MOND

Das Jahr 2046. 27 Monate Reisezeit. Und ein eisiger Saturn-Mond, unter dessen Oberfläche ein Ozean Leben in sich bergen soll. Darauf zumindest deuten Signale einer Raumsonde hin. Die ungleiche Crew um den Protagonisten Martin, ein bescheidener Softwareentwickler, inklusive einer für die Technik an Bord zuständigen künstlichen Intelligenz, macht sich auf den Weg zu Enceladus, um das außerirdische Leben in der Tiefe aufzuspüren. Die Reise zum Saturn ist keine Kaffeefahrt, folgt doch ein technisches Problem dem anderen. Wo die künstliche Intelligenz nicht weiterweiß, müssen Martin und Co. Grips beweisen. Doch die zwischenmenschlichen Beziehungen sind eisig wie der Mond, zu dem die Crew auf dem Weg ist. Das macht das Überleben im interplanetaren Raum zu ihrer größten Herausforderung. Ob das Team die gefährliche Reise überlebt? Und wenn ja: Kann es den dicken Eispanzer von Enceladus mit dem Hightech-Bohrschiff durchbrechen und die in tiefer Dunkelheit liegende außerirdische Welt erforschen? Und die wichtigste Frage: Was geschieht, wenn Leben entdeckt wird?

Enceladus, einer der größten Monde des Ringplaneten ist wegen seiner kryovulkanischen Aktivität ein Kandidat für außerirdisches Leben. Diese wissenschaftliche Erkenntnis nutzt der Autor Brandon Q. Morris, um den Leser in seinem Roman **Enceladus (Create Space)** mitzunehmen auf einen lehrreichen Weg quer durch das Sonnensystem. Als Physiker und Weltraumspezialist ist Morris prädestiniert, physikalische Zusammenhänge zu erklären. Bis zum Ende achtet er auf wissenschaftliche Genauigkeit. Dass der Leser sich deswegen ab und zu durch wissenschaftliche Textpassagen ackern muss, ist aber nicht unbedingt ein Nachteil. Morris regt zum Nachdenken an und bringt dem, der dranbleibt, die Technik der Raumfahrt näher – ohne dabei jedoch belehrend zu wirken. Science-Fiction-Fans werden genau das zu schätzen wissen und das Buch nicht mehr aus der Hand legen wollen, voller Neugierde, was als Nächstes geschehen wird. Wer aber auf explosionsartige Plots à la „Der Marsianer“ oder große Gefühlsausbrüche in der Crew hofft, wird enttäuscht. Action-Momente bleiben trotz der Konflikte und Pannen fast völlig aus. Doch die kenntnisreiche Schilderung technischer Details in Kombination mit Morris' fesselndem Erzählstil geben dem intelligenten Zukunftsroman seinen Reiz. Eiskalt erwischt wird der Leser am Ende, wenn unvermittelt die letzte Seite erreicht ist, das famose Finale aber ausbleibt. Damit ist die Neugier auf **Titan** und **Io** geweckt, die Bände 2 und 3 der Eismond-Trilogie ...

Jana Wiedemeyer



### TITAN

2005 setzt die von der Erde gesandte Sonde „Huygens“ auf dem Saturnmond Titan auf. 40 Jahre später empfängt ein Radioteleskop Signale vom Titan, die nur von dem längst vergessenen Lander kommen können. Zur selben Zeit kehrt eine Expedition vom Nachbarmond Enceladus zurück. Die Crew landet auf Titan und stößt dort auf ein Geheimnis, das ihre Rückkehr infrage stellt.

### IO

Der Jupitermond Io gilt mit seinen Lava-Strömen, Schwefelseen und Vulkanausbrüchen als extrem lebensfeindlich. Existiert dort eine Gefahr, die die gesamte Menschheit bedroht?

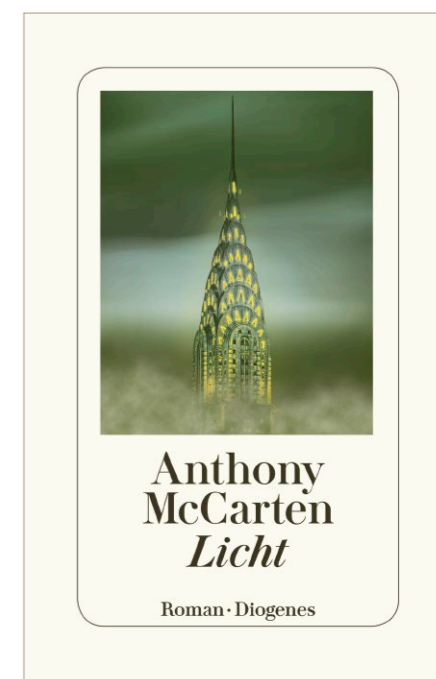
## DER GAR NICHT EINFACHE WEG ZUM LICHT

Eines ist Autor Anthony McCarten wichtig – sein Roman **Licht (Diogenes)** basiere auf verfügbaren Fakten, er habe aber nicht die Absicht, eine weitere Biografie über Thomas Alva Edison zu schreiben. Diesem Vorsatz zufolge steht nicht die Wissenschaft oder eine trockene Chronologie im Vordergrund, sondern die Person des Erfinders. Der ist Wissenschaftler durch und durch, kommuniziert – da er schlecht hört – mit seiner Frau per Morsezeichen und forscht unermüdlich am Material für seine Glühbirnen. Geld bringt dies nicht ein und so gerät er unter den Einfluss des Bankiers J. P. Morgan, der die Idee des elektrischen Lichts zum ganz großen Geschäft machen will. Edison muss sich nun nicht nur mit Geschäftsleuten unterhalten, sondern sich auch der lästigen Konkurrenz, seinem ehemaligen Mitarbeiter Nikola Tesla und dem Erfinder George Westinghouse, entgegenstellen, die ihm mit dem Einsatz von Wechselstrom zur Elektrifizierung zuvorkommen wollen.

Auf den 362 Seiten des Romans wird deutlich: Was heute so selbstverständlich als Strom aus der Steckdose kommt und Lampen zum Leuchten bringt, war Ende des 19. Jahrhunderts unbekanntes und gefährliches Terrain. Edison bleibt nicht von Fehlschlägen verschont. Die erste Illumination eines Straßenzugs findet in Anwesenheit der Presse am hellen Tage statt und bleibt fast unsichtbar. Die Versorgung eines ganzen Hauses mit Strom geht auch nicht reibungslos vonstatten. Und schließlich bewirkt Edison durch die Experimente mit einem elektrischen Stuhl auch nicht das, was er eigentlich wollte, nämlich seinen Konkurrenten Westinghouse als Wechselstrombefürworter in ein schlechtes Licht rücken.

Das alles erzählt McCarten im Rückblick dicht am Menschen Edison. Ein wenig tragisch, aber auch skurril und von einer gewissen Ironie ist die Geschichte Edisons, der zwar sein Labor, aber nicht sein Leben im Griff hatte. Das macht den Roman unterhaltsam – und vielleicht lehrreicher als jede trocken geschriebene Biografie.

Manuela Braun



## UNGENANNT GENIAL

Für Autorin Margot Lee Shetterly war eines schon als Kind selbstverständlich: „Ich sah so viele Afroamerikaner in der Wissenschaft, der Mathematik und im Ingenieurwesen arbeiten, dass ich glaubte, das sei einfach das, was schwarze Leute tun.“ Zumal ihr Vater selbst zu den afroamerikanischen Mitarbeitern der NASA gehörte und seine Tochter auch schon mal mit ins Büro nahm. Wie anders dies zu Zeiten der Rassentrennung in den USA war, hat sie für ihr Buch **Hidden Figures. Unerkannte Heldinnen (HarperCollins)** recherchiert: Mit viel wissenschaftlichem Ehrgeiz und spürbarem persönlichen Engagement sprach sie mit Zeitzeuginnen, wälzte Dokumente und wertete sie aus, um die Geschichte jener schwarzen Frauen aufzuschreiben, die als „menschliche Computer“ bei der NASA unter anderem für Berechnungen bei den Apollo-Missionen zuständig waren.

Allerdings ist dies auch ein Nachteil des Buches: Gründlich und detailliert sowie versehen mit Fußnoten erzählt die Autorin weniger eine Geschichte, sondern sammelt vielmehr Fakten, sodass es nicht leicht ist, einen roten Faden zu finden. Statt einer Protagonistin zu folgen, wird immer wieder Bezug auf verschiedene Frauen genommen, statt Konzentration auf die Mondlandungen sind auch die Jahre zuvor mit den unterschiedlichsten Arbeitsbereichen Thema. Wer gerne sorgfältig recherchierte Fakten im eher wissenschaftlichen Stil liest, wird zufrieden sein. Wer Gefallen an der unterhaltsamen Verfilmung von 2016 fand und nun zum Buch greift, wird möglicherweise enttäuscht.

Manuela Braun



## VÄTER DES FORTSCHRITTS IM KOPFKINO

Mit Mut oder gar Waghalsigkeit, als Freigeist oder auch Freibeuter, mit wahrem Erfindergeist oder raffinierter Gerissenheit – der Hörbuchverlag **headroom** widmet unter dem Namen „Abenteuer & Wissen“ herausragenden Persönlichkeiten der Weltgeschichte eine Hörspielreihe. Die Folge **Galileo Galilei – Ein Weltbild gerät ins Wanken** erweckt den aus der Mathematik kommenden Universalwissenschaftler zum Leben, setzt ihn in seinen geschichtlichen Kontext und zeichnet seinen Werdegang nach, inklusive charakterlicher Eigenheiten. Alles rein akustisch – und dennoch entsteht im Kopf ein ausdrucksstarkes Bild.

Der Hörer begleitet Galilei auf seinem Weg von Pisa über die Universität Florenz bis hin zur Anhörung vor der Inquisition in Rom – an den Ort, an dem er sich 1633 gezwungen sah, sich gegen seine Überzeugung als Astronom für das althergebrachte geozentrische Weltbild auszusprechen. Aufhalten konnte die katholische Kirche die kopernikanische Wende dennoch nicht. Und Galileo Galilei hatte seinen Anteil daran. Zu seinem wichtigsten Werk wurde indes ein anderes: seine Fallgesetze. Mit der erstmaligen mathematischen Formulierung des Phänomens Beschleunigung wurde der universelle Naturwissenschaftler für viele Nachfolgende zum Vater der Physik.

„Abenteuer & Wissen“ nahm sich bereits einiger Erfinder, Pioniere und Freigeister an. Ebenfalls kürzlich erschienen ist eine Folge über eine weitere prägende Vaterfigur der Weltgeschichte: Johannes Gutenberg, den Erfinder des Buchdrucks, heute auch oft als Vater der Massenkommunikation bezeichnet. In **Johannes Gutenberg – Der Siegeszug des Buches** ist besonders eine Szene hörenswert: Detailliert und äußerst spannend werden die letzten Arbeitsschritte bis zur ersten gedruckten Seite geschildert. Sie war Ergebnis jahrelanger Materialforschung. Papier, Druckfarbe, die Legierung für den Guss der Lettern – alle Komponenten mussten perfekt aufeinander abgestimmt sein. Dafür wurde Gutenberg als Mann des Jahrtausends gefeiert. Nur durch den maschinellen Druck und die damit mögliche massenhafte Verbreitung des Buches kam es ab der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts zur Demokratisierung des Wissens. Die breite Bildung der Bevölkerung wurde zum Fundament der heutigen aufgeklärten Wissensgesellschaft.

Laut Klappentext der CDs ist die Reihe „Abenteuer & Wissen“ für ein Publikum „von 8 bis 88“ geeignet. Das Hörspiel über Galileo Galilei vermag allerdings dem erwachsenen Hörer nicht allzu viel Neues zu vermitteln. Bei Gutenberg hingegen lernen auch die Großen, denn über die Person hinaus sind interessante Details aus dem Handwerk klassischer Schriftsetzer zu erfahren.

Für Jüngere ist das Konzept des Geschichtenerzählens ideal: Es wechseln in angenehmer Taktung Erklärungen, Experten-O-Töne und gut geschriebene Spielszenen mit mehreren Sprechern, unterstützt durch einen dezenten Einsatz von Musik und Geräuschen, die Atmosphäre schaffen. So ist es besonders für die Kleinen leicht, bei den spannenden Geschichten aus der Vergangenheit am Ball zu bleiben. Sie können lernen, ohne es als Lernen zu empfinden.

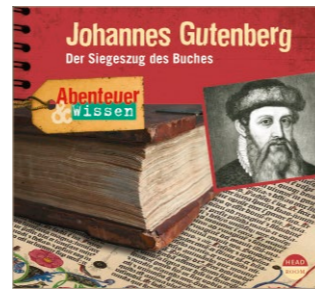
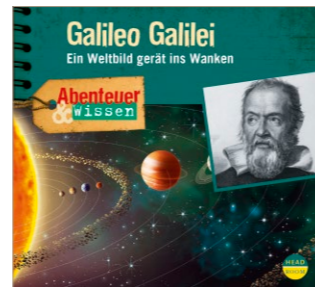
Philipp Burtscheidt

## RAUMFAHRT ZUM ZUHÖREN

Um das genaue Zuhören kommt man nicht herum – dafür vermittelt das Hörbuch **Neil Armstrong – Der erste Mensch auf dem Mond (headroom)** einfach zu viel Wissenswertes. Die Geschichte der Raumfahrt in 80 Minuten zu erzählen, ist ein anspruchsvolles Projekt: der Wettlauf zum Mond, das Apollo-Programm, bis hin zu den Raumstationen MIR und ISS. Mit verschiedenen Sprechern, Audiostücken aus Reden und Fernsehübertragungen, historischem Funkverkehr und einigen Kommentaren von Astronaut Thomas Reiter ist bei aller Wissensvermittlung auch für Abwechslung gesorgt.

Auch diese CD ist für Zuhörer von 8 bis 88 Jahren empfohlen – manch Achtjähriger hat wahrscheinlich noch nicht die Geduld, um die detaillierten Informationen aufzunehmen: Die vielen Namen von Politikern, Astronauten, Flugzeugen und Raumschiffen zu Beginn werden junge Hörer etwas überfordern. Ihnen sei etwas Geduld empfohlen, denn Kapitel wie „Alltag im All“, in dem Thomas Reiter erzählt, wie Essen, Schlafen und Schweben im All funktionieren, sind spannend und ebenso wie die eigentliche Mondlandung auch wieder für jüngere Zuhörer geeignet. Für etwas ältere Weltraum-Fans dürfte die gesamte CD aber – nach einem etwas trockenen und zahlenlastigen Einstieg in die Sternkunde – ein großes Vergnügen sein. Geschickt nutzen die Autoren die Person Neil Armstrong als „roten Faden“ und machen Raumfahrt erlebbar und menschlich. Sie ist halt „ein kleiner Schritt für den Menschen, aber ein gewaltiger Sprung für die Menschheit.“

Manuela Braun



## DIE WELT VON MORGEN UND ÜBERMORGEN

Vorstellungen davon, was die Zukunft bringen könnte, hatten die Menschen schon immer. Und heute ist vieles Realität, was in früheren Jahrhunderten nur in der Fantasie existierte. Ob aus den heutigen Visionen Tatsachen werden, wird die Zeit zeigen. Mit dem Was-ist-was-Band **Zukunft. Alles im Wandel** macht sich der **Tessloff-Verlag** auf die Suche nach der Zukunft, beschreibt, welche Visionen bereits umgesetzt wurden und welche Vorhersagen ein wenig danebenlagen. Mit vielen Bildern, gut verständlichen Texten und kleinen Kästen mit „Angeberwissen“, Funny Facts oder auch Unglaublichem ist dies nicht nur für Kinder und Jugendliche gut gelungen: Auch als Erwachsener hat man Spaß daran, sich durch die vielen verschiedenen Themen, Fotos und Zeichnungen zu schmökern. Wie arbeiten Zukunftsforscher, und wie leben wir im Jahr 2050? Was hat Jules Verne in seinen Romanen richtig vorausgesehen? Science-Fiction findet in dem unterhaltsamen „Bauchladen“ ebenso ihren Platz wie die Irrtümer der Vergangenheit – schließlich hat Bill Gates 1993 noch gesagt: „Das Internet ist nur ein Hype.“

Die Zukunftsbilder der Vergangenheit amüsieren oftmals. Derzeitige Vorstellungen vom Leben in 30 Jahren mit 3D-Drucken im Wohnzimmer, Gewächshäusern im Wolkenkratzer oder denkenden Fabriken sind heute schon Forschungsthemen im DLR. So ist DLR-Roboter Justin als intelligenter Helfer im Kapitel „Ferne Zukunft“ gelandet – als zukünftige Unterstützung für Astronauten bei Außenarbeiten auf Mond oder Mars. So fern ist das gar nicht mehr ...

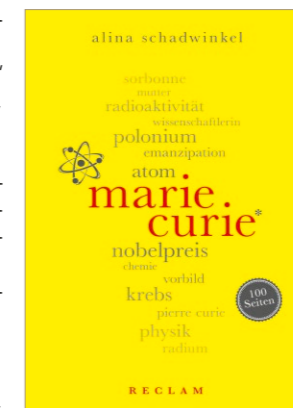
Manuela Braun



## EIN LEBEN AUF 100 SEITEN

Gelber Einband, praktisches Format und Informationen, die auf den Punkt gebracht wurden, zeichnen die Reclam-Bändchen aus. Mit der Serie „100 Seiten“ greift der Verlag ganz unterschiedliche Themen auf, von den Menschenrechten über Trash TV bis hin zu Reformation und Astrophysik. Die Journalistin Alina Schadwinkel hat 100 Seiten der Wissenschaftlerin **Marie Curie (Reclam)** gewidmet, die zur Radioaktivität forschte, zwei Nobelpreise erhielt und schließlich – ausgelöst durch ihre Forschungsarbeiten – an Blutharntum starb. Die Autorin beschreibt Curies beruflichen Werdegang, ihre wissenschaftliche Arbeit, ihr Privatleben, die Marketingstrategien, mit denen sie in den USA um Fördergelder warb – und schlägt auch den Bogen zu den Themen Frauen in der Wissenschaft, Nobelpreis im Allgemeinen sowie Fluch und Segen der Kernenergie. Zum Ende hin verliert das Bändchen ein wenig seinen roten Faden, aber man wird klüger – und das auf angenehme und unterhaltsame Weise.

Manuela Braun



## LINKTIPPS

HAST DU TÖNE?

<https://soundcloud.com/nasa>

Das Fauchen eines Space Launch Systems (SLS) im Testbetrieb, Gewitter auf dem Jupiter oder auch Radiowellen, die wie Vogelgezwitscher im Dschungel klingen, finden sich in der Soundcloud der NASA. Ebenfalls hörenswert: die verschiedenen Podcasts mit Experten zur Internationalen Raumstation, zur Suche nach Leben auf dem Mars oder zur Entdeckung von Exoplaneten.

NIEMALS RUHE

<http://bit.ly/2u1PvPP>

Ruhig ist der Ätna nie – das haben während der ROBEX-Mission auf dem Vulkan auch die DLR-Wissenschaftler beobachtet und mit Seismometern gemessen. Die erprobten Technologien sollen einmal eine autonome Mission mit seismischen Messungen auf dem Mond ermöglichen. Wie der Ätna täglich bebzt, zeigt diese Webseite des National Institute of Geophysics and Volcanology (INGV) in Echtzeit.

SCHIFF AHO!

<http://bit.ly/2vb7lVo>

Der Schiffsverkehr und die Anzahl gesendeter Schiffsinformationen nehmen immer mehr zu. Wissenschaftler des DLR arbeiten deshalb daran, mit der Entwicklung und der Auswertung neuartiger Funksignale die Sicherheit zu erhöhen und ein zuverlässigeres Lagebild zu ermöglichen. Wo sich derzeit weltweit welche Schiffe befinden, wie groß sie sind, wohin sie fahren und selbst wie sie aussehen, zeigt diese Webseite.

SO KLINGT DIE ERDE

<https://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/goldenrec.html>

Als vor 40 Jahren die beiden Voyager-Sonden starteten, gab die NASA ihnen die „Golden Records“ mit auf den Weg – als Information für außerirdische Lebensformen, die so etwas über die Erde lernen könnten. 115 Bilder, Audiostücke mit Vogelgesang oder Windgeräuschen, Grußbotschaften in 55 Sprachen und Musik verschiedener Kulturen fliegen seitdem durch das Sonnensystem. Den Inhalt der „Golden Records“ kann man auf der NASA-Seite durchstöbern.

SPEKTAKULÄRER BRUCH

<http://t1p.de/ifc3>

Mitte Juli 2017 brach am Larsen-C-Schelfeis in der Antarktis ein großer Eisberg ab. Siebenmal so groß wie Berlin, eine Billion Tonnen schwer. Das Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, erklärt in einem Webspécial mit Satellitenbildern, Vergleichsgrafiken und Videos die Hintergründe des spektakulären Ereignisses.

## Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr, Digitalisierung und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 20 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Dresden, Göttingen, Hamburg, Jena, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

## Impressum

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

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

Redaktion: Matthias Ruchser (ViSdP), Cordula Tegen (Redaktionsleitung)  
An dieser Ausgabe haben mitgewirkt: Manuela Braun, Dorothee Bürkle, Philipp Burtscheidt, Falk Dambowsky, Denise Nüssle, Jana Wiedemeyer, Michel Winand und Jens Wucherpfennig

DLR-Abteilung Politikbeziehungen und Kommunikation  
Linder Höhe, 51147 Köln  
Telefon 02203 601-2116  
E-Mail kommunikation@dlr.de  
Web DLR.de  
Twitter @DLR\_de

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten  
Gestaltung: CD Werbeagentur GmbH, 53842 Troisdorf, www.cdonline.de

ISSN 2190-0094

Online:  
**DLR.de/magazin**

Onlinebestellung:  
**DLR.de/magazin-abo**

Die in den Texten verwendeten weiblichen oder männlichen Bezeichnungen für Personengruppen gelten für alle Geschlechter.

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellenangabe. Die fachliche Richtigkeit der Namensbeiträge verantworten die Autoren. Hinweis gemäß § 33 Bundesdatenschutzgesetz: Die Anschriften der Postbezieher des DLR-Magazins sind in einer Adressdatei gespeichert, die mit Hilfe der automatischen Datenverarbeitung geführt wird.

Bilder DLR (CC-BY 3.0), soweit nicht anders angegeben.

**ClimatePartner**<sup>o</sup>  
klimaneutral  
Druck | ID 53106-1708-1003



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

## Titelbild

An der weltweit einzigartigen Anlage TESIS im DLR Köln testen Wissenschaft und Industrie Komponenten für neue Flüssigsalzspeicher als Beitrag zur nationalen und globalen Energiewende.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages