

NÄCHSTER HALT: ZUKUNFT

DAS DLR BRINGT NEUE FAHRZEUGIDEEN AUF DIE STRASSE



Weitere Themen:

- ▶ **DAS FEINE GESPÜR FÜR WASSER UND EIS**
Auf den Spuren des Klimawandels in der Arktis
- ▶ **TRÄGER UND SAMMLER**
Zwei neue Missionen erkunden den Mars

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Wir betreiben Forschung und Entwicklung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie und Verkehr, Sicherheit und Digitalisierung. Das DLR Raumfahrtmanagement ist im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zwei DLR Projektträger betreuen Förderprogramme und unterstützen den Wissenstransfer.

Global wandeln sich Klima, Mobilität und Technologie. Das DLR nutzt das Know-how seiner 54 Institute und Einrichtungen, um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln. Unsere mehr als 9.000 Mitarbeitenden haben eine gemeinsame Mission: Wir erforschen Erde und Weltall und entwickeln Technologien für eine nachhaltige Zukunft. So tragen wir dazu bei, den Wissens- und Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken.

Impressum

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

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

Redaktion: Nils Birschmann (V.i.S.d.P.), Julia Heil (Redaktionsleitung)

Politikbeziehungen und Kommunikation
Linder Höhe, 51147 Köln
Telefon 02203 601-2116
E-Mail info-DLR@dlr.de
Web DLR.de
Twitter [@DLR_de](https://twitter.com/DLR_de)

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten
Gestaltung: CD Werbeagentur, Burgstraße 17, 53842 Troisdorf, www.cdonline.de
ISSN 2190-0094

Online lesen:
DLR.de/dlr-magazin

Onlinebestellung:
DLR.de/magazin-abo

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

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



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt verbindet Grundlagenforschung auf höchstem Niveau mit anwendungsbezogener Forschung bis hin zum Prototyp. Mit unserer Kompetenz in Forschung und Transfer stärken wir den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Deutschland. Als Vorstandsvorsitzende habe ich seit dem 1. Oktober die Freude, gemeinsam mit unseren 9.000 Mitarbeitenden zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen beizutragen.

COVID-19-Pandemie, Mobilitätswende und Klimawandel erfordern eine enge Zusammenarbeit aller Akteure. Ingenieur- und naturwissenschaftliche Forschung hat hier eine Schlüsselfunktion. Erdbeobachtung liefert wesentliche Daten, Big Data Science und künstliche Intelligenz sorgen für eine immer bessere Auswertung. In Kooperationen mit Wissenschaft und Industrie arbeiten wir an zukunftsweisenden Technologien wie emissionsfreier Mobilität, nachhaltiger Energieversorgung, sicheren Infrastrukturen oder der Digitalisierung in der Fabrik der Zukunft. Und natürlich sind unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler offen für neue Denkansätze und Entwicklungen. Das ist es, was mich persönlich so am DLR reizt: die Vielfalt und Relevanz der Themen und die Menschen, die gemeinsam daran arbeiten und immer noch einen Schritt weiterdenken.

Einblicke in diese Welt ermöglicht das DLRmagazin. So wird in dieser Ausgabe unser Safe Light Regional Vehicle vorgestellt, das von einer Brennstoffzellen-Batterie-Kombination angetrieben wird und Wasserstoff tankt. In Oldenburg erproben Forscherinnen und Forscher derweil, wie eine zukünftige nachhaltige Energieversorgung funktionieren kann, und in Göttingen untersucht ein Team am Institut für Aeroelastik, wie biegsame Flügel dabei helfen, Treibstoff einzusparen. Weitere Themen dieses Heftes sind neue Marsmissionen, die auf unserem Nachbarplaneten nach Spuren von Leben suchen, ein Projekt, das Kommunikations- und Navigationssysteme gegen Cyberangriffe absichert, und ein Überblick über 40 Jahre Erdbeobachtung im DLR.

Bei der Lektüre wünsche ich Ihnen viel Vergnügen!

Mit freundlichen Grüßen

*Ihre
Anke Kayser-Prealla*



NÄCHSTER HALT: ZUKUNFT

26



BIEGEN STATT BRECHEN

36



SCHUTZGEBIETE

32



TRÄGER UND SAMMLER

20



IN DER DATENGOLDSCHMIEDE

10



EINE GANZE STADT IN EINEM LABOR

50



DAS FEINE GESPÜR FÜR WASSER UND EIS

40



DAS MEER, DER MENSCH UND DIE SEE

54

NEUE INSTITUTE UND EINRICHTUNGEN	6
MELDUNGEN	8
IN DER DATENGOLDSCHMIEDE 40 Jahre angewandte Fernerkundung	10
INS ALL IN SIEBEN TAGEN Ein neues Kompetenzzentrum für Responsive Space	16
▶ TRÄGER UND SAMMLER Zwei neue Missionen erkunden den Mars	20
AUF ZU NEUEN HÖHEN 10 Jahre TanDEM-X	24
▶ NÄCHSTER HALT: ZUKUNFT Das DLR bringt neue Fahrzeugideen auf die Straße	26
SCHUTZGEBIETE Wie sich Systeme gegen Cyberangriffe absichern lassen	32
BIEGEN STATT BRECHEN Wie flexibel darf ein Flugzeugflügel sein?	36
▶ DAS FEINE GESPÜR FÜR WASSER UND EIS Auf den Spuren des Klimawandels in der Arktis	40
ICH SEHE WAS, WAS DU NICHT SIEHST Ein neues Teleskop zur Analyse von Weltraumschrott	46
AUSSERIRDISCHES SCHWERGEWICHT Der Steinmeteorit „Blaubeuren“ verrät Geheimnisse des Sonnensystems	48
EINE GANZE STADT IN EINEM LABOR Im NESTEC wird die Energieversorgung der Zukunft erprobt	50
DURCH BILDUNG DIE WELT VERÄNDERN Der Weg in eine nachhaltige, gerechte und inklusive Zukunft	52
DAS MEER, DER MENSCH UND DIE SEE Besuch im Deutschen Schiffahrtsmuseum	54
FEUILLETON	58

ENERGIE UND LUFTFAHRT NEU DENKEN

Mit insgesamt vier weiteren neuen Instituten und Einrichtungen wird das DLR neue Forschungsthemen in den Bereichen Energie und Luftfahrt etablieren. Im Mittelpunkt stehen die Energietransportkette, umweltverträgliche Antriebe für die Luftfahrt sowie Konzepte für die zukünftige Mobilität in der Luft. Auch in der Art und Weise, wie geforscht wird, gewinnt das DLR neue Möglichkeiten hinzu: So werden neben Experimenten und Versuchsflügen Virtualisierung und Simulation als übergreifende Kompetenzen ausgebaut.



- Neuer Standort
- Bestehender Standort
- ⊙ Neu am bestehenden Standort

Ebenfalls grünes Licht gab der DLR-Senat dem **Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität** (Oldenburg) sowie dem **Institut für Maritime Energiesysteme** (Geesthacht). Diese wurden im DLRmagazin 165 vorgestellt.

Institut für Future Fuels

Jülich

Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Christian Sattler

Geplantes Personal:
ca. 120 Personen

Website:
DLR.de/ff

BRENNSTOFFE AUS ERNEUERBAREN QUELLEN

Wenn die CO₂-Emissionen des Energie- und Verkehrssektors sinken sollen, braucht es neben neuen Antrieben neue, umweltfreundliche Kraftstoffe. Das DLR-Institut forscht daran, wie solare Brennstoffe kostengünstig in großtechnischem Maßstab erzeugt werden können. Die Brennstoffe sollen nicht nur preiswert sein, ihre Wirkungsgrade sollen mindestens doppelt so hoch sein wie die heutiger Kraftstoffe. Entsprechend entwickelt das Institut neue und verbesserte Technologien, kümmert sich um deren intelligente und digitale Vernetzung und unterstützt die Industrie bei deren Einbindung. Darüber hinaus wird es sozioökonomische Aspekte sowie Logistikkonzepte bewerten sowie Grundlagenforschung an relevanten Materialien betreiben.



Institut für emissionsarme Luftfahrtantriebe

Cottbus

Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Lars Enghardt

Geplantes Personal:
ca. 150 Personen

Website:
DLR.de/el

UMWELTVERTRÄGLICH FLIEGEN, ABER WIE?

Dieser Frage widmet sich das neue Institut für emissionsarme Luftfahrtantriebe. Im Fokus der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stehen dabei sogenannte hybride Antriebskonzepte, zum Beispiel die Kombination aus Gasturbine und elektrisch erzeugtem Vortrieb, beziehungsweise auf Wasserstoff oder auf alternativen Kraftstoffen basierende Antriebe. Solche Triebwerke sind im Vergleich zu heutiger Technik enorm komplex und stellen deshalb hohe Anforderungen an intelligente Regelungssysteme. Neben der Arbeit an Einzelkomponenten und verschiedenen Zukunftskonzepten für alternative Flugantriebe wird das Institut die Entwicklung von neuen Regularien und Sicherheitskonzepten begleiten und unterstützen.



Technologien für Kleinflugzeuge

Aachen und Aachen-Merzbrück

Gründungsdirektor:
Dr. Christian Eschmann

Geplantes Personal:
ca. 80 Personen

Website:
DLR.de/kf

KLEINE FLIEGER KOMMEN GROSS HERAUS

Elektrisches und unbemanntes Fliegen sind wichtige Bausteine für die urbane Mobilität von morgen. Die Einrichtung legt ihren Fokus auf die Bereiche „allgemeine Luftfahrt“ und „urbaner Luftverkehr“. Neben Gesamtwürfen von neuen Flugzeugkonfigurationen und der Integration neuer Antriebssysteme arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auch an neuen Produktions- und Wartungstechnologien, neuartigen Infrastrukturen sowie an einem Dienstleistungskonzept für die Luftrettung.



Kompetenzzentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme

Cochstedt

Gründungsdirektor:
Dr. Christian Eschmann

Geplantes Personal:
ca. 40 Personen

Website:
DLR.de/uc

ELEKTRISCH UND UNBEMANNT

Die Forschungseinrichtung widmet sich den Themen des elektrischen Fliegens mit Schwerpunkt auf unbemannten Luftfahrtsystemen (Unmanned Aircraft Systems – UAS). Die Forscherinnen und Forscher werden auch Simulations- und Flugversuchsszenarien für UAS erarbeiten, Demonstratoren entwickeln, mit denen die neuen Technologien im Flug getestet werden können, und Methoden erarbeiten, mit denen sicherheitskritische Szenarien bewertet werden können. Gemeinsam mit dem Nationalen Erprobungszentrum für Unbemannte Luftfahrtsysteme in Cochstedt wird das Zentrum die Forschungsaktivitäten im Bereich UAS bündeln und weiter etablieren.



ASTEROIDENPROBEN ERREICHEN DIE ERDE

Am 6. Dezember 2020 landet eine Kapsel mit Proben des Asteroiden Ryugu in Australien. Die Kapsel ist Teil der Mission Hayabusa2. Sie war im Dezember 2014 gestartet, um den erdbahnkreuzenden Asteroiden zu untersuchen. An Bord befand sich der etwa schuhkartongroße MASCOT-Lander (Mobile Asteroid Surface Scout), der am DLR entwickelt wurde. Nach der Ankunft im Juni 2018 ließ Hayabusa2 MASCOT im darauffolgenden Oktober auf den Asteroiden fallen, wo der Lander über 17 Stunden Daten von der Oberfläche sammelte. Später näherte Hayabusa2 sich Ryugu auf wenige Meter, um Bodenproben zu nehmen. Die Daten von MASCOT sowie von Hayabusa2 zeigten bereits, dass der Asteroid fast vollständig aus hochporösem Material besteht. Nun sind die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gespannt, was die Auswertung der Proben ergibt. Sie erhoffen sich sowohl mehr über den Ursprung und die Entwicklung des Sonnensystems zu erfahren als auch über die Bedrohung durch erdnahe Objekte wie Ryugu. Nachdem Hayabusa2 die Probenkapsel zur Erde zurückgebracht hat, setzt die Sonde ihre Reise fort, um voraussichtlich im Juli 2026 den Asteroiden 2001 CC21 zu passieren.



© JAXA

In 400.000 Kilometer Entfernung zur Erde trennt Hayabusa2 die Kapsel mit den Bodenproben des Asteroiden ab und fliegt weiter



Flugzeugtriebwerke stoßen Rußpartikel aus. An ihnen kondensieren kleine unterkühlte Wassertropfen und gefrieren sofort zu Eis. Sie werden als Kondensstreifen am Himmel sichtbar.

LUFTVERKEHR TRÄGT 3,5 PROZENT ZUR KLIMAERWÄRMUNG BEI

Der Anteil der globalen Luftfahrt an der anthropogenen Klimaerwärmung beträgt 3,5 Prozent, dabei entfällt nur ein Drittel der Klimawirkung des Luftverkehrs auf CO₂-Emissionen und zwei Drittel auf Nicht-CO₂-Effekte. Der bedeutendste Faktor sind dabei Kondensstreifen und daraus resultierende Kondensstreifenzirren. Zu diesem Ergebnis kamen Forscherinnen und Forscher im Rahmen einer internationalen Studie unter der Leitung der Manchester Metropolitan University und unter Beteiligung des DLR. Das Team betrachtete die CO₂-Emissionen der globalen Luftfahrt zwischen 1940 und 2018 und kam zu dem Schluss, dass 32,6 Milliarden Tonnen emittiert wurden, davon ungefähr die Hälfte allein in den letzten 20 Jahren. Dies ist vor allem auf die Ausweitung der Zahl der Flüge, der Routen und der Flottengrößen, insbesondere in Asien, zurückzuführen. Dabei entspricht die Zahl von 32,6 Milliarden Tonnen schätzungsweise 1,5 Prozent der gesamten menschlichen CO₂-Emissionen.

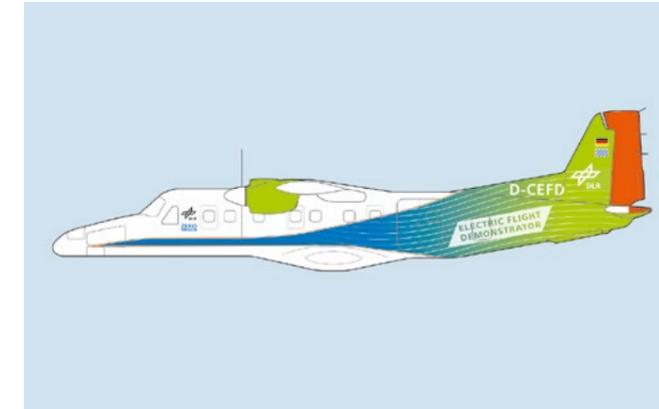
ERFOLGSFAKTOREN: INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT UND SEKTORENKOPPLUNG

In einer zweiteiligen Studie hat das DLR das Potenzial von grünem Wasserstoff als Energieträger für ein klimaneutrales Energiesystem untersucht. Dabei identifizierten die Fachleute vor allem zwei Erfolgsfaktoren, um Wasserstoff zu etablieren: konsequente Kopplung der Sektoren Verkehr, Stromerzeugung, Wärme und Industrie sowie internationale Zusammenarbeit bei Produktion und Logistik. Grüner Wasserstoff ist nachhaltig und klimaneutral, bei seiner Herstellung kommen Wasser sowie Energie aus erneuerbaren Ressourcen wie Sonne und Wind zum Einsatz. Da in Deutschland die Potenziale für erneuerbare Energien begrenzt sind, sollte der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft von Anfang an darauf ausgerichtet sein, dass Länder innerhalb und außerhalb der Europäischen Union zusammenarbeiten. Um die Herstellungskosten von Wasserstoff zu senken, forscht das DLR an solarthermischen Verfahren, bei denen mittels Wärme Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten wird.



Dieser Reaktor nutzt die Energie von Sonnenstrahlung, um Wasserstoff zu erzeugen. Er steht im Hochleistungsstrahler Synlight des DLR Jülich.

NEUES FORSCHUNGSFLUGZEUG FÜR ELEKTRISCHES FLIEGEN



Die Entwicklung der Luftfahrt in Richtung umweltverträglichere Antriebe spiegelt sich auch in der Sonderlackierung des neuen Forschungsflugzeugs wider. Beispielsweise soll das grüne Triebwerk mit einem Elektroantrieb ausgerüstet werden.

Mit der DO228-202k hat das DLR ein neues Forschungsflugzeug erworben, um elektrische und hybridelektrische Antriebssysteme weiterzuentwickeln. Dazu wird es gemeinsam mit dem Industriepartner MTU Aero Engines das Flugzeug in den kommenden Jahren mit einer wasserstoffbetriebenen Brennstoffzelle und einem einseitigen elektrischen Propellerantrieb der Leistungsklasse von über 500 Kilowatt-Wellenleistung ausrüsten und testen. Brennstoffzellen verursachen mit Ausnahme von Wasserdampf keine Emissionen und zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus. Die Brennstoffzelle in Verbindung mit nachhaltig produziertem Wasserstoff hat langfristig das Potenzial, bei Regional-, Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen nahezu emissionsfreien Luftverkehr zu ermöglichen. Ziel des gemeinsamen Technologievorhabens ist die Entwicklung eines luftfahrtgeeigneten, vollständigen Antriebsstrangs (Power-Line) und dessen Kühlung (Cooling-Line). Die Leitung des Projekts liegt beim DLR, das das Versuchsflugzeug zur Verfügung stellt und betreibt. Das DLR ist zudem für die Integration des Antriebsstrangs verantwortlich und steuert Know-how aus den Bereichen Flugerprobung, Flugzeugaerodynamik und -aeroelastik bei. Aufgabe der MTU ist es, den gesamten wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellen-Antriebsstrang zu entwickeln. Bis zu 80 Expertinnen und Experten sollen an dem Projekt arbeiten.



Detail des Rumpfs der neuen Do-228-202k mit neuer Lackierung

REGIONALMELDUNGEN

BRAUNSCHWEIG: Bei der „additiven Extrusionstechnologie“ entstehen mit einem 3D-Druckkopf Kunststoffstränge mit eingebetteten Endlosfasern, die zu beliebigen Strukturen geschichtet werden können. Vorteil der Technologie ist, dass sie keine aufwendigen Werkzeugformen benötigt und hohe Designfreiheit bietet. Das DLR InnovationLab EmpowerAX entwickelt zusammen mit Partnern Qualifizierungsmaßnahmen und Standards, um diese Technologie für verschiedenste Zielgruppen leicht zugänglich zu machen.

STUTT GART: Der Technologiekalender Strukturwandel Automobil Baden-Württemberg unterstützt kleine und mittelständische Unternehmen bei strategischen Entscheidungen. Die Studie des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte beschreibt, wie sich automobiler Schlüsseltechnologien unter bestimmten Bedingungen bis 2035 entwickeln können, und hilft so Unternehmen, zukunftsfähige Produkte und Geschäftsfelder zu identifizieren, gezielt Kompetenzen aufzubauen und damit wettbewerbsfähig zu bleiben.

OBERPFAFFENHOFEN: Am 13. Oktober kehrte das Forschungsschiff Polarstern nach einem Jahr zurück von der Arktis-Expedition MOSAiC. Mit an Bord war eine Antenne aus dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation, die während der Expedition Signale von Satellitennavigationssystemen sammelte. Ein DLR-Team untersucht, ob und wie Sonnenwinde, die in den Polregionen besonders stark sind, die Satellitennavigation in Polnähe beeinflussen. Die Daten liegen nun vollständig vor und die Auswertungen laufen.

NEUSTRELITZ: Forscherinnen und Forscher des Instituts für Kommunikation und Navigation entwickeln mit R-Mode ein Positionierungssystem für Schiffe, das unabhängig von Satellitensignalen arbeitet. Es soll Sicherheit bieten, wenn beispielsweise die Navigation per GPS gestört wird. Aktuell errichtet das Team das erste großflächige R-Mode-Testfeld entlang der Küsten Deutschlands, Schwedens und Polens.

HAMBURG: Vom 25. bis 26. Februar 2021 findet sowohl online als auch in Hamburg die E²Flight-Konferenz statt. Sie beschäftigt sich mit der Frage, wie umweltfreundliche Flugzeugtechnologien und elektrisches Fliegen realisiert werden können. Die Konferenz richtet sich an internationale Wissenschaft und Industrie, deren Augenmerk auf elektrifizierten Flugzeugen liegt. Interessierte können sich unter e2flight.com anmelden.

DLR.DE: MELDUNGEN AUF DER DLR-WEBSITE

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

DLR.de/meldungen

IN DER DATEN- GOLDSCHMIEDE

40 Jahre angewandte Fernerkundung im DLR
von Prof. Dr. Stefan Dech und Prof. Dr. Richard Bamler



Wie entwickelt sich das Klima? Wann und wo lag in diesem Winter Schnee? Wie schnell wachsen Siedlungen und Städte? Wie steht es um die Umwelt? Wo drohen Gefahren? Das alles und noch viel mehr sagen uns Satellitenbilder – deutschland-, europa-, weltweit. Jeden Tag strömen mehr als 21 Terabyte Daten von Erdbeobachtungssatelliten ins Earth Observation Center (EOC) des DLR. Sie werden hier zu Bild- und Informationsprodukten verarbeitet und in der Forschung eingesetzt. Die mittlerweile im EOC gespeicherte Datenmenge von 29 Petabyte entspricht mehr als 7 Millionen Stunden Youtube-Videos – 800 Jahre Film, nonstop! Diese Entwicklung war vor 40 Jahren unvorstellbar.

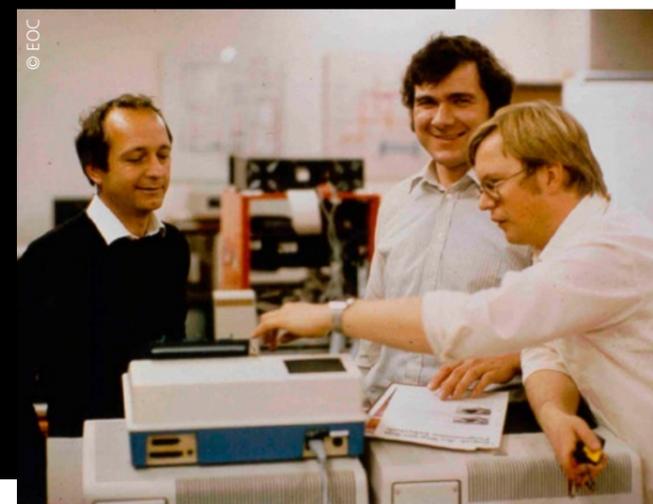
Damals hieß das DLR noch DFVLR: Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt. Filme wurden in einem der öffentlich-rechtlichen Programme oder auf Leinwand im Kino gezeigt, im Fernsehen lief „Was bin ich? – Heiteres Beruferaten“ mit Robert Lembke, Helmut Schmidt war Bundeskanzler und das Tastentelefon war gerade erst eingeführt.

Zurück zu den Anfängen

Zu dieser Zeit, 1980, entstand in Oberpfaffenhofen eine neue wissenschaftlich-technische Betriebseinrichtung: die Hauptabteilung Angewandte Datentechnik – eine Vorläufereinrichtung des heutigen Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums, DFD, das zusammen mit dem DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung das EOC bildet. Eine der ersten Aufgaben der Neugründung war der Empfang und die Verarbeitung von Daten der TIROS-Satelliten, der ersten Satelliten zur Wetterbestimmung und -vorhersage.

In den Anfängen war das einzige elektrische Gerät im Büro ein Telefon – noch mit Wählscheibe. Entwürfe, Dokumentationen oder Berechnungen erfolgten per Hand. Den Abteilungsrechner teilte man sich. Er wurde über ein alphanumerisches Terminal bedient, daran angeschlossen war ein Typenraddrucker. Technik wie „Rahmensynchronisierer“ und „Kommunikationselemente“, die Datenströme aus dem Weltall empfangen sollten, mussten zum größten Teil selbst entwickelt und gebaut werden. Sie wurden als Schnittstelle zu den damals wenig leistungsfähigen Rechnern benötigt. Ein Highlight im Jahr 1985 war die deutsche Spacelab-Mission (D1). Für das Labor an Bord des Spaceshuttles „Challenger“ bauten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der damals noch jungen Einrichtung eine sogenannte Data Selection Unit (DSU). Mit dieser ließen sich gezielt Daten des Spacelabs für die Übertragung nach Deutschland auswählen. Für den gesamten Datenstrom war die Übertragung via Satellit noch viel zu teuer.

Auf der anderen Seite des geteilten Deutschlands, in Neustrelitz, lauschte das Institut für Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR ins All, empfangend Daten der sowjetischen



Der langjährige IT-Manager des EOC, Willi Wildegger (Mitte), 1980 zu Beginn seiner Karriere bei der Inbetriebnahme eines neuen Geräts



Nördlich des Polarkreises in den Nordwest-Territorien Kanadas betreibt das Earth Observation Center des DLR eine Antenne zum Empfang von Satellitendaten. 2.500 Kilometer sind es von der Bodenstation in Inuvik bis zum Nordpol.



Nach dem Mauerfall wurde Neustrelitz ein Standort des DLR. Hier werden die Daten nationaler und internationaler Fernerkundungsmissionen empfangen und in Echtzeit Informationen generiert, zum Beispiel für maritime Sicherheitsanwendungen.



Die DLR-Empfangsstation GARS O'Higgins in der Antarktis kann nur per Schiff oder Flugzeug versorgt werden. Ihre polnahe Lage auf der antarktischen O'Higgins-Halbinsel ist jedoch für die Satellitenkommunikation so günstig, dass ganzjährig dort gearbeitet wird.

INTERKOSMOS-Satelliten, des ersten europäischen Meteosat und der amerikanischen NOAA-Satelliten. Bereits seit 1969 wurden hier Empfangsantennen betrieben. Nach dem Mauerfall wurden die deutsch-deutschen Fähigkeiten schließlich vereint und Neustrelitz wurde zum Standort des DFD.

Die 1990er Jahre waren eine Zeit, in der sich die Technik schnell entwickelte: Das zweite deutsche Spacelab startete mit dem Spaceshuttle „Columbia“, Europa brachte seine ersten Satelliten ins All und die USA bauten ihre Landsat-Satellitenflotte aus. Das DFD wurde von der Europäischen Weltraumorganisation ESA als Datenzentrum beauftragt, Landsat-Daten an Anwender zu verteilen. Das bedeutete, die Daten auf Magnetbändern an die wenigen Nutzer in Deutschland zu verschicken, die mit dieser neuen Daten-Technologie schon umgehen konnten. Oder einen fotografischen Bildabzug der Satellitenszenen zu erstellen. Zu diesem Zweck betrieb das DFD ein eigenes geowissenschaftliches Fotolabor, eines der modernsten seiner Zeit.

Ein neues Kapitel beginnt

Mit den ersten europäischen Erdbeobachtungssatelliten, ERS-1 (1991) und ERS-2 (1995) begann nicht nur für Europa, sondern auch für den Vorläufer des EOC eine neue Zeit. Die Daten der damaligen Sensoren konnten nicht an Bord der Satelliten gespeichert werden. Um Regenwälder, Wüsten und Eismassen kartieren zu können, war man für den Datenempfang also auf strategisch günstig gelegene Bodenstationen angewiesen, die sich in der Nähe der Beobachtungsgebiete befanden.

Mit nationaler Förderung wurde 1991 die erste Satellitenempfangsstation auf dem antarktischen Kontinent, die „German Antarctic Receiving Station (GARS)“, nahe der chilenischen Station Bernardo O'Higgins in Betrieb genommen. Sie empfing die Daten der ERS-Satelliten über der Antarktis. Nach dieser logistischen und technischen Meisterleistung wurden weitere, temporäre Empfangsstationen vom DFD errichtet: beispielsweise in Gabun in Westafrika, in Kirgisien, in der Mongolei oder in Mexiko. Heute umfasst das Empfangsnetzwerk neben den Antennen in Oberpfaffenhofen und Neustrelitz die Stationen GARS O'Higgins und eine weitere polnahe Station in Inuvik in der kanadischen Arktis. Solche polaren Standorte haben sich mittlerweile wegen ihrer häufigeren Kontaktzeiten zu den Satelliten für die maximale Ausbeute an Daten bewährt.

Big Data

Viel hat sich seit dem Launch der ersten europäischen Satelliten verändert. Europa verfügt heute über eine eigene große Flotte an Erdbeobachtungssatelliten. Die „Sentinels“ des Copernicus-Programms liefern Daten für alle – kostenfrei im Internet. Gerade einmal zwölf Jahre ist es her, dass zuerst die USA die „free & open“-Entwicklung angestoßen haben und Aufnahmen der Landsat-Satelliten zum Allgemeingut erklärten. Bildszenen, die zuvor hunderte von Dollar kosteten, waren plötzlich frei erhältlich. Die EU griff diese Idee auf. Heute sind die meisten Satellitendaten frei verfügbar. Lediglich räumlich höchstauflösende Daten im Meter- und Submeter-Bereich werden kommerziell vermarktet. Doch auch dieser Markt verändert sich, seitdem Start-ups die Erdbeobachtung für sich entdeckten. Klein- und Kleinstsatelliten bis auf Schuhkartengröße auf Basis konventioneller Bauteile werden mittlerweile zu hunderten in den Orbit gebracht und liefern täglich hochauflösende Aufnahmen von der ganzen Erde. Mögliche Ausfälle sind Teil des Konzepts. Und Bildqualität und geometrische Genauigkeit werden erst softwareseitig nach Datenempfang in großen Rechenzentren optimiert.

Aus dem All in die Cloud

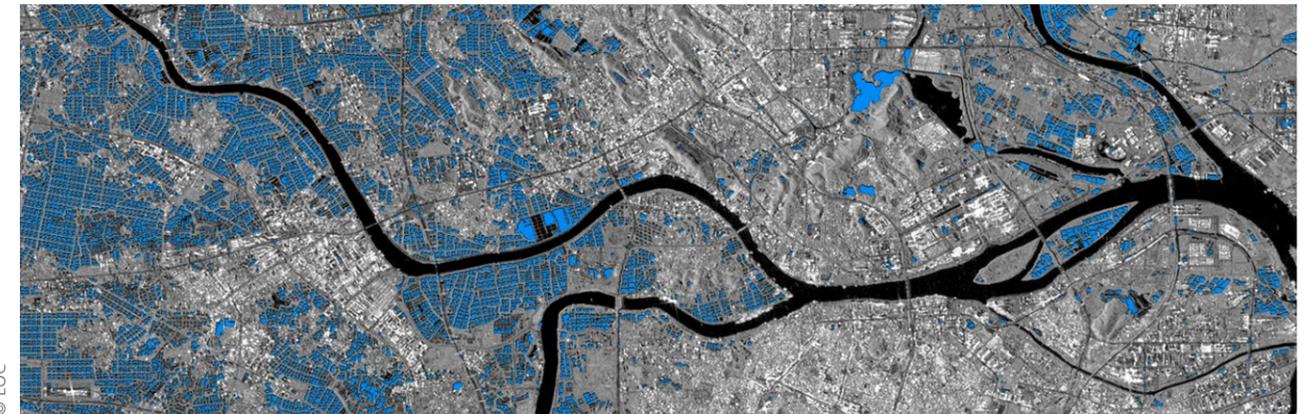
Solche Rechenzentren erlauben heute auch kleinen Forschungsgruppen und gar Einzelpersonen, globale Erdbeobachtungsprodukte zu erstellen. Mussten Nutzerinnen und Nutzer bis vor wenigen Jahren ihre Daten auf den eigenen PC herunterladen und dort verarbeiten, verbleiben die Rohdaten heute oftmals in den Rechenzentren, sodass lediglich die Algorithmen zu den Daten hochgeladen werden. Firmen wie Google und Amazon haben dieses Feld für sich entdeckt. Sie bieten den Zugriff auf die europäischen Copernicus-Daten und die notwendige Rechenperformance aus einer Hand an – für die Forschung zum Teil kostenfrei, zumindest solange sie sich einen Vorteil davon versprechen.

Mitten in diesem extrem dynamischen Umfeld bewegt sich das heutige EOC. Über 40 Jahre hat die Einrichtung mit ihren Vorläufern die Erdbeobachtung mitgeprägt. Beispielsweise wurden Teile des Bodensegments

der ESA von seinen Teams entworfen. Nach wie vor ist das EOC im Auftrag der ESA für den Empfang, die Verarbeitung und das Management von Satellitendaten verantwortlich und konnte sich in einem mittlerweile kommerzialisierten Markt behaupten. Auch für die Verarbeitung der Daten in der Cloud entwickelt es aktuell in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften eine zukunftsreiche Alternative zu den großen kommerziellen Anbietern. Diese Anwendung soll die Souveränität bei Zugriff und bei der Prozessierung von Satellitendaten wahren.

Immer mit dem Blick aufs Ganze

Das EOC und seine Vorgängereinrichtungen sind gemeinsam mit der ESA und ihrem Raumfahrtprogramm groß geworden. Ganz besondere Kraft hat das EOC jedoch auch aus den nationalen Radarmissionen und Programmen geschöpft: 1994 startete mit SIR C/X-SAR das weltweit

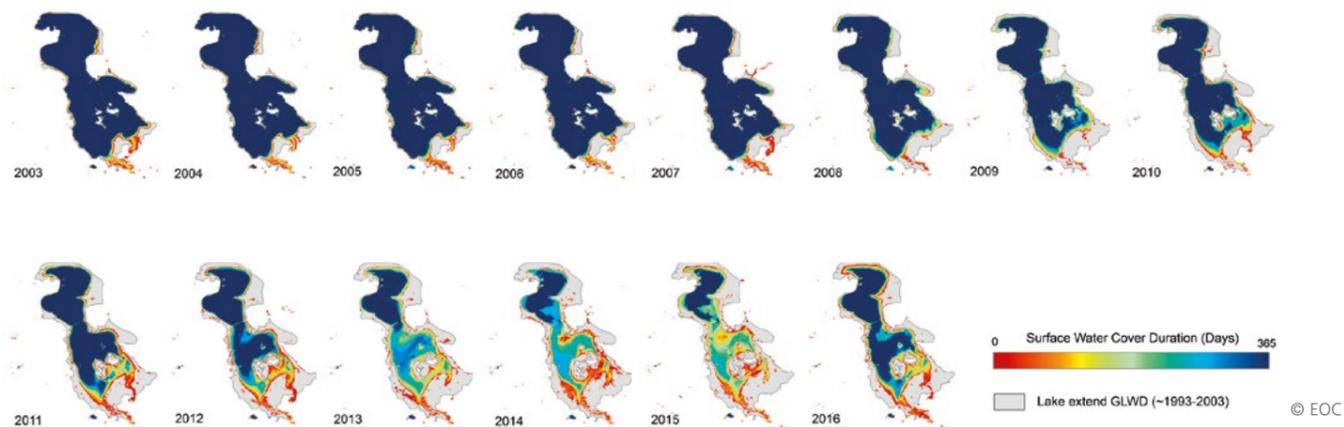


Das DFD entwickelte einen Algorithmus, der in Radaraufnahmen nach aquakulturtypischen Becken sucht. Dadurch lässt sich die Zunahme und Produktionsmenge von Aquakulturen weltweit abschätzen. Die Kulturen entstehen oftmals in sensiblen Küsten- und Mangrovenregionen. Das Bild zeigt den Pearl River oder Perfluss.



In Metropolen wie Kairo ist es häufig schwierig, genaue Angaben zur Bevölkerungsdichte zu machen. Mit dem World Settlement Footprint in Kombination mit den Daten der TANDEM-X-Mission schätzen die Fachleute des DFD global Gebäudehöhen ab. Diese Informationen ermöglichen es, die Verteilung der Bevölkerung zu bestimmen.

1971 Erste E-Mail wird versandt	1972 Start des Erdbeobachtungssatelliten Landsat-1	1973 Erster Prototyp des Mobiltelefons	1976 Erster PC (Apple I)	1983 Deutsche MOMS-01-Kamera	1991 Das World Wide Web wird weltweit verfügbar	1991 Start des ersten ESA-Erdbeobachtungssatelliten ERS-1	1994 Das bildgebende Radar SIR-C/X-SAR umkreist an Bord der Raumfähre „Endeavour“ die Erde
				1980 Gründung der DLR-Hauptabteilung Angewandte Datentechnik (WT-DA)	1991 Inbetriebnahme GARS O'Higgins	1993 WT-DA wird zum Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum	



2003 war der Urmisee mit ca. 4.250 km² noch achtmal so groß wie der Bodensee, bis zum Jahr 2015 war er auf etwa 10 Prozent seiner ursprünglichen Fläche geschrumpft. Das Problem der Austrocknung und der daraus resultierenden Folgen wurde von lokalen, nationalen und internationalen Initiativen und Programmen verstärkt angegangen, 2016 deuteten sich schon die ersten positiven Effekte der veranlassenen Maßnahmen an. Informationsprodukte aus der Erdbeobachtung, wie der Global WaterPack, können hier wichtige Planungsgrundlagen liefern.

erste Radarsystem, das im Frequenzbereich X-Band arbeitete, 2000 hatte das erste SAR-Interferometer (Synthetic Aperture Radar) auf der Fernerkundungsmission SRTM Premiere. Mit diesem Sensor konnten erstmals Geländemodelle der Erde erstellt werden. 2007 startete der Satellit TerraSAR-X. Er trägt einen Radarsensor, der in verschiedenen Modi betrieben werden kann. Drei Jahre später folgte sein Zwillingssatellit TanDEM-X. Die beiden fliegen in enger Formation und ermöglichen so zeitgleiche Aufnahmen der Erdoberfläche (sog. bistatisches Interferometer). Keine andere Raumfahrtnation hatte zuvor zwei Satelliten mit nur wenigen hundert Metern Abstand in einer Helix umeinander kreisen lassen, um erstmals ein hochauflösendes, einheitliches globales Geländemodell zu erzeugen. Die TanDEM-X-Mission offenbarte – wie kein anderes Projekt zuvor – das Alleinstellungsmerkmal des DLR, seine Systemfähigkeit: Satellitensteuerung, Instrumentenentwicklung, Datenprozessierung und Auswertung aus einer Hand. Für all diese nationalen Missionen, aber auch für alle Atmosphärenmissionen der ESA, konnte das EOC die Verarbeitungsalgorithmen vom ersten Sensor bis hin zum Nutzerprodukt entwickeln und die gesteckten Ziele deutlich übertreffen. Deutschland gelangte so weltweit an die Spitze der Radarfernerkundung. Auch die Datenmengen dieser Missionen stellten alles Dagewesene in den Schatten. Dank dieses „Trainings“ kann das EOC heute auch die viel gewaltigeren Datenmassen des europäischen Copernicus-Programms verarbeiten.



Künstliche Intelligenz wird eingesetzt, um Luft- und Satellitenbilder zu klassifizieren. So erkennt der Algorithmus Verkehrswege, Fahrzeuge und unterschiedliche Fahrbahnmarkierungen auf dieser Aufnahme einer Szene von München aus etwa 500 Kilometer Entfernung. © EOC

Künstliche Intelligenz und Social Media für die Erdbeobachtung

Um diesen „Big Data“-Datenschatz zu analysieren, etablierte das EOC das Forschungsgebiet „Künstliche Intelligenz für die Erdbeobachtung“. Auch die geowissenschaftliche Forschung des EOC wurde durch die Datenfülle beflügelt. Als Nebenprodukt der TanDEM-X-Mission entstand beispielsweise die weltweit genaueste Siedlungskarte der Erde. Heute wird sie mit Sentinel-Daten weitergeführt und durch die TanDEM-X-Daten um die Höheninformation ergänzt. Mit Hilfe von Big Data, künstlicher Intelligenz und Social-Media-Daten erfassen die EOC-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler sogar die Art der Bebauung in den Siedlungen. So kann die Verteilung der Bevölkerung erheblich genauer bestimmt werden. Diese Information ist für die Kartierungen von Risikogebieten wichtig, wie sie durch das Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) des EOC erstellt werden. Auch die Atmosphärenforschung profitiert davon, da sie unter Berücksichtigung der Gesundheitsrisikoindeizes nicht nur die Belastung der Menschen bestimmen, sondern auch die Anzahl der Betroffenen abschätzen kann. Dabei wird ein Informationssystem eingesetzt, das bewertet, welche Gesundheitsrisiken durch verschiedene Umwelteinflüsse entstehen. Zu diesen Umwelteinflüssen zählen

Luftschadstoffe und meteorologische Einflüsse wie Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Wind und Luftfeuchtigkeit.

Die Erdbeobachtung ist heute im Alltag der Menschen angekommen. Von der Vielzahl und Vielfalt der heute zugänglichen Daten, den Prozessierungskapazitäten und Algorithmen konnte man vor 40 Jahren noch nicht einmal träumen. Die heutigen Möglichkeiten des Internets, die umfassenden Satellitenflotten und mobilen Anwendungen im Alltag waren schlicht unvorstellbar.

Prof. Dr. Stefan Dech ist Direktor des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums des DLR und **Prof. Dr. Richard Bamler** Direktor des DLR-Instituts für Methodik der Fernerkundung. Beide leiten das Earth Observation Center des DLR.

Das Earth Observation Center

Das Earth Observation Center (EOC) ist ein Institutverbund des DLR-Instituts für Methodik der Fernerkundung (IMF) und des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD). Während das DFD aus der 1980 gegründeten Hauptabteilung Angewandte Datentechnik (WT-DA) hervorging, wurde das IMF im Jahr 2000 nach einer umfassenden Neustrukturierung des Bereichs Erdbeobachtung im DLR gegründet. Seitdem arbeiten die beiden Institute mit Standorten in Oberpfaffenhofen, Neustrelitz, Berlin und Bremen als Verbund zusammen, zunächst als „Cluster Angewandte Fernerkundung“ und seit 2010 unter dem Namen Earth Observation Center. Das EOC ist heute ein international führendes Kompetenzzentrum für satellitengestützte Erdbeobachtung.



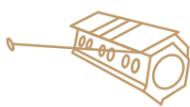
Auch auf dieser Satellitenaufnahme aus ebenfalls ca. 500 Kilometer Distanz identifiziert der Algorithmus eindeutig die Fahrbahnmarkierungen einer Autobahnauffahrt in Braunschweig. Dies sind wertvolle Informationen für zukünftiges autonomes Fahren. © EOC



2000 Start der Fernerkundungsmission SRTM



2002 Start des ESA-Umweltsatelliten ENVISAT



2007 Start der DLR-Radarmission TerraSAR-X



2010 Start der DLR-Radarmission TanDEM-X



2014 Start von Sentinel-1, erste Mission des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus

2000 Gründung des DLR-Instituts für Methodik der Fernerkundung

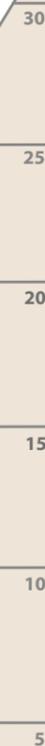
2004 Am Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) wird das Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) gegründet

2008 Landsat-Archive werden der Öffentlichkeit zugänglich

2010 Einweihung der Empfangsstation Inuvik

2010 Gründung des Earth Observation Centers EOC

Datenvolumen im DLR-Satellitendatenarchiv (D-SDA) in Petabyte



INS ALL IN SIEBEN TAGEN

DLR-Kompetenzzentrum für Responsive Space geht neue Wege
von Uli Bobinger



Dr. Dirk Zimper leitet das Responsive Space Cluster Competence Center des DLR in Trauen

Unverzichtbare Helfer

Unser Leben auf der Erde ist von Satelliten bestimmt. Und da geht es nicht nur um die Wettervorhersage oder das Fernsehprogramm: Ohne die Zeittaktung durch Satelliten gibt es keine genaue Navigation, gibt es keine korrekten Datenströme, kommen keine Orders mehr an den Börsen an, wissen Computernetzwerke nicht mehr, wie Ampeln, Zugsignale, Energienetzwerke zu steuern sind. Was also tun, wenn zentrale Satelliten ausfallen, sei es durch einen aggressiven Akt von außen oder auch „nur“ durch eine Kollision mit Weltraumschrott?

Die Antwort ist so banal wie – in der Umsetzung – herausfordernd: sofort reagieren, also möglichst schnell einen neuen Satelliten mit der erforderlichen Nutzlast in den Orbit bringen, damit die ausgefallene Fähigkeit wieder ersetzt werden kann. Hier kommt Dirk Zimper ins Spiel: Diese Fähigkeit zu entwickeln, ist die Aufgabe des Responsive Space Cluster Competence Centers. Das Kompetenzzentrum ist ein wesentlicher Bestandteil des im Spätsommer gegründeten AeroSpaceParks Trauen.

Sieben Tage statt sieben Jahre

Eine Satellitenmission zu planen, den Satelliten dann zu bauen, eine geeignete Trägerrakete zu finden, eine Startkampagne zu organisieren und die Nutzlast nach dem Start im richtigen Orbit zu platzieren, zu kalibrieren und schließlich in den operativen Betrieb zu nehmen – das ist derzeit normalerweise eine Sache von Jahren. Ein Beispiel: Für den Bau des europäischen Telekommunikationssatelliten EDRS-C waren die Verträge im Jahr 2013 unterzeichnet worden. Sechs Jahre später, im August 2019, wurde er mit einer Ariane 5 ins All geschossen, und erst seit Juli 2020 ist der Inbetriebnahme-Test beendet und der Satellit einsatzbereit. EDRS-C ist im geostationären Orbit in 36.000 Kilometer Höhe geparkt, aber selbst wenn Responsive Space sich zunächst nur auf den erdnahen Orbit in einigen hundert Kilometern Höhe konzentrieren wird: Aus solchen sieben Jahren wie bei EDRS-C vielleicht sieben Tage zu machen, klingt nach einem Ziel, neben dem ein James-Bond-Streifen wie ein Dokumentarfilm anmutet.

Das hört sich nicht nur wie „New Space“ an – es wäre tatsächlich eine Revolution in der europäischen Raumfahrt, selbst wenn die symbolhaften sieben Tage am Ende in der Realität zwei, drei, vier Wochen bedeuten. Dirk Zimper auf die Frage nach der größten Herausforderung: „Wir haben eine unglaubliche Expertise in den verschiedenen DLR-Instituten.

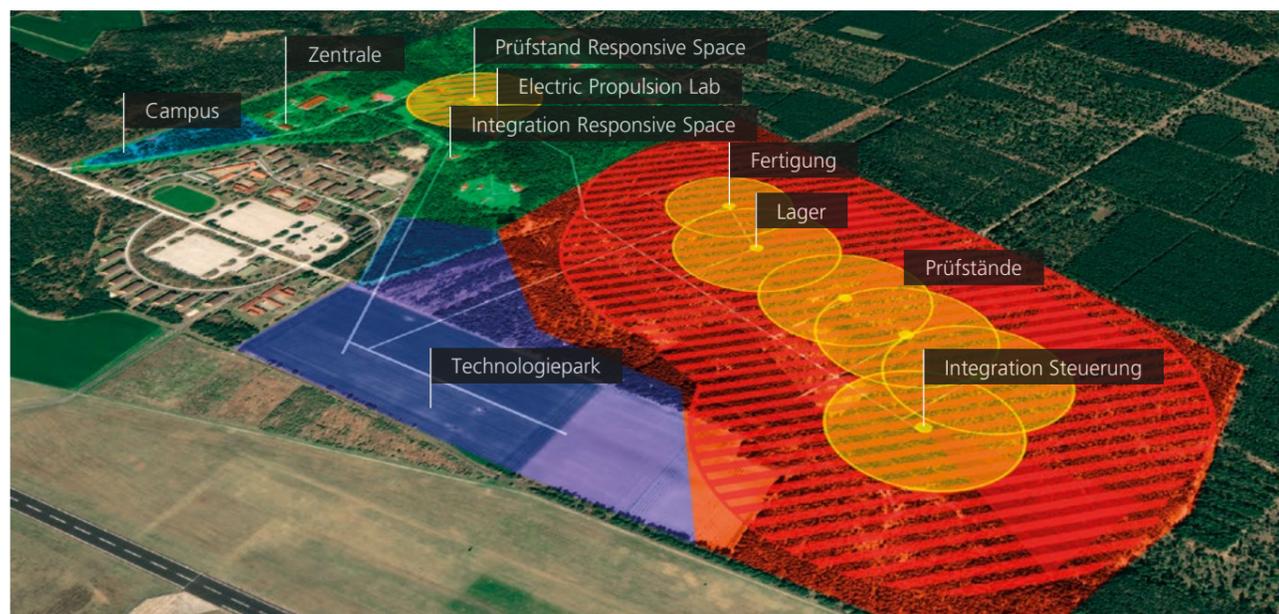


Da gibt es diese Szene im James-Bond-Klassiker „Man lebt nur zweimal“, in der ein amerikanisches Raumschiff plötzlich von den Radarschirmen verschwindet. Später passiert das Gleiche mit einer sowjetischen Raumkapsel. Beide plötzlich ausgeschaltet – und verschwunden. Blofeld, der Bösewicht, steht kurz vor der Vollendung seines teuflischen Plans, die Großmächte in einem Krieg aufeinanderzuhetzen – wäre da nicht noch Geheimagent 007.

Sein Name ist Zimper. Dr. Dirk Zimper. Ob er seinen Martini lieber geschüttelt als gerührt trinkt, ist vermutlich eine der wenigen Fragen, die man ihm nicht gestellt hat in den vergangenen Monaten. Denn tatsächlich ist der promovierte Ingenieurwissenschaftler derzeit ein gefragter Mann: Er leitet das neugeschaffene Responsive Space Cluster Competence Center (kurz RSC³) des DLR im niedersächsischen Trauen. Im Gegensatz zu James Bond gehen Zimper und sein Team nicht zum Angriff über. Ihre Aufgabe ist es, verschwundene – oder ausgefallene – Satelliten zu ersetzen.

Im RSC³ werden schnelle Antworten entwickelt für den Fall, dass im Weltall Kommunikationsstrukturen ausfallen. Dafür braucht es kein Szenario eines Agentenkrimis, wenn auch die jüngsten Experimente verschiedener Raumfahrtationen durchaus filmreif klingen.

China und Indien haben bereits eigene Satelliten im All abgeschossen und damit nicht nur eine Menge Weltraumschrott produziert, sondern auch die Frage nach dem „Warum?“ im Rest der Welt hervorgerufen. Der russische Satellit Kosmos 2543 hat nach Berichten des US-amerikanischen Technikportals „The Verge“ erst im April 2020 ein unbekanntes Objekt in der Nachbarschaft eines anderen russischen Satelliten ausgesetzt. Inspektionssatelliten wie Kosmos 2543, die sich anderen Satelliten nähern, um diese zu begutachten, sind zwar nicht ungewöhnlich. Dass nach einer solchen Annäherung aber plötzlich ein weiteres Objekt im All unterwegs ist, hat durchaus aufhorchen lassen. Die USA vermuten, dass der von Kosmos 2543 ausgesetzte Gegenstand, der sich seltsamerweise sehr viel schneller bewegen kann als sein Muttersatellit, ein Projektil zur Vernichtung anderer Satelliten ist.



DER AEROSPACEPARK TRAUEN

Trauen befindet sich gut 80 Kilometer südlich von Hamburg und beherbergt mit 800.000 Quadratmetern den flächenmäßig größten DLR-Standort in Deutschland. Der neu gegründete „AeroSpacePark Trauen“ soll nicht nur Heimat der bislang europaweit einzigartigen Responsive-Space-Einrichtung werden. In einem eigenen Bereich wird man hier außerdem künftig zu dem Thema elektrische Antriebe forschen. Denn auch in der Raumfahrt steigt die Nachfrage danach rapide. Waren vor 35 Jahren nur zehn Satelliten mit einer elektrischen Antriebskomponente im All, sind es heute schon mehr als 200. Noch gibt es kaum Vakuum-Testanlagen für derartige Triebwerke. Das Labor für elektrische Raumfahrtantriebe in Trauen soll diese Lücke schließen und mittelfristig die europaweit größte Testanlage im Bereich Electric Propulsion aufbauen. Auch die Luftfahrtforschung soll in dieses Cluster eingebunden werden. Zudem ist geplant, in Trauen einen „Technologie-Campus“ zu errichten. Hier sollen raumfahrt-fokussierte Firmen und Start-ups angesiedelt werden, eventuell auch im Mix mit Ingenieurdienstleistern und Firmen beispielsweise aus der Batterieentwicklung. Als mögliche weitere unterstützende Themen denken die Verantwortlichen an Datenanalyse, Machine Learning, Künstliche Intelligenz und Cybersicherheit – alles Felder, in denen die Bereiche Luft- und Raumfahrt eng zusammenarbeiten können. Bis zu 60 Mitarbeitende sollen in den kommenden Jahren am DLR-Standort in Trauen arbeiten und forschen.

Responsive Space aber ist eine systemische Aufgabe, das heißt, wir müssen alle Einzeldisziplinen – in denen wir stark sind – zusammenbringen und diese Kompetenzen bündeln.“

Der Bereich Sicherheitsforschung, dem Dirk Zimmer im DLR vorsteht, ist eine Querschnittsaufgabe im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt – mit interdisziplinären Projekten aus mehr als zwei Dutzend DLR-Instituten. Und so sind auch für die neue Aufgabe viele Kooperationen denkbar: Bei den Tests von Triebwerken und Tanks mit dem DLR-Institut für Raumfahrtsysteme in Bremen zum Beispiel – dieses könnte auch Satellitenhardware wie Busse, also einheitliche Plattformen, liefern.

Beim Thema Satellitennutzlasten mit dem DLR-Institut für Optische Sensorsysteme oder dem Institut für Kommunikation und Navigation. Im Bereich der Steuerung und Datenverarbeitung von Satelliten mit dem German Space Operations Center des DLR – die Liste ließe sich fortsetzen.

Das All als Operationsraum

Auf der Nutzerseite wird es im Bereich Responsive Space eine enge Zusammenarbeit mit der Bundeswehr geben. Denn deren Interesse ist ganz klar. In der 2018 veröffentlichten Gesamtkonzeption des Verteidigungsministeriums heißt es: „Die Sicherheit und Funktionsfähigkeit einer modernen Informationsgesellschaft hängen vom ungehinderten Zugang zu weltraumgestützten Informations- und Kommunikationswegen ab.“

Gleiches gilt für die Einsatzfähigkeit und Einsatzbereitschaft der Bundeswehr, die zur Erfüllung ihres Auftrags auf weltraumgestützte Anwendungen und Satellitensysteme angewiesen ist. Der Weltraum ist als Operationsraum zu betrachten.“ Bei der Gründungsveranstaltung des RSC³ wurde der Stellvertretende Inspekteur der Luftwaffe, Generalleutnant Ansgar Rieks, noch deutlicher: „Landes- und Bündnisverteidigung“, sagte er in Trauen, „lebt davon, dass wir unsere Fähigkeiten garantieren können. Die Garantie ist unter anderem abhängig von Responsive Space.“ Und, das wurde zwischen den Zeilen deutlich: Sieben Tage Reaktionszeit wären ein schönes Ziel – aber 24 Stunden wären noch besser. Die Messlatte liegt hoch.

Wer nicht alles kann, kann nichts

Responsive Space heißt aber auch: Wenn man nicht alles kann, kann man eigentlich nichts. Denn für eine Responsive-Space-Fähigkeit ist die gesamte Systemarchitektur der Raumfahrttechnik notwendig:

- Das Startsegment, also Trägersysteme wie auch ihre Antriebe, Oberstufen, die die Satelliten schnell und präzise platzieren, sowie Konzepte für Start- und Flugkontrolle
- Das Bodensegment, also Konzepte für Bahnberechnungen und Bodenstationen, die Entwicklung von Konzepten für eine möglichst schnelle Einsatzbereitschaft der Nutzlast sowie Konzepte für den Betrieb der Plattformen ebenso wie für Einsatzsimulationen

- Das Weltraumsegment, hier vor allem die Frage, wie man Kleinsatelliten bedarfsgerecht und automatisiert bauen und in einer Plug-and-Play-Architektur auf standardisierten Plattformen schnellstmöglich integrieren kann
- Das Missionssegment, also Entwicklung von Missionskonzepten und Einsatzszenarien wie auch die Integration aller Segmente in die Gesamtarchitektur

In all diesen Bereichen hat das DLR ausgewiesene Kompetenzen. Aber, so erklärt Dirk Zimmer: „Die Prozesse sind heute häufig noch zu langsam, sie sind meistens auch nicht auf eine Responsive-Fähigkeit, also auf Schnelligkeit ausgerichtet – und das ist schon ein Umdenken, das wir jetzt für diese Aufgabe brauchen.“

Für Prof. Hansjörg Dittus, Vorstandsmitglied für den Bereich Raumfahrt im DLR, heißt Responsive Space: „Die Raketen und auch die Satelliten müssen da sein, die können wir nicht erst bauen. Dies ist der Sinn und Zweck des neuen Competence Centers – wir wollen hier eine ganz neue Art von Entwicklung betreiben. Das heißt auch, dass wir uns intensiv mit der Industrie austauschen sollten, wie wir das Zentrum als Gemeinschaftsplattform aufbauen. Denn: Wenn der Ernstfall eintritt, können wir nicht mehr lange testen, das muss dann bereits geschehen sein. Ebenso ist es unabdingbar, dass die Technologie vorher entworfen und vor allem gebaut ist. Aber genau das muss man erreichen, wenn man ‚responsive‘ sein will.“

Responsive heißt: sofort gemeinsam reagieren

So soll im Competence Center eine Win-win-win-Situation entstehen: Forschung, Industrie und Nutzer in einem sich gegenseitig befruchtenden System. Wie in einem funktionierenden Fußballteam die Mannschaft als Ganzes besser ist als die Summe der einzelnen Fähigkeiten, so wirken auch bei Responsive Space in einem Systemverbund, einem „System of Systems“, alle Komponenten zusammen – auch unterhalb der berühmten Kármán-Linie von 100 Kilometern, wo nach der Definition des ungarischen Physikers Theodore von Kármán der Weltraum beginnt.

Eine wichtige Rolle spielen in diesem Systemverbund auch die sogenannten hochfliegenden Plattformen. Das sind unbemannte Flugzeuge, die in der Stratosphäre, also in rund 20 Kilometer Höhe, autonom operieren sollen und wichtige Knotenpunkte in Kommunikationsnetzwerken zwischen



Innerhalb von 24 Stunden sollen ausgefallene Satelliten ersetzt werden können – das ist die ehrgeizige Vision von Responsive Space

Boden und Satelliten sein könnten. Das DLR-Querschnittsthema Sicherheit bringt dabei als Bindeglied die beiden Forschungsbereiche Luft- und Raumfahrt unter der gemeinsamen Aufgabe Responsive Space eng zusammen. Nicht umsonst heißt das neue Gelände „AeroSpacePark Trauen“ – mit Betonung auf beiden Komponenten.

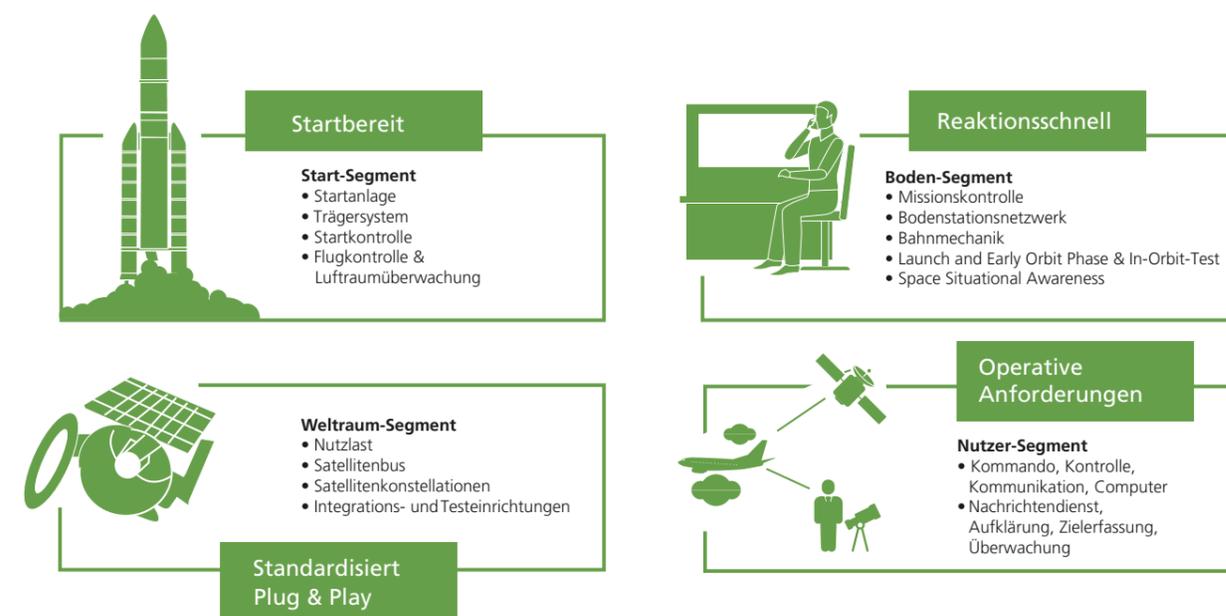
Ideale Bedingungen

Der DLR-Standort Trauen bietet günstige Voraussetzungen für den Aufbau des RSC³. Tests von Motoren und Triebwerken stören in dem weitläufigen Gelände niemanden, schon heute werden Prüfstände am Standort betrieben. Integrationsanlagen für Träger- und Kleinsatellitensysteme werden hinzukommen. In der Endausbaustufe sollen hier bis zu 60 DLR-Mitarbeitende tätig sein. Das Ziel: Im Jahr 2029 soll ein in Deutschland gebauter Kleinsatellit an Bord einer in Deutschland gebauten Rakete unter Responsive-Space-Bedingungen starten und im All in Betrieb genommen werden.

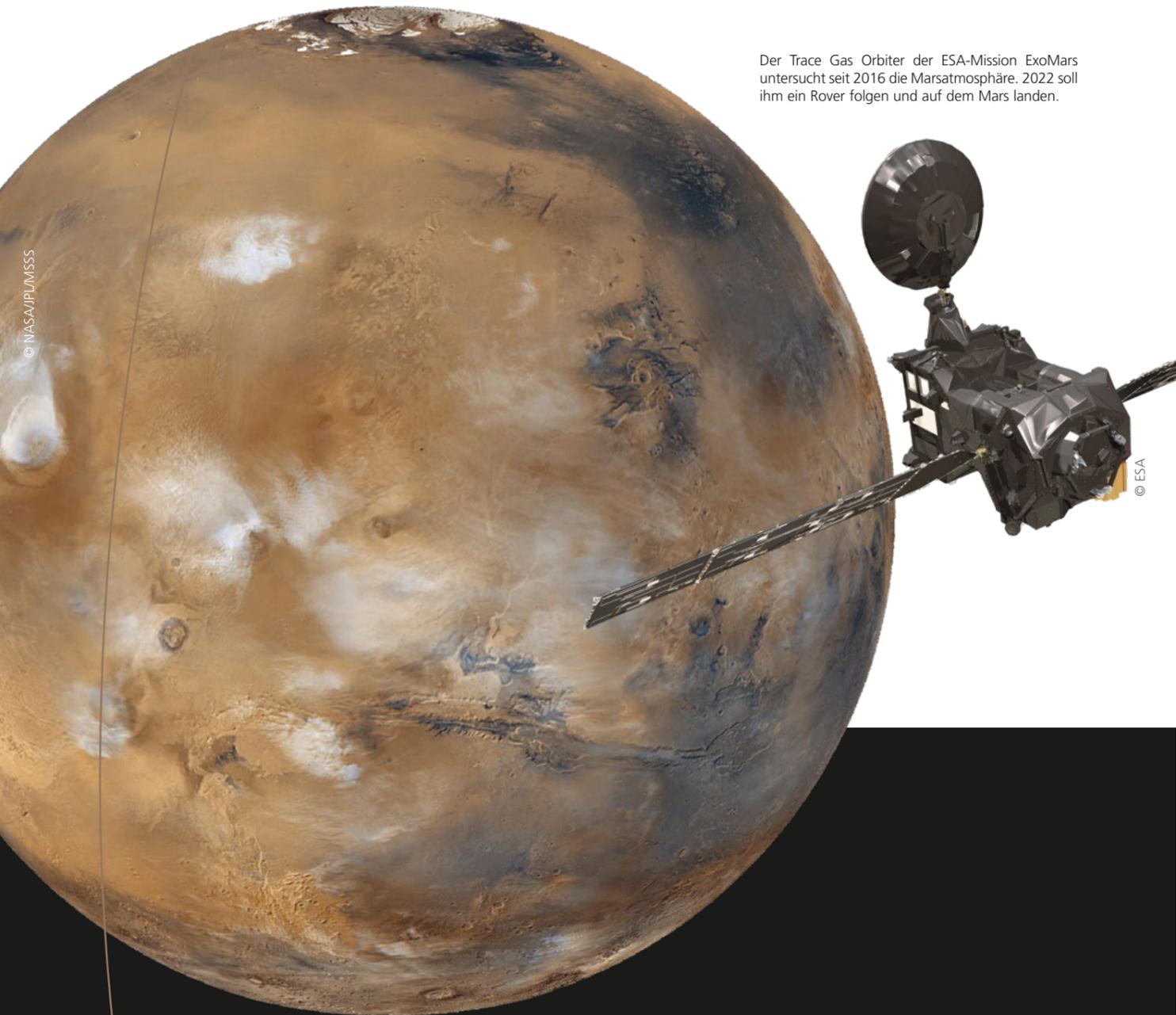
Dirk Zimmer hat einen dreijährigen Sohn – Karl. Karl hat ganz sicher noch nie einen James-Bond-Film gesehen. Sein Lieblingsheld ist eine Heldin: Pippi Langstrumpf. Denn Pippi hat etwas gesagt, was Karl besonders gefällt, auch ein Motto von 007 sein könnte, und was Vater Dirk sich auch für das Responsive Space Cluster Competence Center vorgenommen hat: „Das habe ich noch nie vorher versucht, also bin ich völlig sicher, dass ich es schaffe.“ Schöner kann man den Responsive-Space-Ansatz im neuen RSC³ wohl nicht beschreiben.

Uli Bobinger arbeitet seit vielen Jahren als Luft- und Raumfahrtjournalist für verschiedene deutsche Fernsehsender. In der Branche ist er auch bekannt als Moderator von Fachkongressen.

DIE SEGMENTE DES RESPONSIVE-SPACE-KONZEPTS

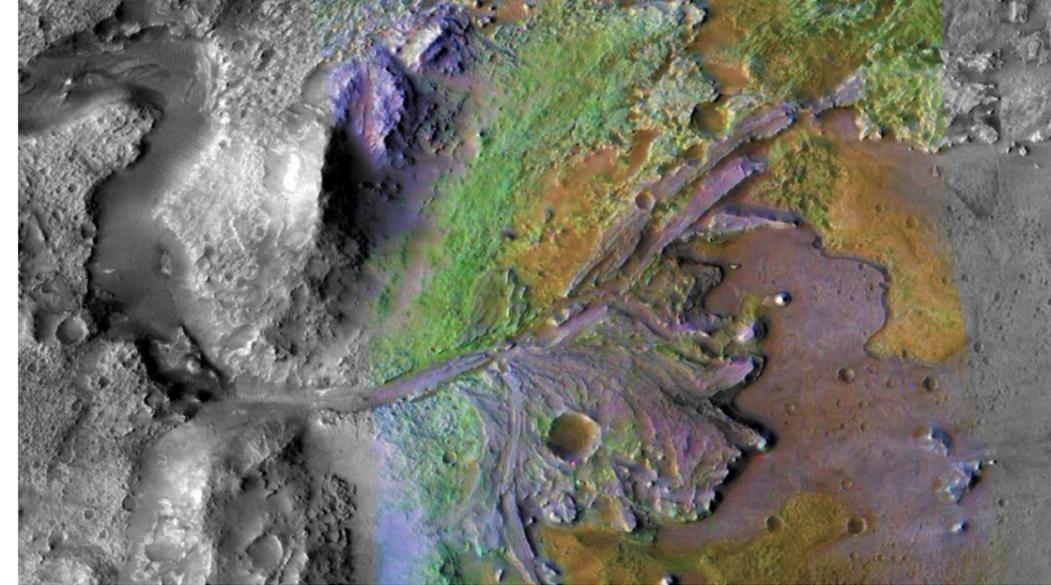


© NASA/JPL/MSSS



Der Trace Gas Orbiter der ESA-Mission ExoMars untersucht seit 2016 die Marsatmosphäre. 2022 soll ihm ein Rover folgen und auf dem Mars landen.

Nordwesten des Kraters Jezero – Landeplatz für die Mission Mars 2020. Die Bilddaten wurden mit dem Mars Reconnaissance-Orbiter der NASA aufgenommen. Grüne Farbtöne deuten auf Magnesiumkarbonat hin, blaue Töne auf Tonminerale mit hohem Eisen- und Magnesiumanteil und braunrote Töne auf das Eisen-Magnesium-Mineral Olivin (Falschfarbendarstellung).



© NASA/JPL-Caltech/MSSS/JHU-APL

Einst war der Mars der Erde deutlich ähnlicher. Vor rund 3,5 Milliarden Jahren floss Wasser durch seine Täler und eine dichtere Atmosphäre wärmte die Oberfläche. Die Frage, ob unter diesen Bedingungen dort ehemals mikrobielles Leben existiert haben könnte, treibt Forscherinnen und Forscher schon lange um. Zwei Missionen machen sich Anfang der 2020er Jahre auf den Weg, um auf unserem Nachbarplaneten nach Spuren des Lebens zu fahnden: Die NASA-Mission Mars 2020 ist mit dem Rover Perseverance bereits auf dem Weg zum Mars, die ESA-Mission ExoMars wird im Herbst 2022 starten. Nicole Schmitz und Ernst Hauber vom DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin arbeiten an beiden Missionen. Im Interview mit dem DLRmagazin sprechen sie über die Marsforschung in diesem Jahrzehnt. Erstmals sollen dabei in einem bisher beispiellosen interplanetaren Kunststück Gesteinsproben vom Mars zur Erde gelangen.

Die Erforschung des Mars ist eines der spannendsten Themen, das die Planetenforschung bereithält. Wie sind Sie dazu gekommen, sich so intensiv mit ihm zu befassen?

Schmitz: Wie so viele Kinder wollte ich schon im Alter von drei Jahren Astronautin werden. Der Sternenhimmel, das Abenteuer der Erkundung fremder, ferner Welten und die Starts der Spaceshuttles im Fernsehen haben mich fasziniert. Ich habe mich dann für ein Studium der Luft- und Raumfahrttechnik an der RWTH Aachen entschieden und kam so 2004 erstmals als Praktikantin ans DLR in Köln, wo ich bei der Analyse von Daten der NASA-Rover Spirit und Opportunity mitarbeiten durfte. In täglichem Austausch mit dem NASA-Team bekam ich immer mehr Einblick in die faszinierende Welt unseres Nachbarplaneten mit seiner komplexen geologischen Geschichte, die uns bis heute mehr als genug Rätsel für unsere Forscherneugierde liefert.

Hauber: Bei mir war es mein Geologiestudium, verbunden mit einem starken Interesse für Fernerkundung. Dadurch kam ich Anfang der 1990er Jahre an das damals noch am DLR-Standort Oberpfaffenhofen beheimatete Institut für Optoelektronik. Schon in meinen ersten Arbeiten packte mich der Mars mit seiner vielfältigen Oberfläche, die von Wind, Wasser und Eis geformt wurde. Auch nach Jahrzehnten der Erkundungsarbeit lassen sich auf dem Mars immer noch Überraschungen entdecken – beispielsweise werden gerade mögliche subglaziale Seen in der Forschung diskutiert.

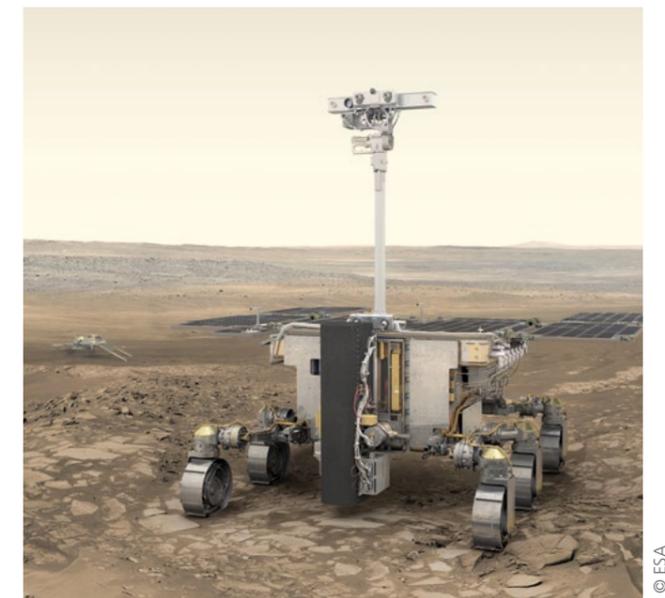
Am 18. Februar 2021 wird der NASA-Rover Perseverance im Krater Jezero landen. Was wird er dort tun?

Schmitz: Jezero liegt am inneren Rand von einem der größten und ältesten Einschlagsbecken auf dem Mars. Es ist ein faszinierender Ort, geformt durch eine Vielzahl verschiedener geologischer Prozesse. Am Rand von Jezero gab es vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren sogar ein Flussdelta, das in den Krater mündete. Erstmals in der Geschichte der Marsforschung hat Perseverance Behälter zum Einsammeln von Proben an Bord, die mit Bohrkernen aus einigen Zentimetern Tiefe gefüllt werden. Der Rover ist ungefähr so groß wie ein Kleinwagen und hat eine Masse von etwa einer Tonne. Er hat Platz für sieben wissenschaftliche Instrumente. Mit diesen wird er die Geologie der Landestelle analysieren und nach Anzeichen früheren Lebens in Gestein und Sedimenten suchen, um die vielversprechendsten Proben für die spätere Analyse auf der Erde zu finden.

Hauber: Dann wird es richtig spannend! Jahrzehntlang diskutierte man in der Forschung die Probenüberführung vom Mars zur Erde, bis diesem Vorhaben bei NASA und ESA nun höchste Priorität eingeräumt wird. Jetzt geht es voran und Perseverance ist erst der Auftakt!

Was ist anders am ExoMars-Rover der ESA, der 2022 starten wird?

Hauber: Der entscheidende Unterschied ist die Bohrtiefe. Der ESA-Rover Rosalind Franklin der ExoMars-Mission wird erstmals auf dem Mars bis zu zwei Meter tiefe Bohrungen vornehmen und das geborgene Material direkt mit verschiedenen Instrumenten analysieren, beispielsweise per Gaschromatografie und Massenspektrometrie. So tief unter der Oberfläche ist die Chance groß, dass kosmische Strahlung dort nicht hingelangte. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass wir früheres mikrobielles Leben nachweisen können.



Rover Rosalind Franklin der ESA-Mission ExoMars

© ESA

TRÄGER UND SAMMLER

Neue Marsmissionen und der faszinierende Plan, Proben des Roten Planeten zur Erde zu transportieren

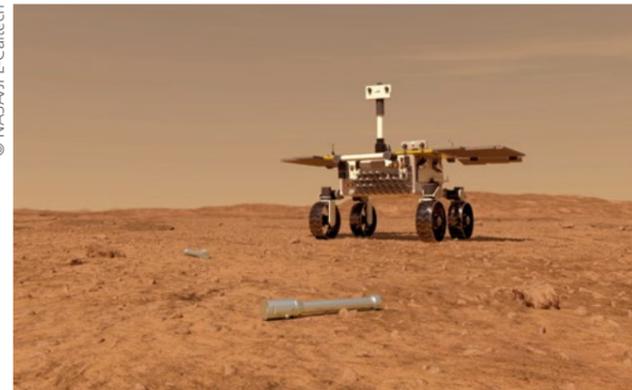
von Falk Dambowsky

Rosalind Franklin sendet außerdem keine Proben zur Erde wie Perseverance. Welche Vorteile hat die Analyse in Laboren gegenüber robotischen Untersuchungen auf dem Mars?

Schmitz: Die Analysetechniken auf Rovern sind in Größe und Komplexität begrenzt. Da ist es hilfreich, ein umfangreicheres Arsenal an Analysemethoden auf der Erde zur Verfügung zu haben. Manche Geräte aus diesen Laboren lassen sich noch nicht für einen Raumflug verkleinern. Zudem ist es ein großer Vorteil, heute Proben einzusammeln, die auch noch in Jahrzehnten auf der Erde mit weiterentwickelten Techniken untersucht werden können.



Der Rover Perseverance der Mars-2020-Mission nimmt mit seinem Arm Proben des Marsgesteins und legt diese versiegelt auf dem Boden ab



Der Fetch-Rover, der 2026 zum Mars starten könnte, sammelt die Proben ein und transportiert diese zum Mars Ascent Vehicle (MAV)



Das MAV befördert die Probenkapseln in einen Orbit um den Mars, wo sie von einer Raumsonde eingesammelt und zur Erde gebracht werden

Und nach welchen Lebensspuren wird genau gesucht?

Schmitz: Perseverance wird an der Landestelle nach sogenannten Biosignaturen suchen. Das sind Objekte, Substanzen oder Muster, die nur das Leben hinterlassen haben kann – Muster im Gestein oder Isotope von chemischen Elementen. Anders als frühere Marsrover verfügt Perseverance über die entsprechenden Werkzeuge, um diese „Fingerabdrücke des Lebens“ zu suchen, die Signaturen zu kartieren und ihre Entstehung wie auch ihren Ursprung zu verstehen. Um die Funde zu bestätigen, müssten wir mehrere unabhängige solcher Hinweise finden und, um ganz sicher gehen zu können, bringen wir Proben von möglichen Biosignaturen zur Erde, um sie in hochspezialisierten Laboren zu untersuchen.

Hauber: Selbst auf der Erde ist es alles andere als einfach, Biosignaturen in Milliarden Jahre alten Gesteinen zweifelsfrei zu identifizieren. Sie können morphologischer, physikalischer oder chemischer Art sein. Wie bei Perseverance werden auch bei ExoMars entsprechende Analysen durchgeführt, um sie zu erkennen. Weil bei ExoMars aber keine Proben zur Erde zurückgeschickt werden, kommt es hier besonders darauf an, eine überzeugende Kombination mehrerer Hinweise zu finden.

Auf welchem Weg erreichen die Mars-Proben eigentlich die Erde?

Schmitz: Zunächst wird Perseverance die Probenkapseln mit Gestein und Sedimenten an den Orten hinterlegen, wo er diese genommen hat. Deshalb ist eine zweite Missionskomponente geplant, die die Proben später einsammelt. Das wird der Sample-Fetch-Rover übernehmen, den voraussichtlich die ESA beisteuert. Der nächste Schritt ist eine Start-Vorrichtung, das Mars Ascent Vehicle (MAV), als weiterer Beitrag der NASA. Das MAV nimmt die eingesammelten Proben in einem kleinen Raumfahrzeug auf und befördert sie in einen Orbit um den Mars. Fetch-Rover und MAV könnten gemeinsam 2026 von der Erde starten.

Hauber: Dann muss der schwierigste Teil in einem Missionsszenario gelingen, das es in dieser Komplexität noch nicht gegeben hat: Eine weitere Raumsonde, die voraussichtlich von der ESA gestellt wird, könnte gegen Ende des Jahrzehnts den Marsorbit erreichen, um den Behälter mit den Proben in der Umlaufbahn einzusammeln und Anfang der 2030er Jahre zur Erde zu bringen. Da eine direkte Steuerung von der Erde aufgrund der großen Entfernung nicht funktioniert, ist für das gesamte Vorhaben ein hoher Automatisierungsgrad nötig. Bei all diesen Schritten haben der Schutz und die Unversehrtheit der Proben höchste Priorität.

Und wie bereitet sich die Forschung auf die Ankunft der Marsproben vor?

Hauber: Wenn die Landekapsel mit den Proben auf einem Militärgelände in Utah (USA) gelandet ist und von einem speziell ausgerüsteten Team geborgen wurde, wird sie für erste grundlegende Untersuchungen in ein spezielles Hochsicherheitslabor gebracht. Dessen Vorbereitung ist sehr aufwendig, da zahlreiche Sicherheitsstandards eine Rolle spielen und alle notwendigen Instrumente schon im Vorhinein mitgedacht werden müssen.

Schmitz: Besonders relevant ist die Frage, wie das Erstuntersuchungslabor und die Folgelabore mit der höchsten biologischen Sicherheitsstufe gestaltet werden können. Bisher sind unsere Sicherheitslabore darauf ausgelegt, dass nichts nach außen dringt. Bei Proben von anderen Planeten ist es andersherum, da muss die Untersuchungsumgebung so gebaut sein, dass diese nicht von außen kontaminiert werden und so ihre Ursprünglichkeit behalten.

Dieses Vorhaben ist logistisch, technisch und wissenschaftlich sehr komplex. An welchen Stellen sind Sie dabei involviert?

Hauber: Es gibt internationale Gruppen von Forscherinnen und Forschern, die diese Ideen entwickeln und vorschlagen. Seit Sommer 2020 arbeite ich in der von NASA und ESA initiierten Mars-Sample-



Magazin mit Probenkapseln für den Rover Perseverance

Return-Science-Planning-Group-2. Dort finden sich rund 20 Expertinnen und Experten aus den USA und Europa aus verschiedenen Fachbereichen regelmäßig zusammen. Gemeinsam arbeiten wir daran, einen Plan für die Untersuchung von zukünftigen Marsproben aufzustellen. Dabei diskutieren wir zum Beispiel, wie groß und mit welchen Instrumenten ein erstes Untersuchungslabor für die Proben ausgestaltet sein muss. Ein weiterer Punkt ist die Verteilung: Wie und wo werden die Marsproben aufbewahrt? Wie werden sie an Forscherinnen und Forscher weltweit verteilt und nach welchen Kriterien? Dann ist da außerdem die Frage, ob und wie Proben für nicht-biologische Untersuchungen sterilisiert werden.

Schmitz: Wir sind zudem an der ersten Mars-Sample-Return-Mission beteiligt: Ich bin Co-Investigatorin des Kamerainstruments Mastcam-Z auf dem Perseverance-Rover. Im internationalen Missionsteam planen wir bereits jetzt anhand von wissenschaftlichen Kriterien, welche Typen von Gesteins- und Bodenproben wir mit Perseverance einsammeln möchten. Während der Mission werden wir dann täglich mitentscheiden, an welchen Stellen der Rover Proben nehmen soll. In den vergangenen Jahren war ich bereits in internationalen Gremien tätig, die mit der wissenschaftlichen, technischen und programmatischen Vorbereitung des Mars-Sample-Return-Programms beauftragt waren.

Welche neuen Erkenntnisse vom Mars erhoffen Sie sich mit ExoMars und Mars 2020 bis Anfang des nächsten Jahrzehnts?

Schmitz: Wir würden gerne der Beantwortung einer der spannendsten Fragen in der Marsforschung näherkommen: Gab es früher einfaches Leben auf dem Mars? Dazu brauchen wir bessere Daten, um den Einfluss der geologischen, physikalischen und chemischen Entwicklungsprozesse auf die Habitabilität – also die Lebensfreundlichkeit des Planeten – im Laufe der Zeit besser nachvollziehen zu können. Hier hoffen wir sehr auf die Untersuchung der Proben vom Mars, die Perseverance sammelt, und auf die Analysen der ExoMars-Mission.

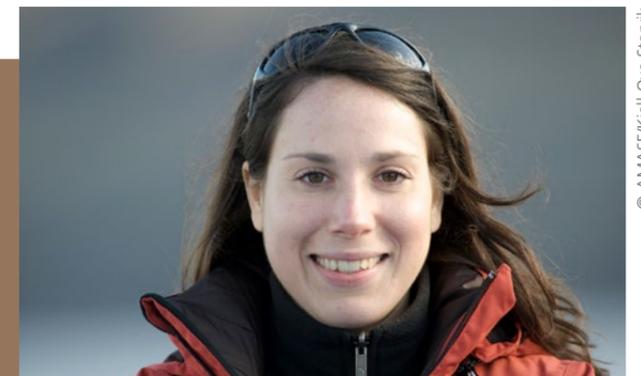
Hauber: Und wir hoffen auf bessere Daten, um die innere Entwicklung des Mars präziser im Computer zu modellieren und seine Entstehung und geologische Geschichte im Vergleich mit den anderen erdähnlichen Planeten unseres Sonnensystems besser zu verstehen.

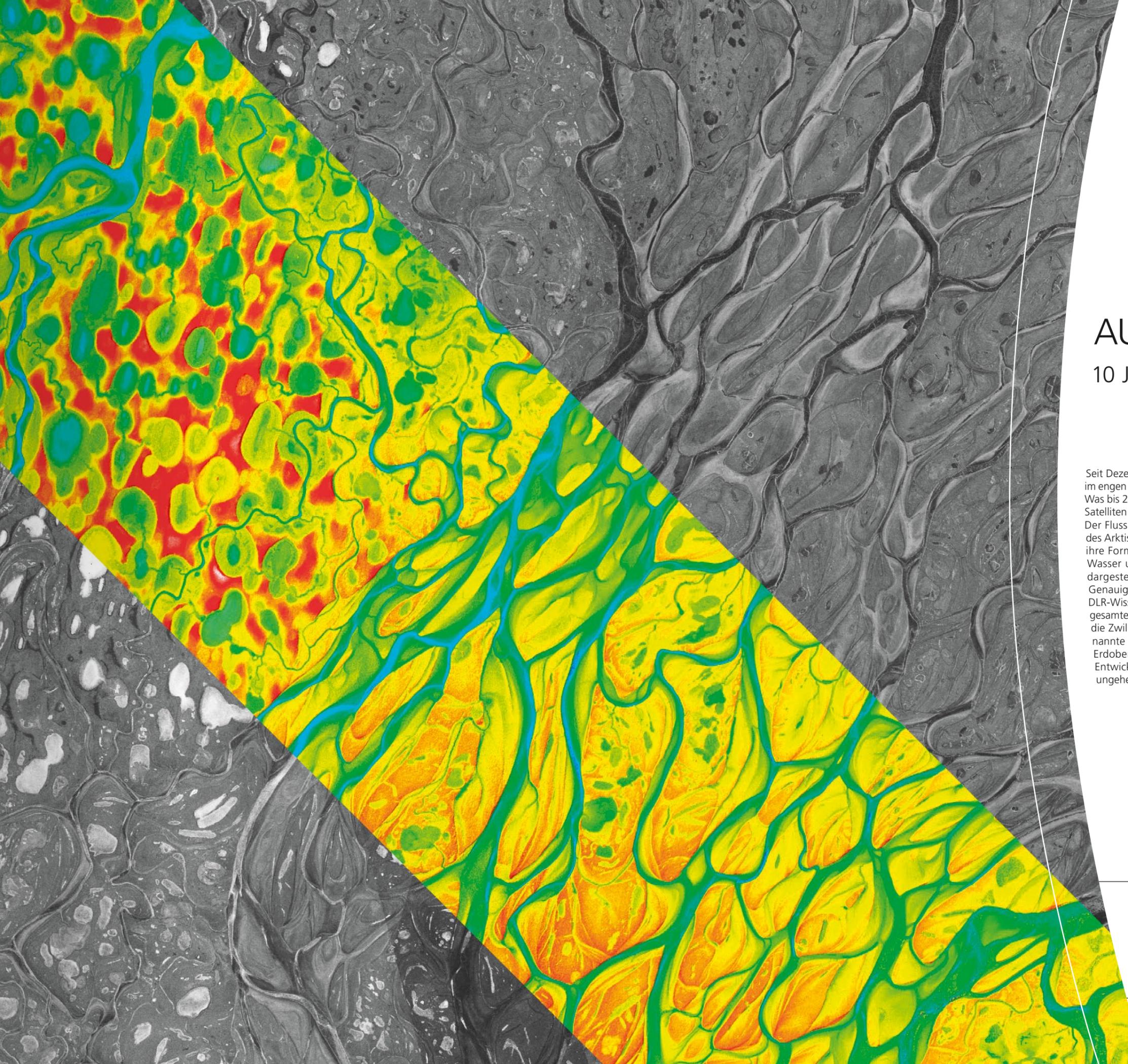
Das Interview führte Falk Dambowsky, Redakteur der DLR-Pressestelle.



Ernst Hauber ist Geologe und Teil des Teams, das die Landestelle für den ExoMars-Rover ausgewählt hat. Dafür wurden auch Daten der DLR-Kamera HRSC (High Resolution Stereo Camera) auf der ESA-Raumsonde Mars Express herangezogen. Für deren Aufnahmeplanung ist Hauber seit 2005 als Co-Investigator verantwortlich. Beim ExoMars-Rover arbeitet er als stellvertretender leitender Projektwissenschaftler des PanCam-Instruments an den Vorbereitungen für den Missionbetrieb mit. Hauber ist außerdem Mitglied der ESA-Arbeitsgruppe für Planetary Protection, die sich um den Schutz von Erde und Planeten vor wechselseitiger Kontamination durch Raumsonden kümmert und an der Koordination entsprechender internationaler Regelungen mitwirkt.

Nicole Schmitz ist wissenschaftliche Mitarbeiterin und Ingenieurin in der DLR-Planetengeologie. Bereits als Studentin arbeitete sie im DLR mit an der Auswertung von Daten der NASA-Rover Spirit und Opportunity. Als stellvertretende wissenschaftliche Projektleiterin (Co-PI) des PanCam-Instruments auf dem ExoMars-Rover der ESA und Co-Investigatorin im Mastcam-Z-Team des Perseverance-Rovers der NASA ist Schmitz an den technischen und wissenschaftlichen Arbeiten der nächsten beiden Mars-Rover-Missionen beteiligt. Darüber hinaus war Schmitz Mitglied in internationalen Teams von ESA und NASA zur wissenschaftlichen, technischen und programmatischen Vorbereitung des Mars-Sample-Return-Programms.



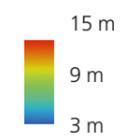


AUF ZU NEUEN HÖHEN

10 Jahre TanDEM-X

Seit Dezember 2010 bilden die Zwillingssatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, die im engen Formationsflug um die Erde kreisen, ein einzigartiges Radarinterferometer. Was bis 2010 nur in 2D erfassbar war (Bildteil in Schwarz-Weiß), gewann mit dem Satelliten TanDEM-X eine Dimension dazu. Zu sehen ist das Lenadelta in Russland. Der Fluss mündet hier nach 4.294 Kilometern in die Laptewsee, ein Randmeer des Arktischen Ozeans. Die etwa 1.500 kleinen Inseln im Delta ändern permanent ihre Form, weil das mitgeführte Material sich als Sediment ablagert und das Wasser umlenkt. In einem Atlas wäre das gesamte Gebiet nur in einer Höhe dargestellt. TanDEM-X sieht die Unterschiede viel differenzierter – mit einer Genauigkeit, die zwei Meter Auflösung noch übertrifft. Bereits 2016 erstellten DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler ein exaktes 3D-Höhenmodell der gesamten Erdoberfläche aus den Daten der Mission TanDEM-X. Seitdem sammeln die Zwillingssatelliten Daten für ein zweites globales Höhenmodell. Das sogenannte Change DEM (Digital Elevation Model) dokumentiert Veränderungen der Erdoberfläche in drei Dimensionen. Erste Auswertungen zeigen dramatische Entwicklungen wie das Abschmelzen von Gletschern und Eisschilden oder die ungehemmte Abholzung tropischer Wälder.

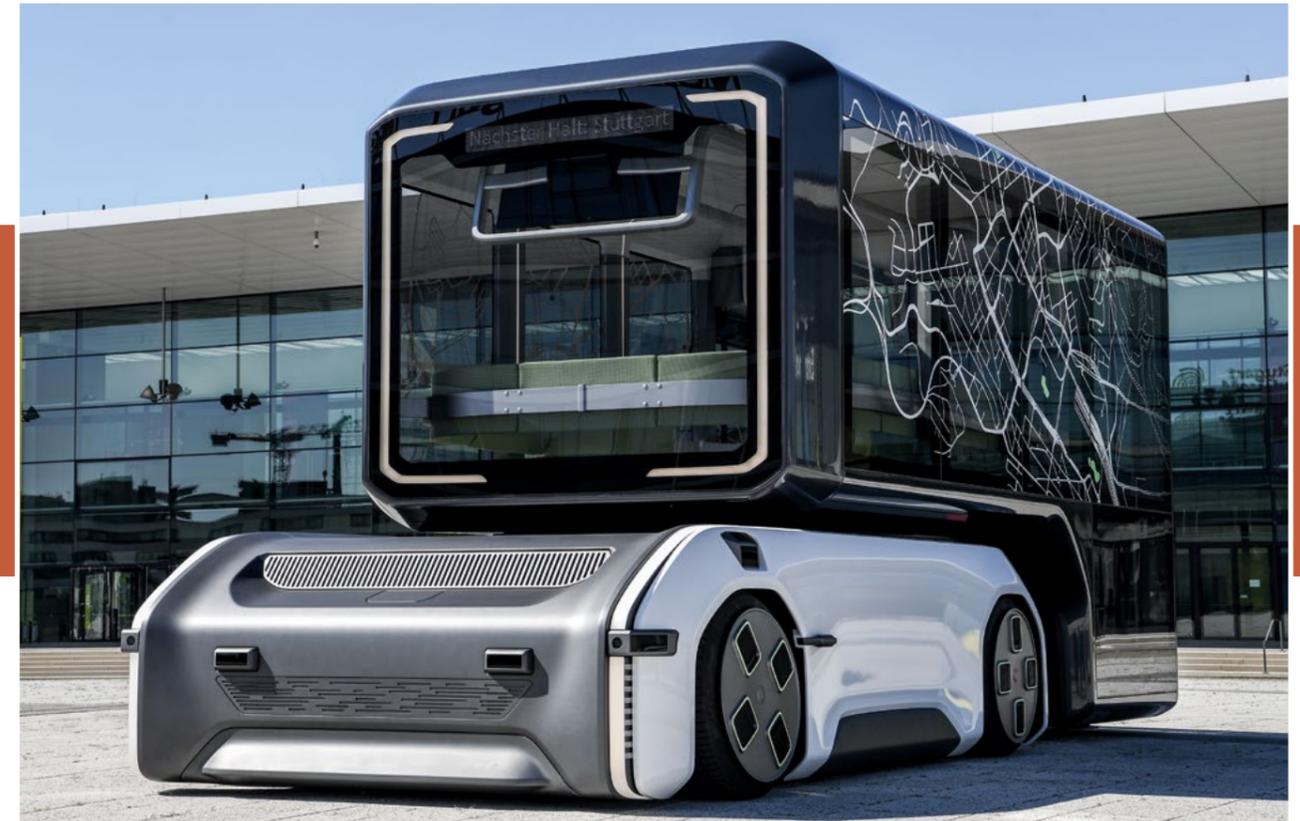
Höhe über N. N.



NÄCHSTER HALT: ZUKUNFT

U-Shift macht urbane Mobilität wie auch Logistik effizienter und das Safe Light Regional Vehicle ist leicht, sicher und emissionsarm unterwegs

von Denise Nüssle



Eine futuristische U-förmige Fahreinheit, auf der vielfältige Kapseln zum Personen- oder Gütertransport aufgeladen werden können, und ein leichtes Kleinfahrzeug, das mit einer Brennstoffzelle angetrieben wird und bis zu 120 Kilometer pro Stunde fahren kann – das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte entwickelt neue Gefährte für den innerstädtischen und regionalen Verkehr von morgen. Zwei durften schon ihre ersten Runden drehen.

MODULAR MOBIL UND FIT FÜR DIE ZUKUNFT

Mit seinem futuristischen Design in glänzendem Weiß, Schwarz und mattem Grau ist der Prototyp des neuartigen Fahrzeugkonzepts U-Shift ein wahrer Hingucker. Wo immer er einen Auftritt hat, drehen sich alle Köpfe fast magisch in Richtung des Gefährts mit den Dimensionen eines größeren Transporters. Zu sehen gibt es einen gänzlich neuen Ansatz, Mobilität zu denken, vor allem was den Personen- und Güterverkehr im städtischen Bereich betrifft. Sein Fahrzeugkonzept und seine Technologie unterscheiden sich grundlegend vom bisher Gewohnten. Gleiches gilt für die mit dem Fahrzeugkonzept verbundenen neuen Geschäftsfelder und Dienstleistungen.

„Was U-Shift so besonders macht, ist, dass wir die Antriebseinheit von den kapselförmigen Aufbauten für den Transport von Personen oder Waren trennen“, beschreibt der technische Projektleiter Marco Münster vom Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart das zentrale Merkmal des Konzepts. Die U-förmige Fahreinheit – das „Driveboard“ – beinhaltet alle technischen Komponenten und Systeme, um automatisiert, elektrisch und damit umweltfreundlich und leise unterwegs zu sein. Die Kapseln lassen sich für die unterschiedlichsten Aufgaben auslegen. „Diese Modularisierung

„on the road“, also während des Betriebs, ermöglicht zahlreiche neue Geschäftsmodelle. Manche davon können wir uns heute vielleicht noch gar nicht vorstellen“, fasst DLR-Forscher Münster zusammen. Da die Kapseln einheitliche Abmessungen und Anschlüsse haben, lassen sie sich einfach auf andere Verkehrsträger umladen – neben der Schiene könnten das in Zukunft Lufttaxis oder Seilbahnen sein.

U-Shift kann den öffentlichen Personennahverkehr unterstützen und dessen Attraktivität steigern: als flexibler Rufbus in Stadtgebieten, die noch nicht flächendeckend erschlossen sind, für den bedarfsgerechten Tür-zu-Tür-Transport in Innenstädten oder als Ergänzung des ÖPNV-Angebots in Zeiten hoher Auslastung. Die Kapseln könnten auch als mobile Büros, Veranstaltungsorte oder als Alternative zum Wohnmobil genutzt werden. Im Wirtschaftsverkehr bietet sich der Einsatz bei Paket- und Lieferdiensten an, die in die Nachtzeiten verlegt werden, zum Beispiel als mobile Paketstation oder als Transporteinheiten für die Versorgung von Läden. So lässt sich die Verkehrsbelastung gleichmäßiger verteilen, Staus und Verkehrskollaps sind vermeidbar. Zu den weiteren Ideen der DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler gehören rollende Ladengeschäfte, Werkstattkapseln für Handwerkerinnen und Handwerker oder flexible Bürgerbüros. Für die Abfallentsorgung ließe sich U-Shift als Müll-, Reinigungsfahrzeug oder fahrende Recycling-Sammelstelle konfigurieren.

Disruptives Konzept für eine Mobilität im Umbruch

Die Mobilitätswelt steht vor einem fundamentalen Wandel, bei dem sich Technologietrends und gesellschaftliche Entwicklungen gegenseitig verstärken. Die Technik für automatisiertes und vernetztes Fahren macht weitere Fortschritte, genauso wie die benötigten gesetzlichen Regulierungen. Mitte des Jahrhunderts werden zwei Drittel der Weltbevölkerung in Städten leben. Die Herausforderungen und Ansprüche an eine zukunftsweisende Mobilität sind hier besonders groß. Aufgrund

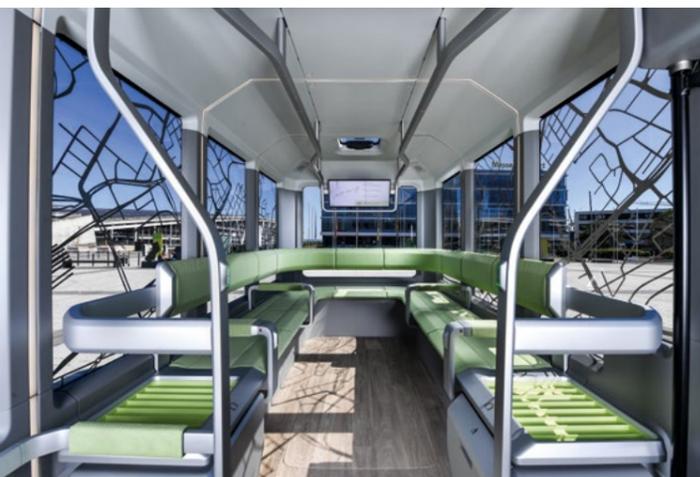


DLR-Partner im Projekt U-Shift

Zu den Partnern des DLR-Instituts für Fahrzeugkonzepte im Projekt U-Shift zählen das Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS), das den Antriebsstrang entwickelt, das Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST) und das Institut für Technik der Informationsverarbeitung (ITIV) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), die das Fahrwerk beziehungsweise die Elektrik/Elektronik-Architektur beisteuern. Für die Automation zeichnet das Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik (MRM) der Universität Ulm verantwortlich.

von Umwelt- und Lärmbelastung sowie Platznot versuchen Städte bereits heute, den motorisierten Individualverkehr immer weiter einzuschränken. Gleichzeitig entstehen neue Möglichkeiten, Mobilität als Dienstleistung anzubieten und zu nutzen. „Genau hier setzt unser U-Shift-Konzept an. Mit ihm können wir immer wieder neue Fahrzeugvarianten zusammensetzen, neue Geschäftsmodelle eröffnen und einen wesentlichen Beitrag zum Wandel in der Automobilwirtschaft und Logistik leisten“, erklärt Prof. Tjark Siefkes, Direktor des Instituts für Fahrzeugkonzepte.

„Der individuelle Pkw steht rund 95 Prozent der Zeit, ist also eigentlich ein ‚Stehzeug‘. Bei U-Shift ist das Driveboard möglichst rund um die Uhr in Betrieb und bekommt von seiner Leitzentrale immer wieder neue Transportaufgaben zugewiesen“, verdeutlicht Tjark Siefkes den Unterschied. Die DLR-Forschenden haben in Betriebsszenarien berechnet, dass fünf- bis zehnmals mehr Kapseln als Driveboards benötigt werden. Deshalb ist es auch aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll, alle kostenintensiven Hightech-Komponenten in das Driveboard zu integrieren. Das sind neben dem Hubsystem und den Komponenten fürs automatisierte Fahren Radnabenmotoren, Batteriemodule und die Steuerungselektronik.



Zusätzlich zum Driveboard hat das U-Shift-Team zwei Kapseln gebaut: Die Personenkapsel ist mit sieben ergonomischen Sitzplätzen, einem Rollstuhlbeziehungsweise Kinderwagenplatz und einem Klappsitz ausgestattet. Für einen barrierefreien Einstieg sorgt eine große Tür mit integrierter Rampe. Die Cargoversion bietet Platz für mehrere Paletten oder Rollwagen.

Ein Prototyp zum Testen, Diskutieren und Optimieren

Prototypen wie U-Shift sind bei der Entwicklung neuartiger Fahrzeugkonzepte extrem wichtig: Sie können angefasst und ausprobiert werden. „Gleichzeitig sind Prototypen auch immer ein Abenteuer“, erklärt der technische Projektleiter Marco Münster. „Auf dem Weg vom Computermodell zum ersten realen Fahrzeug ist ein hoher Testaufwand nötig, man muss entscheiden, wie viel Zukunft man letztendlich wagen will.“

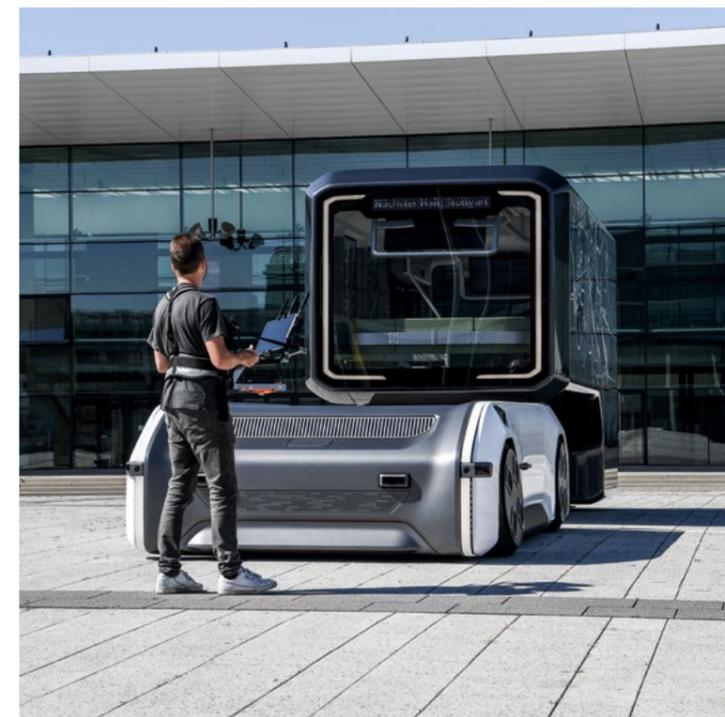
Noch fährt die Antriebseinheit des Prototyps ferngesteuert. Im nächsten Schritt soll sie automatisiert unterwegs sein. „Sicherheit hat bei U-Shift höchste Priorität. Hierfür sorgt ein Verbund aus Sensoren wie Laserscanner, Videokameras und Radar. Leistungsfähige Rechenzentren und Leitstellen sichern den Betrieb zusätzlich ab“, ergänzt Münster. Der Kapselwechsel soll ebenfalls voll automatisiert erfolgen, was hohe Ansprüche an die Genauigkeit der Sensoren und die Regelung des Antriebs stellt. Mit dem Prototyp wollen die Forschenden erste Erfahrungen mit dem System sammeln, das die Kapseln aufnimmt, rangiert und wieder absetzt. So nähern sie sich Stück für Stück dem Ziel einer kompletten Automatisierung. In einem nächsten großen Schritt soll ein zweites Driveboard aufgebaut werden, bei dem die Leistung des Antriebsstrangs gesteigert, Hardware und Sensoren für das automatisierte und vernetzte Fahren eingebaut, ein neues Batteriesystem getestet sowie Fahrwerk und Hubvorrichtung weiterentwickelt werden.

Technologie trifft auf Mensch

Um erfolgreich zu sein, benötigt ein so futuristisches Fahrzeugkonzept jede Menge Hightech und schlaue Köpfe. Genauso wichtig ist, dass es die Menschen für sich gewinnen kann. Sie sollen U-Shift nutzen wollen, weil es sie begeistert, ihre Mobilitätsanforderungen schnell und effizient erfüllt und sie sich sicher und gut aufgehoben fühlen. Mit Hilfe des Prototyps wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erfassen, welche Bedürfnisse und Wünsche die Menschen bewegen. Dazu haben sie beispielsweise eine Umfrage ins Leben gerufen, die Meinungen und Ideen zu U-Shift und seinen vielfältigen Einsatzmöglichkeiten sammelt. Auch Workshops mit interessierten Bürgerinnen und Bürgern sind geplant, um gemeinsam Ideen zu entwerfen, wie sich U-Shift weiterentwickeln lässt. Im Fokus steht, die Schnittstellen zwischen Menschen und Fahrzeug zu erproben und optimal zu gestalten. Dazu zählen zum Beispiel der Mechanismus zum Öffnen der Türen und Regelungen dazu, wie und über welches Medium die Nutzenden alle notwendigen Auskünfte für ihre Reise bekommen und wer die Kapsel wann betreten darf.

Neue Produkte und Geschäftsmodelle für den Automobilstandort Deutschland

Für das Jahr 2024 plant das U-Shift-Team einen zweiten Prototyp: hochautomatisiert und mit einer Höchstgeschwindigkeit von rund 60 Kilometern pro Stunde. Mit ihm sollen neue Mobilitätsangebote noch stärker in den Fokus rücken. „U-Shift ermöglicht erstmals integrierte und gesamtheitliche Mobilitätslösungen. Denn wir verbinden, was bisher getrennt war: den Personen- und Logistikverkehr. Unternehmen können also gleichzeitig ÖPNV-Anbieter und Spediteur sein“, erläutert Tjark Siefkes. Die bisherigen Rückmeldungen aus den einschlägigen Communities – vom Automotive- und Zulieferer- bis hin zum Logistikbereich waren durchweg positiv und bestärken das Projektteam in seiner Arbeit. Diese neuen Geschäftsmodelle sollen bei Workshops mit Branchenverbänden und mittels Pilotversuchen weiter auf ihre technologischen wie wirtschaftlichen Potenziale hin analysiert werden. Ob als Hersteller von Driveboards und Kapseln, als Anbieter von Driveboard-Flotten, als Mobilitätsdienstleister mit privaten oder gemeinsam genutzten Driveboards, als Betreiber zentraler Leitstellen oder als Wartungsservice – es gilt, die Möglichkeiten gemeinsam zu entdecken. „Wir haben die Chance, den Standort Deutschland als Leitmarkt für neue Produkte und Services zu etablieren, für Unternehmen und Zulieferer aus dem Automotive-Bereich und weit darüber hinaus“, blickt Siefkes in die Zukunft.



Noch fährt U-Shift per Fernsteuerung, aber für das Jahr 2024 plant das DLR-Projektteam einen hochautomatisierten Prototyp



Die U-Form des Driveboards erlaubt es, die Kapseln relativ einfach zu wechseln. Das integrierte Hubsystem spielt dabei eine zentrale Rolle: Es ermöglicht den schnellen und ebenerdigen Zugang zur Kapsel für Personen und zum Beladen.

PREMIERE EINES FLOTTEN FLITZERS

Anfang Oktober 2020 drehte ein besonderes Fahrzeug seine ersten Runden auf dem Verkehrsübungsplatz in Kirchheim unter Teck, 25 Kilometer südöstlich von Stuttgart. Wo sonst Fahranfänger mit feuchten Händen hinter dem Lenkrad sitzen, flitzte der Prototyp des Safe Light Regional Vehicles (SLRV) im herbstlichen Sonnenschein über die hügelige Strecke. Das Kleinfahrzeug ist leicht, agil und gleichzeitig besonders sicher. Eine solche Kombination bieten vorhandene Modelle in dieser Fahrzeugklasse oft nur eingeschränkt. Verantwortlich ist dafür die nur rund 90 Kilogramm leichte Karosserie in Sandwichbauweise. Diesen neuartigen Leichtbauansatz kombiniert das DLR mit einem effizienten Brennstoffzellenantrieb und zeigt so, dass ressourcenschonende und sichere Mobilität auch im Segment der Leichtfahrzeuge möglich ist. Solche kleinen Fahrzeuge könnten in Zukunft den innerstädtischen und regionalen Pendelverkehr prägen.

Am Steuer des SLRV-Prototyps: DLR-Mitarbeiter Sebastian Scheibe. Er gehört zum SLRV-Team um Projektleiter Michael Kriescher. Beide haben das Projekt am DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte in Stuttgart über mehrere Jahre begleitet, ihr Know-how und Herzblut einfließen lassen: von den ersten Materialproben, über den Aufbau und Test von Komponenten, mehrere Crashversuche in der institutseigenen Anlage bis hin zum Bau des Prototyps. Für viele im Team ging damit ein Traum in Erfüllung: Neben Rechnen und Simulieren am Computer konnten sie in der Werkstatt mit anpacken und das Fahrzeug Stück für Stück wachsen sehen.

Sandwichbauweise hat viele Vorteile

Ihr „Baby“ besteht zu großen Teilen aus einer Sandwichstruktur, mit einer Decklage aus Metall und einem Kunststoffschaum im Inneren. „Vorder- und Hinterwagen sind aus solchen Strukturen zusammengesetzt, die miteinander verklebt werden. Beide Teile dienen als Crashzone, außerdem ist in ihnen ein Großteil der Fahrzeugtechnik untergebracht. Eine Wanne mit aufgesetzter Ringstruktur bildet die Fahrgastzelle. Sie nimmt die Kräfte auf, die während der Fahrt auf das Auto wirken, und schützt die Insassen bei einem Unfall“, beschreibt DLR-Ingenieur Kriescher den Aufbau. Das Gesamtgewicht des Zweisitzers beträgt rund 450 Kilogramm. Bisher haben derartige Bauweisen noch keinen Einzug in die automobilen Serienfertigung gehalten. „Unser Ziel ist es, mit Projekten wie dem SLRV das Potenzial dieser Bauweise aufzuzeigen und die dazugehörigen Fertigungstechnologien weiterzuentwickeln“, blickt Kriescher in die Zukunft.



Die ineinandergesteckten und verklebten Sandwichplatten sind einzigartig und machen das SLRV leicht und stabil

Um dem sportlich anmutenden Fahrzeug die entsprechende Power zu verleihen und gleichzeitig ressourcenschonend unterwegs zu sein, verfügt das SLRV über einen sehr effizienten Hybridantrieb. Aufgrund des geringen Gewichts kommt das Fahrzeug mit einer relativ kleinen Brennstoffzelle aus. Diese ist mit einer Batterie gekoppelt, die zusätzliche Leistung, etwa für Beschleunigungsvorgänge, liefert. Die Kombination wiegt weitaus weniger als herkömmliche Batteriesysteme, sorgt für eine Reichweite von rund 400 Kilometern und für eine Höchstgeschwindigkeit von 120 Kilometern pro Stunde. Zwischen den beiden Sitzen befindet sich der Wasserstofftank. Die Abwärme der Brennstoffzelle nutzt das SLRV zum Heizen des Innenraums. Zusätzlich wirkt sich die gute Wärmeisolierung der Sandwichkarosserie im Winter positiv auf den Energieverbrauch der Klimaanlage des Fahrzeugs aus.

Einsatzszenarien: Pendelstrecken, Car-Sharing und Zubringerauto

Bisher gibt es in der Klasse der elektrischen Leichtfahrzeuge (L7e) nur wenige Modelle. Zu den bekanntesten zählt der Twizy des französischen Automobilherstellers Renault. „Mit dem SLRV zeigen wir das Konzept für ein vollwertiges Fahrzeug in dieser Kategorie. Wie von einem Klein- oder Mittelklassewagen gewohnt, bietet es eine hohe passive Sicherheit, eine große Reichweite bei attraktiver Höchstgeschwindigkeit und ein schickes Design“, fasst Prof. Tjark Siefkes, Direktor des Instituts für Fahrzeugkonzepte, zusammen. Sein Einsatz bietet sich vor allem in urbanen Randgebieten oder im außerstädtischen Bereich an: Als Zubringerauto kann das SLRV den öffentlichen Nahverkehr in einer

Technische Daten:

- Länge: 3,9 Meter
- Gewicht Karosserie: 90 Kilogramm
- Gesamtgewicht: 450 Kilogramm
- Antriebsleistung: max. 25 Kilowatt
- Brennstoffzelle 8,5 Kilowatt, Gewicht: 28 Kilogramm
- Batterie: 1,5 Kilowattstunden, 25 Kilogramm
- Reichweite: 400 Kilometer
- Wasserstofftank: Drucktank mit 39 Litern, speichert 1,6 Kilogramm Wasserstoff bei 700 Bar
- Anschaffungskosten: 15.000 Euro
- Laufleistung: 300.000 Kilometer
- Preis pro Kilometer: 10 Cent bei 10 Jahren angenommener Nutzungsdauer

Vorstadt oder ländlichen Umgebung ergänzen oder als ressourcenschonender Zweitwagen in einer Familie für die tägliche Pendelstrecke zur Arbeit genutzt werden. Da es sich in nur rund fünf Minuten betanken lässt, eignet es sich zudem gut für Car-Sharing-Dienste.

Fans der ersten Stunde: ein Prototyp erobert Herzen

Nach den ersten öffentlichen Auftritten des SLRV erreichten das DLR-Team zahlreiche begeisterte Rückmeldungen, von Partnern aus Industrie und Forschung genauso wie von Privatpersonen. „Wir haben viele Anfragen bekommen, wann man das SLRV denn kaufen könne, ob es vorbestellbar sei oder Testfahrer gebraucht würden. Dieses positive Feedback hat uns sehr gefreut. Mit dem Konzept und der dahinterstehenden Technologie haben wir definitiv einen Nerv getroffen“, erklärt Michael Kriescher.

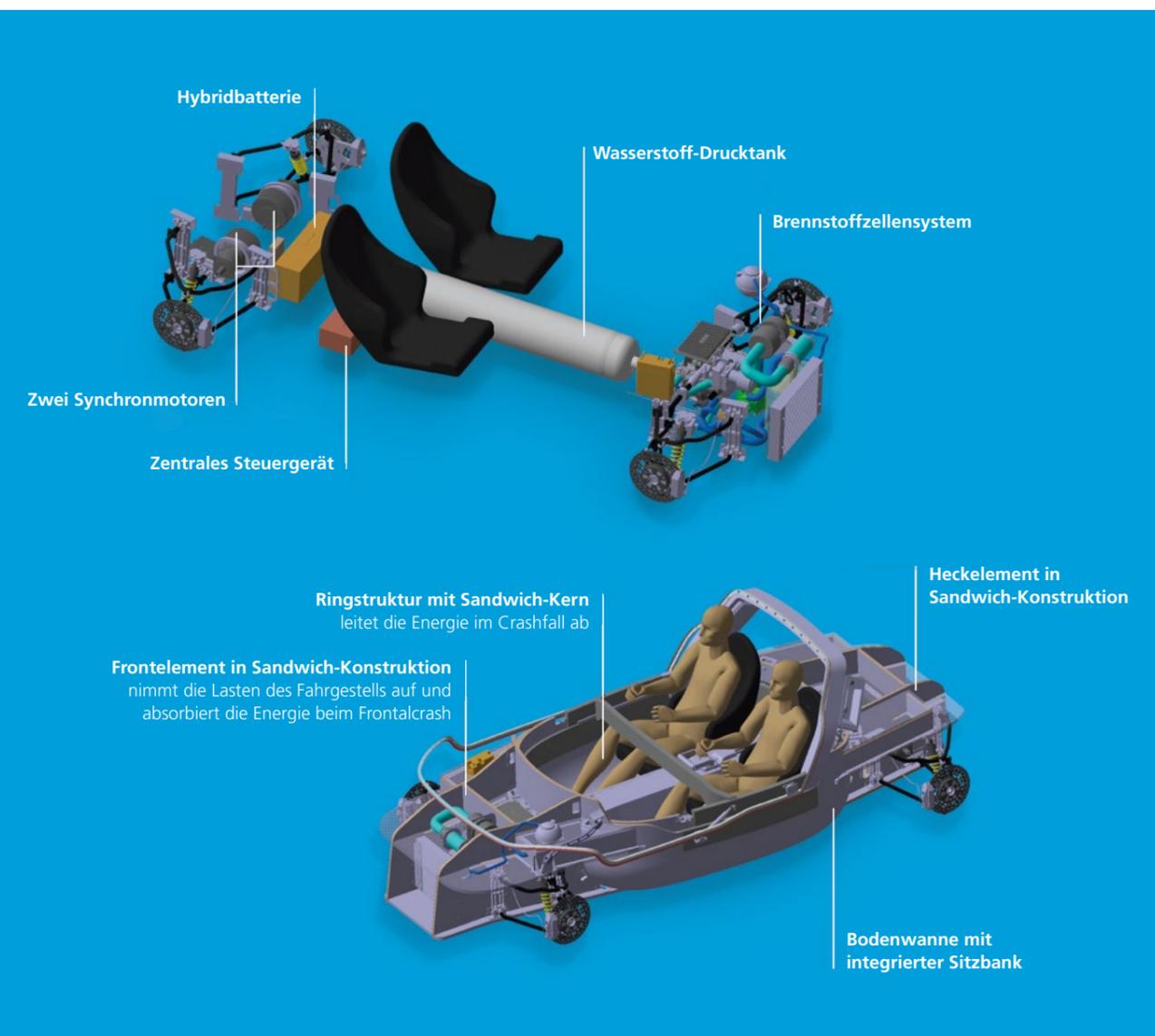
Ob das SLRV jemals in Serie gehen wird, hängt von privaten Interessenten für eine Industrialisierung ab. Für das DLR-Team ist das ein Ansporn, hohe technische Qualität in einem Prototyp darzustellen. „Für uns ist das SLRV eine Technologieplattform. Mit Hilfe des Prototyps wollen wir die darin verbauten Technologien und Komponenten testen und gemeinsam mit Unternehmen weiterentwickeln. So leisten wir unseren Beitrag, um die Mobilität der Zukunft ressourcenschonend,

sicher und bezahlbar zu machen. Dass zumindest ein Teil des SLRV-Konzepts in den Autos der nächsten und übernächsten Generation mit an Bord ist, ist sehr wahrscheinlich“, fasst Prof. Tjark Siefkes zusammen.

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR.

DLR-GROSSPROJEKT NEXT GENERATION CAR

Im Großprojekt Next Generation Car (NGC) entwickeln insgesamt 20 DLR-Institute gemeinsam Technologien für Straßenfahrzeuge der Zukunft. Neben dem SLRV gibt es zwei weitere Fahrzeugkonzepte, die ebenfalls dem Megatrend der Urbanisierung Rechnung tragen: Das Urban Modular Vehicle (UMV) als modular aufgebautes Stadtauto für private wie kommerzielle Anwender sowie das für weitere Strecken zwischen Ballungsräumen entworfene Inter Urban Vehicle (IUV) (Artikel im DLRmagazin 163).





RADARAUFNAHME VOM HAFEN OSLO

Radarbilder werden für viele Zwecke eingesetzt, zum Beispiel für die Erstellung eines dynamischen Lagebildes, mit dem maritime Strukturen überwacht werden. Dazu müssen die verwendeten Daten jederzeit zuverlässig und vertrauenswürdig sein. Das DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme erforscht Methoden, wie Stör-Einflüsse auf Radarbilder detektiert und verringert werden können.

Auch wenn Cyberbedrohungen ein breites Spektrum von Systemen und Anwendungen betreffen, gibt es grundlegende Thematiken, die ihnen gemein sind, wie zum Beispiel die Verfälschung von Informationen oder Signalen. Wenn Signale gestört oder verändert werden, sprechen die Fachleute von „Jamming“ oder „Spoofing“. Jamming kommt aus dem Englischen und bedeutet wortwörtlich übersetzt „klemmen“. Ein Jammer (Störer) stört ein System absichtlich so lange und intensiv, bis es nicht mehr funktionsfähig ist. Spoofing (Täuschung) bedeutet ursprünglich Parodie und bezeichnet ein bewusstes, gezieltes Täuschen eines nichtsahnenden Nutzers. Die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler entwickeln Techniken, mit denen sich sowohl die Einflüsse von Jamming als auch von Spoofing reduzieren lassen. Das können spezielle Verschlüsselungsverfahren sein, die sicherstellen, dass Daten nicht manipuliert werden, aber auch Verarbeitungstechniken wie die Ortung von Störern auf Radarbildern. Das DLR-Team analysierte hierfür bekannte Angriffe und entwickelte daraus entsprechende Gegenmaßnahmen.

gegen Angriffe und Verfälschungen mittels kryptografischer Verfahren. Gegenwärtige kryptografische Methoden, wie sie auch für sichere Verbindungen im Internet (HTTPS) verwendet werden, haben Angriffen von Quantencomputern wenig entgegenzusetzen. Solche Rechner sind in der Lage, für klassische Computer äußerst komplexe Operationen durchzuführen und bergen deshalb entsprechende Risiken. Auch wenn bislang nur wenige Prototypen existieren, werden höchstwahrscheinlich in einigen Jahren leistungsfähige Quantencomputer verfügbar sein. Die sogenannte Postquantenkryptografie entwickelt neuartige Verschlüsselungsmethoden, die Systeme robust gegen Angriffe von Quantencomputern machen. In dem Querschnittsprojekt entwirft das DLR-Team Verschlüsselungsverfahren, die resistent gegen die Angriffe mittels Quantencomputern sind. So können Kommunikationssysteme in der Luftfahrt sowie in der Satellitentechnik langfristig abgesichert und Zwischenfälle wie unautorisierte Funksprüche vermieden werden.

Schutz von Signalen

Besonders anfällig sind Flugzeuge während ihres Landeanflugs. Satellitenbasierte Landeanflugsysteme bieten ein Einfallstor für Radiostörer (Jammer), aber auch für Signaltäuscher (Spoofers). Beide stellen Sicherheitsrisiken dar, die der heutige Stand der Technik größtenteils noch nicht decken kann. Bei einem Messflug im Februar 2020 zeigte das DLR, wie sich Radiostörer auf die Bordelektronik eines kommerziellen Linienflugzeugs auswirken können: Sie legten die gesamte Satellitennavigation lahm. Wenn so etwas passiert, muss der Pilot oder die Pilotin auf Sicht weiterfliegen. Im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation werden Antennen und Satellitenempfänger entwickelt, die Landesysteme gegen solche Angriffe stärken. Die Antennen erkennen die Richtung des Signals und können einschätzen, ob diese plausibel ist – ob es sich beispielsweise um einen Satelliten handeln kann oder einen Spoofers, der von der Erde aus sendet. So lassen sich Jamming und Spoofing minimieren und es wird verhindert, dass Schiffe am „falschen Ort auftauchen“.

In den letzten fünf Jahren haben sich Aufklärungssysteme, die ein Radar mit synthetischer Apertur (SAR) verwenden, immer weiter verbreitet. SAR-Radare gehören zur Klasse der abbildenden Radare und werden zur Fernerkundung eingesetzt. Allerdings nehmen beabsichtigte und unbeabsichtigte Störungen ihrer Sensorik zu. Das DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme beschäftigt sich bereits seit geraumer Zeit damit, wie sich solche Störsignale auf das Bildmaterial auswirken und wie sie sich eliminieren lassen. Die Forscherinnen und Forscher entwickeln Methoden, mit denen sich ursprünglich gestörte Radarbilder rekonstruieren und trotzdem noch auswerten lassen, ohne dabei die Sende- oder Empfangsvorrichtungen verändern zu müssen. Darüber hinaus beschäftigen sie sich damit, wie zukünftige Systeme aussehen, die weniger störanfällig sind.

SCHUTZGEBIETE

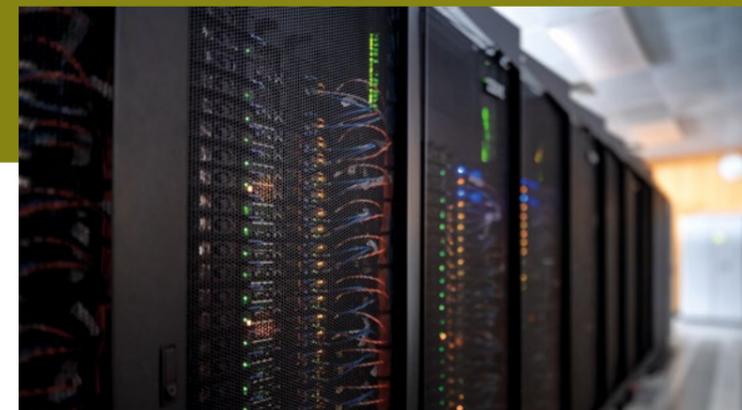
DLR-Fachleute erforschen, wie sich autonome und vernetzte Systeme gegen Cyberangriffe schützen lassen

von Dr. Hannes Bartz und Dr. Okuary Osechas

Flugzeuge ohne Piloten, Kontrolltürme ohne Fluglotsen und vernetzte Schiffe – es ist das Zeitalter der Vernetzung, die mit bahnbrechenden Entwicklungen auch neue Bedrohungen mit sich gebracht hat. Beispielsweise wurden im Juli 2019 im Hafen von Shanghai die Navigationssysteme mehrerer Schiffe so getäuscht, dass sie falsche Koordinaten kommunizierten und scheinbar geisterhaft an verschiedenen Stellen auftauchten und wieder verschwanden. Cybersicherheit ist aber auch für andere Bereiche relevant: So kommt es immer wieder zu Zwischenfällen, bei denen Unbekannte nicht autorisierte Anweisungen per Funkspruch an Flugzeuge senden. Die zunehmende Automatisierung von Systemen fördert zwar deren Zuverlässigkeit, aber ihre IT-Abhängigkeit öffnet sie gegenüber Cyberangriffen. Die dynamischen Entwicklungen lassen stets neue Schwachstellen und Bedrohungsszenarien entstehen. Im DLR-Querschnittsprojekt Cybersicherheit für vernetzte und autonome Systeme entwickeln Fachleute aus vier DLR-Instituten aus den Bereichen Sicherheit, Raumfahrt und Luftfahrt Technologien und Methoden, mit denen sich solche Angriffe verhindern lassen.

Was ist Cybersicherheit?

Die globale Vernetzung produziert riesige Datenmengen, die beständig ausgetauscht werden. Solche Prozesse bieten eine Angriffsfläche für Unbefugte. Dies gilt sowohl für weltweite Netzwerke als auch für sogenannte cyber-physische Systeme. Das sind zum Beispiel Flughäfen, auf denen verschiedene Komponenten miteinander interagieren und kommunizieren. Dementsprechend brauchen wir Maßnahmen, die solche Systeme gegen böswillige Angriffe schützen. Dafür steht der Begriff Cybersicherheit. Sicherheit lässt sich im Englischen mit „Safety“ und „Security“ übersetzen. Safety bedeutet in diesem Kontext Betriebssicherheit. Der Begriff Security bezeichnet die Sicherheit vor gezielten Eingriffen. Gerade in den Bereichen Luft- und Raumfahrt sind beide Begriffe oft eng miteinander verwoben. Im DLR-Querschnittsprojekt liegt der Fokus auf dem Bereich „Security“ von cyber-physischen Systemen.



Rechencluster am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

Schutz von Informationen

Eine aktuelle Problematik im Luftfahrt-Bereich besteht darin, dass die Kommunikation heutzutage größtenteils noch analog und unverschlüsselt abläuft. Entsprechend anfällig sind gewisse Systeme gegen böswillige Eingriffe von außen. Das Flugverkehrsmanagement ATM (Air Traffic Management), das einen sicheren und effizienten Flugverkehr gewährleistet, befindet sich im Wandel von analogen hin zu digitalen Datenlinks. Neue digitale Kommunikationsstandards, mit denen die Flugzeuge sowohl untereinander als auch mit Tower und Lotsen kommunizieren, müssen entsprechend sicher sein. Das DLR entwickelte federführend die beiden Kommunikationssysteme LDACS (L-band Digital Aeronautical Communications System) und CDACS (C-band Digital Aeronautical Communications System). Diese können Daten in Echtzeit übertragen und sichern sie

DAS DLR-QUERSCHNITTSPROJEKT CYBERSICHERHEIT FÜR AUTONOME UND VERNETZTE SYSTEME

Beteiligte Institute und Einrichtungen:

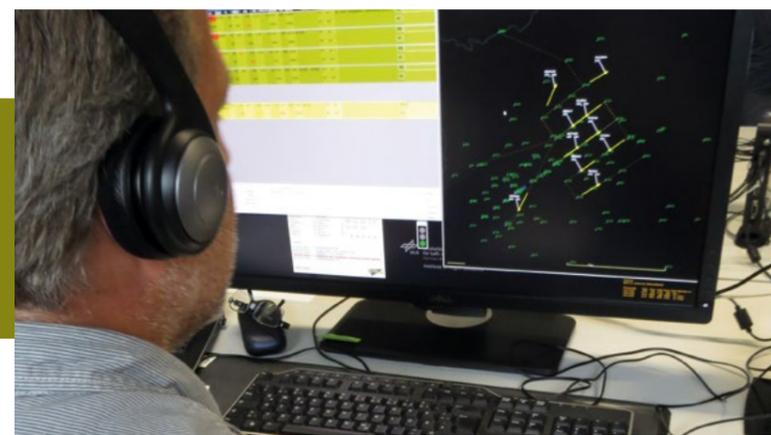
- Institut für Flugführung
- Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
- Institut für Kommunikation und Navigation
- Institut für den Schutz Maritimer Infrastrukturen

Laufzeit: 2019–2021

Budget: ca. sieben Millionen Euro



Vor allem die Satellitennavigation ist anfällig gegen Stör- und Täuschangriffe von außen. Im Fall von satellitenbasierten Landeanflugssystemen kann das folgeschwer sein. DLR-Fachleute arbeiten an Verfahren, um diese robuster zu machen. Nächstes Jahr soll die Technologie an Bord der DLR-Flotte getestet werden.



Bei Landeanflügen werden sensible Daten vom Flughafen an die Flugzeuge übertragen. Das Kommunikationssystem LDACS des DLR schützt gegen die Verfälschung solcher Daten und kann im Fall einer Störung der Satellitensignale die Flugzeuge sicher ans Ziel bringen.

Schutz von Systemen

Kritische Infrastrukturen wie Offshore-Windanlagen, Verkehrsleitzentralen, Schiffe und Häfen müssen besonders vor Cyberangriffen geschützt werden, denn unsere Gesellschaft ist darauf angewiesen, dass sie reibungslos funktionieren. Innerhalb des Projekts erarbeiten die Fachleute Bewertungskriterien, mit denen die Bedrohungs- sowie die Sicherheitslage eingeschätzt werden können, und entwerfen entsprechende Schutzmaßnahmen. Darunter fallen Maßnahmen, die sicherstellen, dass das Zusammenspiel der verschiedenen Systeme störungsfrei läuft – wie die Kommunikation zwischen Schiff und Hafen – aber auch Assistenz- und Beratungssysteme, die auf Angriffe hinweisen.

Digitalisierte Häfen oder Flughäfen beinhalten zahlreiche Schnittstellen. Sie sind mögliche Einfallstore für Hackerangriffe und bedürfen deshalb zuverlässiger Schutzmaßnahmen. Da sich der Cyberraum stetig wandelt, sollten auch die Sicherheitsanforderungen an die Systeme immer wieder angepasst werden. Innerhalb des Querschnittsprojekts baute ein DLR-Team ein exemplarisches, ganzheitliches Sicherheitsmanagement auf und überprüfte es in einem speziellen Labor, das genauso aufgebaut ist wie ein Fluglotsen-Tower.

Alle Arbeit wird gebündelt

Die Arbeiten zum Schutz von Informationen, Signalen und Systemen liefern im Querschnittsprojekt schließlich in einem gemeinsam entwickelten Landesystem sowie einer dynamischen Karte zusammen. Durch die verschiedenen Kompetenzen der Institute wurde die Sicherheit der Systeme von allen Perspektiven geprüft und entsprechend in das neue Design integriert.

Ein sicheres Landeanflugssystem für Flugzeuge

Damit Flugzeuge in Zukunft sicher autonom beziehungsweise unterstützt landen können, arbeiten die Forscherinnen und Forscher im Querschnittsprojekt an einem abgesicherten Landeanflugssystem. Besonders satellitenbasierte Systeme, wie das Ground Based Augmentation System (GBAS), das auch im DLR entwickelt wurde, sind anfällig für Cyberangriffe. Das DLR-Team konzipierte ein kryptografisches Verfahren, das robust ist gegen die Angriffe von Quantencomputern, und integrierte es sowohl in das GBAS-System als auch in das digitale Protokoll, das das Flugzeug mit der Bodenstation austauscht. Darüber hinaus härteten die Fachleute die Satellitennavigationsempfänger des Flugzeugs gegen Jamming und Spoofing ab. Aktuell bereitet das Team Messflüge für 2021 vor, in denen die Technologien getestet werden.



© DLR

Dr. Stefano Caizzone aus dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation in Oberpfaffenhofen testet die sogenannte 3+1 Antenne. Diese ist speziell für den Empfang von Satellitennavigationssignalen an Bord ziviler Flugzeuge gebaut und ist robust gegen Stör- wie auch Täuschsender.



Messungen an Bord eines Containerschiffs zeigten, dass Satellitensignale häufig an Häfen gestört werden. Diese Antenne kann Störsender anpeilen, aber auch ausblenden.

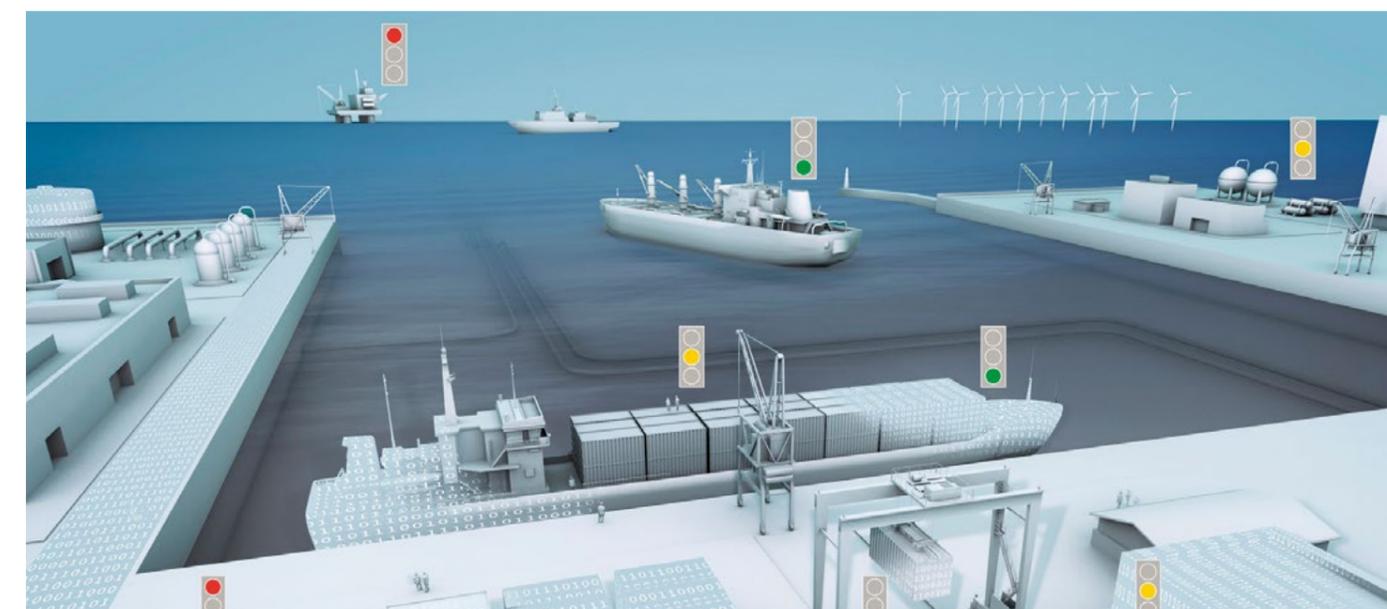
Eine dynamische Karte zeigt mögliche Gefahren

Neben dem sicheren Landeanflugssystem erstellten die Forscherinnen und Forscher eine dynamische Lagekarte mit einem integrierten Ampelsystem. Diese zeigt den Zustand aller Bestandteile einer Infrastruktur – wie ein Hafen oder ein Flughafen – in Echtzeit. Diese Lagekarte bezieht ihre Informationen aus den verschiedenen Bereichen des Querschnittsprojekts: Schifffahrt, Luftfahrt, Radaraufklärung. Grün bedeutet keine Gefahr, Gelb, dass die Infrastruktur kontrolliert werden muss, und Rot, dass diese Komponente gerade einem Angriff ausgesetzt ist. Mit diesem System können die Betroffenen schnell reagieren und die entsprechenden Gegenmaßnahmen einleiten, um weitere Infrastrukturelemente zu schützen. Eine entsprechende Karte wird bereits für den Hafen von Bremerhaven eingesetzt. Das Team arbeitet außerdem daran, eine solche Karte für Flughäfen zu entwerfen. Das abgesicherte Landeanflugssystem und die dynamische Karte sind schon vielversprechende Anfänge, damit falsche Funksprüche oder Geisterschiffe in Zukunft der Vergangenheit angehören.

Dr. Okuary Osechas arbeitet im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation und koordiniert zusammen mit seinem Kollegen Dr. Hannes Bartz das Querschnittsprojekt Cybersicherheit.

QUANTENSCHLÜSSEL SICHER VERTEILEN

Moderne Kryptographiesysteme nutzen zufällig erzeugte Schlüssel, um die Informationen abzusichern. Dabei ist wichtig, dass der Schlüssel nur den beiden Kommunikationspartnern bekannt ist und nicht in die Hände von Spionen fällt. Die sogenannte Quantenschlüsselverteilung (engl. Quantum Key Distribution – QKD) sorgt dafür, dass die Schlüssel sicher verteilt werden, und verspricht dadurch Langzeitschutz gegen Cyberangriffe jeglicher Art. Das Team am DLR-Institut für Kommunikation und Navigation entwickelt zusammen mit nationalen und internationalen Partnern Systeme für satellitenbasierte Quantenschlüsselverteilung. Dabei werden die Quantenzustände über einen optischen Freistrahkanal übertragen. Damit können große Distanzen überbrückt werden, wohingegen aktuelle faserbasierte Systeme auf wenige 100 Kilometer beschränkt sind. Satelliten können für die globale Quantenschlüsselverteilung eingesetzt werden. Die DLR-Fachleute arbeiten aktuell an einem störungsresistenten System, das für die weltweite Quantenkommunikation, insbesondere die Quantenschlüsselverteilung, eingesetzt werden kann.



Simulation einer interaktiven Karte, auf der ein Ampelsystem zeigt, inwiefern bestimmte maritime Systeme Risiken durch Cyberangriffe ausgesetzt sind



Dass sich ein Flügel im Flug verbiegt, ist normal?

■ Auf jeden Fall! Ein großer Teil der Flugzeugmasse konzentriert sich im Rumpf, der durch die Schwerkraft nach unten gezogen wird. Ihr entgegen wirkt der Auftrieb, der die Flügel nach oben zieht und es möglich macht, dass das Flugzeug fliegt. Diese gegensätzlichen Kräfte bewirken, dass sich der Flügel biegt, ansonsten müsste er extrem steif gebaut und damit sehr schwer sein. Die Durchbiegung ist also vorgesehen und Teil des normalen Verhaltens eines Flugzeugflügels.

Ab wann spricht man denn von einer „großen“ Durchbiegung?

■ Das hängt von der Größe des Flugzeugs und seiner Spannweite, vom verwendeten Material und von der Bauweise der Flügel ab. Ob eine Auslenkung als „groß“ angesehen werden kann, ist dabei immer relativ zur Dimension des Flugzeugs. Lassen Sie uns beispielsweise die Durchbiegung an der Flügelspitze eines Airbus A340 betrachten: Die Auslenkung seines Flügels im Reiseflug beträgt gut zwei Meter, verglichen mit dem Zustand am Boden. Das scheint zunächst viel, ist aber tatsächlich ein durchschnittlicher Wert für ein Verkehrsflugzeug. Der A340 hat etwa 60 Meter Spannweite. Das Verhältnis der Auslenkung zur Flügellänge ist in diesem Fall sieben Prozent. Bei extremen Manövern kann die Durchbiegung mehr als doppelt so groß werden. Bei manchen Transportflugzeugen sind aber noch deutlich höhere Deformationen möglich. Die Boeing 787 mit ihren Flügeln aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) weist bei annähernd gleicher Spannweite eine Durchbiegung von drei Metern im Reiseflug auf. Diese kann unter maximaler Last durch Böen oder Manöver auf 8,5 Meter anwachsen. Das ist eine Durchbiegung von 28 Prozent. Dies bezeichnen wir bereits als eine „große“ Durchbiegung. Als Richtwert gilt: Wenn die Auslenkung an der Flügelspitze 10–15 Prozent der Flügellänge überschreitet, handelt es sich um eine „große Deformation“.

Während des statischen Tests ziehen Kräfte, die dem Auftrieb im Windkanal entsprechen, den Flügel nach oben

Treten solche Deformationen bei allen Flugzeugen auf und warum werden sie so groß?

■ Am besten sind die Effekte bei Segelflugzeugen zu sehen. Flügel mit einer großen Spannweite sowie geringer Flügeltiefe produzieren weniger Widerstand. Deshalb sind die Flügel aller Hochleistungssegelflugzeuge besonders schlank und biegen sich entsprechend durch. Aber auch bei neuen Verkehrsflugzeugen geht der Trend zu größeren Deformationen. Der Vorteil ist ein reduzierter Widerstand und damit

„Auch bei neuen Verkehrsflugzeugen geht der Trend zu größeren Deformationen“

einhergehend ein niedrigerer Treibstoffverbrauch. Während früher mit einer höheren Spannweite automatisch auch ein größeres und irgendwann nicht mehr akzeptables Gewicht einherging, ermöglichen heutzutage neue Bauweisen und innovative Materialien wie CFK solche langgestreckten Flügel. Mit dem richtigen Material und der optimalen Auslegung können wir die Deformation sogar nutzen, um die Kräfte zu verringern, die auf den Flügel wirken. Idealerweise mindert sich dadurch auch das Flügengewicht. Dieses Verfahren nennt sich „Aeroelastic Tailoring“. Auch der Passagierkomfort erhöht sich, da Schwingungen der Flugzeugstruktur gezielt reduziert werden können. Große Deformationen treten übrigens auch außerhalb der Luftfahrt an Flügeln auf, zum Beispiel bei Windkraftanlagen, denn auch hier sind schlanke Flügel vorteilhaft.

Was sind denn die Konsequenzen einer „kleinen“ oder „großen“ Deformation?

■ Ein entscheidender Unterschied tritt bereits bei den Berechnungsverfahren auf. Hier liegt auch der Fokus unserer Arbeiten im Institut für Aeroelastik. Bei einer Deformation des Flügels verschiebt sich sein Schwerpunkt und es kommt zu einer scheinbaren Verkürzung. Darüber hinaus drehen sich mit seiner Verformung die Richtungen der lokalen Auftriebskräfte, die auf den Flügel wirken. Bleibt die Durchbiegung des Flügels klein, so können die genannten Effekte vernachlässigt werden.

BIEGEN STATT BRECHEN

Am DLR-Institut für Aeroelastik wird untersucht, wie flexibel ein Flugzeugflügel sein darf

von Christine Unger

Flugzeugflügel verbiegen sich während des Fluges. Um sich selbst davon zu überzeugen, genügt während einer Flugreise ein Blick aus dem Fenster. Ab einer bestimmten Auslenkung sprechen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von großen Deformationen. Ob das gefährlich ist, in welchen Grenzen sich diese Deformationen üblicherweise bewegen und warum moderne Flügel zunehmend elastischer werden, erklärt Prof. Dr. Wolf Krüger vom DLR-Institut für Aeroelastik.



© DLR/Vetter

Prof. Dr. Wolf Krüger leitet am DLR-Institut für Aeroelastik die Abteilung Lastanalyse und Entwurf. Daneben leitet er an der Technischen Universität Berlin das Fachgebiet für Mehrkörperrdynamik in der Luft- und Raumfahrt. Privat engagiert er sich für internationalen Jugendaustausch, so liegen ihm auch die internationalen Kooperationen des DLR am Herzen. Was ihm an der Aeroelastik gefällt? „Die große fachliche Breite, die enge Zusammenarbeit zwischen Simulation und Experiment und die gute persönliche Atmosphäre machen den Reiz der Arbeit am Institut aus.“

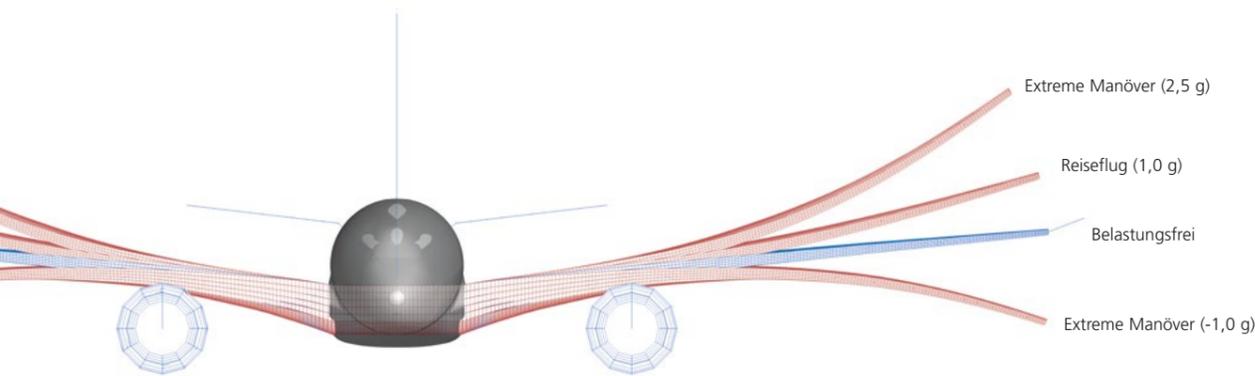
Um die Lasten zu berechnen, die auf ein Flugzeug wirken, und um daraufhin seine Struktur anzupassen, sind vereinfachende Annahmen heute üblich und hilfreich. Dadurch bleiben auch die Rechenzeiten für die Analysen relativ kurz.

Das Institut für Aeroelastik arbeitet an Verfahren, mit denen man Flügel mit großen Verformungen physikalisch genauer abbilden kann. Was genau entwickeln Sie?

Um große Verformungen zu berechnen, werden komplexe Verfahren benötigt, weil wir in diesem Fall nicht mehr vereinfachen können. Dabei handelt es sich in der Aerodynamik beispielsweise um „CFD-Verfahren“ oder um „geometrisch nichtlineare Wirbelleiterverfahren“. Um die Struktur zu modellieren, rechnen wir mit „Finite-Elemente-Programmen“ oder mit „Mehrkörper-Simulations-Programmen“. Wir nähern uns der Fragestellung von zwei Enden der Komplexität – auf der einen Seite wurde am Institut im Rahmen einer Promotion ein Verfahren entwickelt, das nichtlineare Strukturverformungen basierend auf schnellen Analyseverfahren darstellen kann. Auf der anderen Seite setzen wir komplexe Finite-Elemente-Modelle ein, welche die Flugzeugstruktur in einem hohen Detailgrad abbilden.

Das klingt alles nach viel Zeit am Computer ...

... stimmt, aber wir arbeiten auch an der experimentellen Überprüfung unserer Verfahren. Da ein Flugversuch mit einem Verkehrsflugzeug sehr teuer ist, fangen wir zunächst mit Tests im Labor und mit Windkanalversuchen an. Wir haben in Göttingen eine Serie von Windkanalversuchen mit speziell ausgelegten Flügeln durchgeführt, an denen wir Auslegungs- und Simulationsverfahren, aber auch neue Mess-



Diese Simulation zeigt, wie sich ein Flugzeugflügel während des Fluges verformen kann. „g“ steht dabei für die Erdbeschleunigung.

verfahren testen konnten. Beispielsweise testeten wir einen vorwärts gepfeilten Flügel, der mit seiner Spitze fast die Decke des Windkanals berührte, ohne dabei an seine strukturellen Grenzen zu geraten. Er bestand aus Lagen eines Faserverbundmaterials. Diese sind so angeordnet, dass sich der Anstellwinkel nicht erhöht, wenn sich der Flügel biegt, wie es sonst bei vorwärts gepfeilten Flügeln üblich ist. In diesem Entwurf haben wir sowohl die Bauweise als auch die Materialauswahl optimiert. Solche Strukturoptimierungen mit einer unkonventionellen Anordnung von Laminaten sind ein Beispiel für das oben schon angesprochene Aeroelastic Tailoring, für das wir am Institut ebenfalls seit vielen Jahren Ansätze entwickeln.

Ihre Projektpartner finden Sie im Inland und im Ausland?

Richtig. Das Thema hat sowohl eine hohe akademische wie auch industrielle Relevanz. Flugzeughersteller interessieren sich dafür, weil große Deformationen – als Ergebnis eines aggressiveren Leichtbaus der Flügel mit Faserverbundwerkstoffen – neue Strukturkonzepte erfordern werden. Auch die Nutzung neuer Materialien mit unkonventionellen Eigenschaften steht auf der Forschungsagenda. Wir entwickeln die Ansätze institutsübergreifend in DLR-internen Projekten, im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms zusammen mit Airbus sowie in nationalen und internationalen Kooperationen mit Forschungseinrichtungen und Universitäten, wie der Technischen Universität Braunschweig, der ONERA (Frankreich), der Technischen Universität Delft (Niederlande) und der University of Michigan in den USA.

Das Interview führte **Christine Unger**, sie ist am DLR-Institut für Aeroelastik für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig.



© Prof. Carlos Cesnik, University of Michigan

Das Leichtflugzeug X-HALE wurde an der University of Michigan entwickelt, getestet und in Kooperation mit dem DLR-Institut für Aeroelastik unter Einsatz neuer Simulationsverfahren analysiert

DAS DLR-INSTITUT FÜR AEROELASTIK:

Das Institut befasst sich mit physikalischen Phänomenen, die in Natur und Technik, aber insbesondere bei Flugzeugen auftreten. Die Aeroelastik untersucht das Zusammenspiel von aerodynamischen Kräften und elastischen Strukturen wie Flugzeugflügeln, die sich verformen und zu schwingen beginnen, wenn Kräfte auf sie einwirken. Das hat Auswirkungen auf die Auslegung und den Betrieb von Flugzeugen. Im Institut berechnen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler das aeroelastische Verhalten mit numerischen Analyseverfahren und weisen es mit Windkanal- und Flugversuchen nach, sodass neue Fluggeräte betriebssicher und leistungsfähig gestaltet werden können.

DLR.de/AE



© Dick Butler

Bei dem Segelflugzeug Concordia sind die deformierten Flügel während des Fluges deutlich zu sehen

GLOSSAR:

Aeroelastic Tailoring: Auslegungsverfahren für Flügelstrukturen, bei dem Besonderheiten des Materials wie die richtungsabhängige Steifigkeit gezielt ausgenutzt werden, um Lasten, die bei Böen und Manövern auf das Flugzeug wirken, zu reduzieren. Das Verfahren wird besonders bei Faserverbundwerkstoffen eingesetzt.

Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK): Materialien aus einem Verbund von Kohlefasern in einem Trägerharz. Die Richtungen, in denen die Kohlefasern verlegt werden, bestimmen maßgeblich die Steifigkeit des Materials und können für verschiedene Belastungssituationen angepasst werden.

Finite-Elemente-Programm: Es dient der Analyse von Strukturen, aber auch für die Untersuchung aeroelastischer Eigenschaften von Flugzeugen. Die zu untersuchende Struktur wird für die Berechnung in viele einfache Teilgebiete aufgeteilt, beispielsweise in kleine Balken, Plattenelemente, Quader oder Tetraeder, dies sind die sogenannten finiten Elemente.

Mehrkörper-Simulations-Programm: Besonders in der Fahrzeugentwicklung, aber auch in der Auslegung von Windkraftanlagen eingesetztes Verfahren. Es stellt dynamische Systeme als Kombination einzelner Körper dar, die gelenkig, durch Federn oder andere Kraftgesetze miteinander verbunden sind. Das Verfahren ist besonders für die Analyse von großen Rotationen geeignet.

Nichtlineare Strukturverformungen: Bei linearen Verformungen ist die aufgebrauchte Kraft proportional zur Auslenkung – so führt die doppelte Kraft zu einer Verdopplung der Auslenkung. Das ist bei kleinen Kräften eine gute Näherung. Bei großen Kräften hingegen ist das Verhältnis von aufgebrauchter Kraft und Auslenkung nicht mehr proportional, außerdem kann sich auch die Richtung, in der sich die Struktur verformt, bei höheren Kräften verändern. Dann spricht man von einer nichtlinearen Strukturverformung.

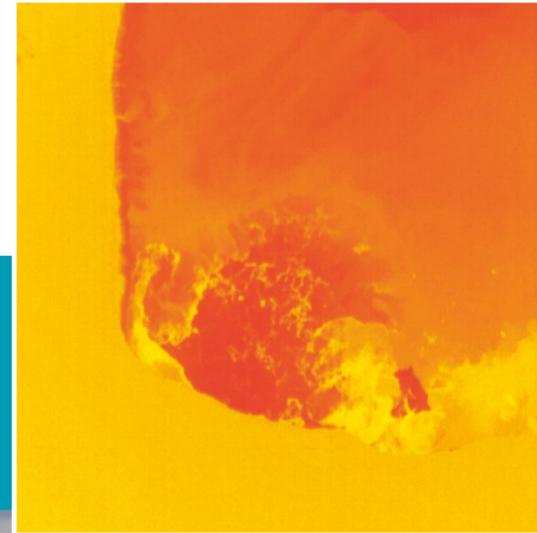
Vorwärts gepfeilter Flügel: Um bei hohen Geschwindigkeiten fliegen zu können, sind Flugzeugflügel nicht in einem rechten Winkel zum Rumpf angebracht, sondern haben einen sogenannten Pfeilwinkel. Bei klassischen Transportflugzeugen ist der Flügel nach hinten „gedreht“, also gepfeilt. Eine Pfeilung nach vorne ist unüblich, hat aber auch viele Vorteile und wird deshalb in mehreren DLR-Projekten untersucht.

DAS FEINE GESPÜR FÜR WASSER UND EIS

Ein DLR-Team auf den Spuren des Klimawandels in der Arktis
von Jörg Brauchle und Manuel Moser



Das Forschungsflugzeug Polar 6 unterwegs über dem Arktischen Ozean



Die MACS-Kamera des DLR nimmt immer eine Farbaufnahme (Mitte), eine Thermalaufnahme (oben) und eine Nah-Infrarot-Aufnahme (unten) auf. Jede von ihnen enthält andere Bildinformationen. So zeigt die Thermalaufnahme einen Wärmestrudel im Wasser und durch die Nah-Infrarot-Aufnahme lässt sich Wasser besser automatisch erkennen.



Von links: Valerian Hahn, Manuel Moser und Jörg Brauchle

Die Arktis zählt zu den empfindlichsten Ökosystemen der Erde. Der globale Klimawandel wurde hier in den vergangenen Jahren in hohem Maße sichtbar. Jüngste Messungen belegen, dass sich das Meereis in diesem Sommer erneut extrem weit nach Norden zurückgezogen hat. Erst ein einziges Mal seit Beginn der Aufzeichnungen war die Ausdehnung von vier Millionen Quadratkilometern Meereis unterschritten worden. Das war 2012. Im Jahr 2020 zeigt sich ein ähnliches Bild. Ein DLR-Team war hier im Rahmen einer großen internationalen Polarexpedition unterwegs, um Eis und Wolken zu untersuchen.

„Der Besuch der alten Damen“ – so hätte das Motto lauten können, als die beiden Maschinen des Typs Basler BT-67 des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI) zum Landeanflug auf Longyearbyen im norwegischen Spitzbergen ansetzten. Eigentlich zählen die zwei Forschungsflugzeuge Polar 5 und Polar 6 zu Stammgästen an der „Kühlen Küste“. Dieses Mal war aber vieles anders, denn aufgrund der gegenwärtigen Corona-Bedingungen stand lange nicht fest, ob es überhaupt eine Messkampagne geben würde. Die für das Frühjahr 2020 angesetzte Expedition wurde kurzfristig abgesagt. Umso mehr freute sich die Crew, als klar wurde, dass die Messflüge im September stattfinden konnten.

Allen Widrigkeiten zum Trotz

Auch die Crew der „Polarstern“ – das ein Jahr mit dem Packeis treibende deutsche Polarforschungsschiff – hatte den Widrigkeiten der Pandemie getrotzt und die Reise mit angepassten Abläufen fortgesetzt – selbst dann, als das Team die bereits tauende Eisscholle viel früher als erwartet aufgeben musste. Es war im Rahmen der MOSAiC-Expedition (Multidisciplinary drifting Observatory for the Study of Arctic Climate) unterwegs, um den Zustand des arktischen Systems zu beschreiben und zu verstehen. Im Juli 2020 fuhr die Polarstern durch ein Gebiet relativ losen Treibeises bis an den Nordpol. Es war eine äußerst schnelle Passage. Meereisphysikerinnen und -physiker gehen davon aus, dass das Eis selbst bei einem extrem kalten Winter seine ursprünglichen Dimensionen nicht wieder erreichen kann. Das nun offen liegende Wasser nimmt die Sonneneinstrahlung auf, anstatt sie zu reflektieren – das Eis taut von oben und zusätzlich von unten.

MOSAiC wird vom AWI koordiniert (Artikel im DLRmagazin 163) und ist die größte jemals durchgeführte Polarexpedition: 19 Nationen, 70 Institutionen und hunderte Mitwirkende, Messungen an der treibenden Eisscholle vor Ort, Satellitenaufnahmen aus dem All sowie eine enorme logistische Leistung. Für luftgestützte Messungen waren Polar 5 und Polar 6 unverzichtbar. Bei der Expedition der beiden Flugzeuge waren zwei DLR-Institute mit



Vorbereitungen für einen Meereis-Flug mit der Polar 6. Für Notfälle werden große Mengen der orangefarbenen Überlebensausrüstung mitgeführt.



Jörg Brauchle bedient während des Messfluges die MACS-Kamera



Manuel Moser und Valerian Hahn bereiten die Cloud Combination Probe vor, eine Wolkensonde zur Messung von Wolkentropfen und Eiskristallen

ganz unterschiedlichen Messgeräten dabei: Die hochpräzise MACS-Kamera (Modular Aerial Camera System) des DLR-Instituts für Optische Sensorsysteme nahm Bilder des Meereises auf und die Messsonden des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre sammelten Informationen über den Aufbau der arktischen Wolken.

Warten auf freie Sicht

Abgesehen von einzelnen Forschungsstationen ist Longyearbyen die nördlichste Siedlung der Welt, etwa 2.500 Menschen leben hier. In diesem Jahr ist der Ort der einzig mögliche Ausgangspunkt für Flüge bis weit über das Meereis, denn die Forschungsstationen im Norden Grönlands und Kanadas sind aufgrund der Pandemie geschlossen. Gerade einmal 1.300 Kilometer sind es noch bis zum Nordpol. Hier sind es im August nur zwei Grad Celsius mit Schneeregen.

Schon beim Frühstück geht der prüfende Blick aus der Fensterfront gen Himmel: eine dichte Wolkendecke, wohin das Auge reicht. Die auf der anderen Seite des Fjords gelegenen Berggipfel verlieren sich schnell im dunstigen Grau der Wolkenbasis. Genauso verdeckt sind die schroffen Hänge der Hochplateaus, die Longyearbyen umgeben. Es ist nahezu windstill. Spätestens jetzt werden auf Laptops und Smartphones einschlägige Wetter-Apps aufgerufen: Für die nächsten 24 Stunden ist nur leichter Wind aus Südwesten zu erwarten, außerdem leichter Regen und durchbrochene Bewölkung auf 2.000 Fuß. Die vorsichtige Hoffnung versiegt, dass sich durch aufkommenden Wind Nebel und Wolken verziehen und damit bessere Flugbedingungen entstehen. Das Wetterbriefing mit den lokalen Meteorologen, die die Piloten und Wissenschaftler bei der Flugwetterberatung unterstützen, ist für 8 Uhr angesetzt. Ein Stück Resthoffnung bleibt also bestehen.

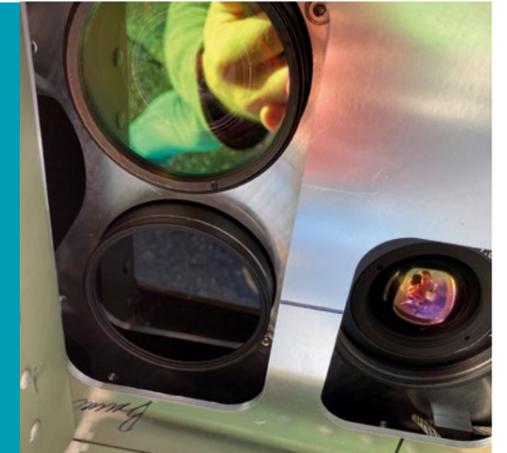
Im Hangar warten keine freudigen Neuigkeiten auf die Teams der beiden Forschungsflieger: Unter den aktuellen Voraussetzungen ist kein Flug möglich. Gegen Mittag ist ein weiteres Wetterbriefing geplant. Dann muss plötzlich alles ganz schnell gehen: Rucksäcke werden gepackt, Laptops verstaut und der letzte Schluck Kaffee aus der Tasse wird getrunken. Der Himmel hat aufgeklart und die Ersten laufen schon in den grell orangefarbenen Überlebensanzügen herum, die die Crews während der mehrstündigen Flüge schützen. Die Gewehre als letztes Mittel zum Schutz gegen Eisbären liegen griffbereit verpackt bereit. Man weiß nie, wo im Zweifel notgelandet werden muss. An Bord sind zwei Piloten sowie bis zu vier Personen in der Kabine, die die Messgeräte bedienen. Die Flieger sind bereits betankt und nachdem alle Vorbereitungen abgeschlossen sind, heben sie endlich ab.

Kleinste Risse sichtbar machen

Die Polar 6 ist ausgerüstet mit verschiedenen Fernerkundungsinstrumenten, mit an Bord ist das DLR-Kamerasystem MACS. 2014 hatte im Himalaya eine frühere Version der Kamera bei Umgebungstemperaturen von bis zu minus 35 Grad Celsius die höchstgelegenen Gletscher der Erde aufgenommen. Nun die Premiere für den Einsatz über Meereis. Der Sensorkopf von MACS-Polar besteht aus drei verschiedenen Kameras. Er ist äußerst klein und passt in eine Luke im Boden des Flugzeugrumpfes, halb so groß wie ein Blatt Papier. Nichtsdestotrotz sind die Sensoren äußerst leistungsfähig. Sie nehmen gleichzeitig und mit hoher Frequenz Bilder in verschiedenen Wellenlängenbereichen des Lichts auf: im farbigen, nah-infraroten und thermal-infraroten Lichtspektrum. Diese Kombination ermöglicht es, neue Ergebnisse abzuleiten. Beispielsweise ist für die Meereisphysikerinnen und -physiker interessant, mehr über Risse im Eis zu erfahren: Unter welchen Umständen entstehen sie? Auf welche Weise überfrieren sie? Welche Rolle spielen Schmelztümpel? Das sind Fragen, die mit Hilfe der Luftbilder besser beantwortet werden sollen. Mit ihnen können Fachleute den Zustand des Eises sowie dessen Rauigkeit besser beschreiben und modellieren. Die Aufnahmen zeigen das überflogene Gebiet mit einer Auflösung von unter vier Zentimetern pro Pixel.

DIE DLR-LUFTBILDKAMERA MACS

- MACS (Modular Aerial Camera System) ist eine Familie von Luftbildkamera-Systemen des DLR.
- Sensorkopf und Softwaremodule sind modular aufgebaut und können individuell konfiguriert werden.
- Es können sowohl 3D-Modelle abgeleitet als auch 2D-Karten in Echtzeit zum Boden übertragen werden.
- Das System wird an Träger und Umgebungsbedingungen angepasst, von kleinen Drohnen für Einsätze bei Katastrophen bis hin zu schnell fliegenden Flugzeugen.
- Die Echtzeit-Bildverarbeitung liefert wichtige Informationen bereits an Bord.



Der Sensorkopf der MACS-Kamera ist so klein, dass er durch eine Luke im Boden des Flugzeugrumpfes passt

Zunächst geht es nach Westen in Richtung Grönland. Fast zwei Stunden dauert es, bis Meereis sichtbar wird. Grönland ist schon deutlich erkennbar.

Hier schwimmen die Überreste des Eises, in dem vor Monaten viel weiter nördlich die Polarstern eingeschlossen war. Der EM-Bird des AWI wird aus 100 Meter Flughöhe an einem Seil herabgelassen. In 15 Meter Höhe misst das torpedoförmige Gerät mit Hilfe elektromagnetischer Sensoren die Dicke des Eises. Sobald es etwas Interessantes aufzunehmen gibt, wird MACS-Polar mittels eines Schalters aktiviert, der „Yeti Now!“ heißt – die Bedienphilosophie der ursprünglichen Himalaya-Kamera ist noch tief im System verankert. Mit vier Bildern pro Sekunde laufen die Daten der drei Sensoren ein.

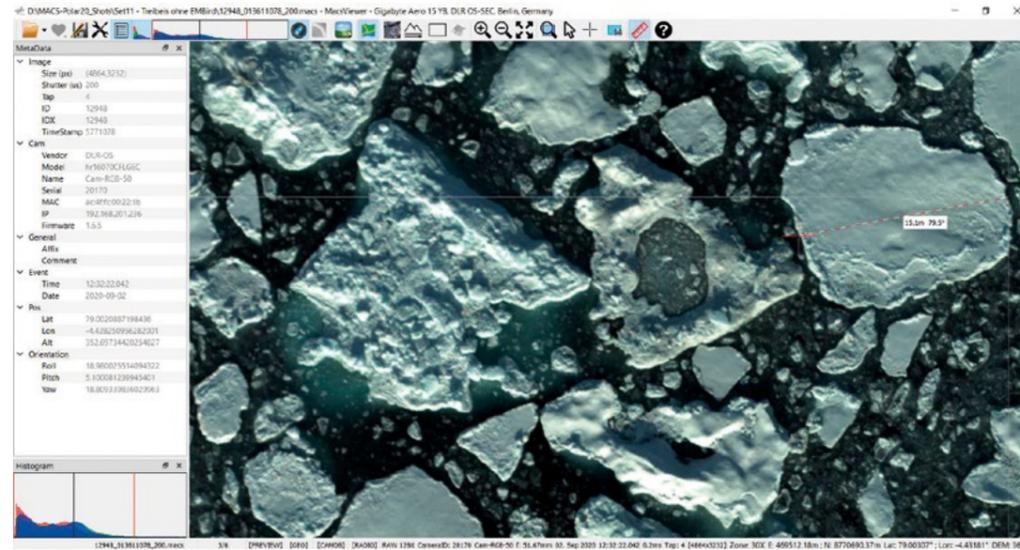
Diese Bildfolge ist gerade ausreichend, damit bei der Flughöhe von 100 Metern keine Lücken entstehen. Die Messungen laufen parallel zu denen des EM-Bird. Später werden seine Daten mit den Luftbildern kombiniert. Was trivial klingt, hat einen echten Wert: So lässt sich überprüfen, ob die Eisdickenmessung plausibel ist.

Während weiterer Flüge geht es im Verlauf der Kampagne immer weiter nach Norden. Selbst mit einem recht großen Flugzeug wie der Polar 6 ist die Eisgrenze in diesem Jahr gerade noch zu erreichen. Der Blick aus dem Fenster stimmt nachdenklich: erstaunlich lockeres Treibeis trotz des 84. Breitengrades, also keine 700 Kilometer vom Nordpol entfernt.



Der Blick nach links aus dem Flugzeug auf einer Höhe von 100 Metern zeigt Treibeis, 700 Kilometer vom Nordpol entfernt

MELDUNGEN



Treibeismessung

Bereits während des Fluges werden die Bilddaten der MACS-Kamera auf dem Rechner angezeigt, hier die Daten der Farbkamera. Damit überprüfen die Forscher, ob alle Einstellungen korrekt sind. Da es sich um ein kalibriertes System handelt, können direkt erste Messungen durchgeführt werden, zum Beispiel Größe und Ausrichtung von interessanten Objekten.

Eintauchen in die arktischen Wolken

Währenddessen konzentriert sich die Crew der Polar 5 auf die Untersuchung der Atmosphäre und der Wolken über dem Arktischen Ozean. Von vorhergehenden Untersuchungen war bekannt, dass Wolken maßgeblich zur rasanten Erwärmung der Arktis beitragen. Neben dem AWI, den Universitäten Leipzig, Köln, Mainz und Clermont-Ferrant erforscht ein Team der Abteilung Wolkenphysik am DLR mit Hilfe spezieller Wolkensonden mikrophysikalische Eigenschaften. Dies sind zum Beispiel Tropfengröße, Eis- und Flüssigwassergehalt, Eiskristallform sowie Mischphasenwolken. Die Ergebnisse ergänzen die Beobachtungen der Fernerkundungssensoren. Besonders saisonale Effekte sind interessant für die Forscherinnen und Forscher, denn ihr Einfluss ist noch nicht vollständig geklärt.

Sobald die Polar 5 im Einsatzgebiet in den Wolken angekommen ist, bereitet das Team die Dropsonden vor, die die vertikalen Profile von Temperatur und relativer Feuchte in den verschiedenen Wolkenschichten vermessen. Tief unter dem Flugzeug sind Eisschollen von Drifteisfeldern zu sehen. Die Messinstrumente nehmen Datenreihe über Datenreihe auf und geben Aufschluss über den Wolkenaufbau: Die wesentlichen Wolkenschichten unterscheiden sich in ihrem Aufbau: Die untersten Wolken sind bei Temperaturen deutlich oberhalb des Gefrierpunktes diffus mit geringen Tropfenzkonzentrationen, darüber befinden sich Mischphasenwolken, in denen sowohl Flüssigwassertropfen als auch Eiskristalle unterschiedlichster Form vorkommen. Ein Kollege erwähnt, dass sich durch diese Daten irgendwann hoffentlich die Vorhersagegüte der Wettermodelle in diesen Breiten verbessern wird.

Nach einigen Stunden Messzeit geht es auf den Rückweg nach Spitzbergen, vorbei an der Forschungssiedlung Ny Alesund, wo im Sommer bis zu 130 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler meteorologische Untersuchungen und Permafrostforschung betreiben. Am Flughafen trifft der Messflieger Polar 6 fast zeitgleich ein.

120.000 neue Einblicke

Jetzt können die Teams endlich durchatmen, nicht nur weil die Überlebensanzüge abgelegt werden, sondern auch weil ein gehöriges Stück Anspannung abfällt: Während 120.000 MACS-Bilder mit einer Größe von fast zwei Terabyte kopiert und vorprozessiert werden, tauscht das Team Erinnerungen aus an die jahrelange Vorbereitung für diese Expedition. Am nächsten Morgen ist der Prozess abgeschlossen und das Speichermodul bereit für den nächsten Einsatz. Kann wetterbedingt kein Flug stattfinden, werden tausende Bilder gesichtet. Insbesondere die Thermalbilder sind eine wichtige Quelle für neue Erkenntnisse, denn sie zeigen Dinge, welche mit bloßem Auge oder auf den Bildern der anderen Kameras nicht erkennbar gewesen wären.

Während der zweiwöchigen Kampagne sind viele hunderttausend Bilder entstanden. Diese Daten werden genutzt, um Methoden der künstlichen Intelligenz zu trainieren und die Bildinformationen auch mit Hilfe solcher neuer Ansätze auszuwerten. Derartige selbstlernende Verfahren werden in Zukunft erforderlich sein, um die Menge an Bildern interpretieren und relevante Ergebnisse ableiten zu können. Der gesamte Datensatz wird interessierten Institutionen für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung gestellt. Das Kamerasystem wird kontinuierlich weiterentwickelt und für zukünftige Expeditionen vorbereitet. Indem solche Messungen mit anderen Disziplinen der Polarforschung verknüpft werden, zeichnen die Daten ein immer genaueres und besser verständliches Bild über Zustand und Entwicklung solcher sensibler Ökosysteme. Dementsprechend hofft das Team, zusammen mit Polar 5 und 6 den arktischen Breiten bald wieder einen Besuch abstatten zu können – für ein stets wachsendes Verständnis für Wasser und Eis.

Jörg Brauchle arbeitet am DLR-Institut für Optische Sensorsysteme und ist Projektleiter für das MACS-Kamerasystem, **Manuel Moser** forscht als Doktorand im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre im Bereich Wolkenphysik. Beide waren im Rahmen der MOSAIC-Kampagne in der Arktis unterwegs.

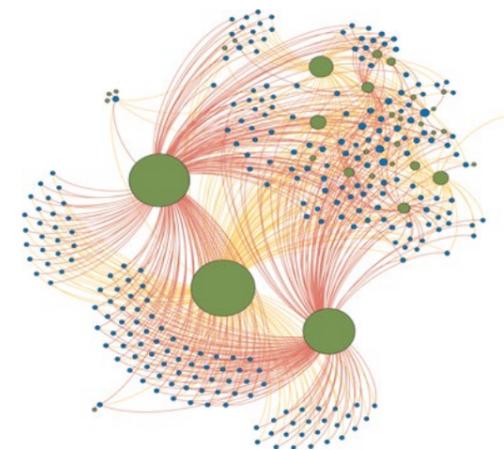


© DLR Raumfahrtmanagement

Um Kollisionen mit Weltraumschrott zu vermeiden, liefert das Radarsystem GESTRA verlässliche Daten für ein genaues Weltraumlagebild

WELTRAUMRADAR GESTRA BEREIT FÜR BETRIEB

Das Weltraumradar GESTRA (German Experimental Space Surveillance and Tracking Radar) kann Weltraumobjekte im erdnahen Orbit rund um die Uhr überwachen. Dort ziehen mehrere tausend Satelliten, Raumfahrzeuge und andere Objekte ihre Bahnen, aber auch hunderttausende Teile Weltraumschrott. Diese stellen aufgrund ihrer hohen Fluggeschwindigkeit eine Kollisionsgefahr dar. GESTRA wurde im Auftrag des DLR Raumfahrtmanagements vom Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik entwickelt und gebaut. Mit jeweils 256 einzeln elektronisch ansteuerbaren Sende- und Empfangseinheiten und einem mobilen Aufbau mit zwei getrennten Containern für Sender und Empfänger ist das System in seiner Komplexität einzigartig. Aktuell laufen die letzten Tests und Anfang 2021 soll das erste deutsche Weltraumradar auf dem Bundeswehrgelände Schmidtenhöhe bei Koblenz in den Regelbetrieb gehen.



Diese Visualisierung zeigt Änderungen am Quellcode der Corona-Warn-App. Die grünen Knoten zeigen Änderungen von Hauptentwicklern und die blauen Knoten Änderungen von Externen an einzelnen Dateien. Je größer der Knoten, desto mehr wurde geändert. Es wird deutlich, dass externe Entwicklerinnen und Entwickler an einzelnen Dateien vermehrt kleine Änderungen vorgenommen haben.

NEUE SICHERHEITSANALYSE FÜR CORONA-WARN-APP

Die DLR-Institute für Softwaretechnologie und Datenwissenschaften entwickeln gemeinsam eine automatisierte Methode zur Analyse von Entwicklungsprozessen der deutschen Corona-Warn-App. Die App wurde von SAP und Telekom Open Source entwickelt. Das bedeutet unter anderem, dass der Quellcode auch von Dritten einsehbar ist und an der Software mitgeschrieben werden kann. Eine solche Mitentwicklung von Dritten kann allerdings Sicherheitsrisiken bergen. Umso wichtiger ist es, Muster und Merkmale von Open-Source-Projekten zu verstehen und auf ihre Sicherheit zu überprüfen. Die DLR-Institute führen zurzeit kontinuierlich Sicherheitsanalysen durch. Die Ergebnisse sammeln sie in Datenbanken, um diese auszuwerten und eine detailliertere Einschätzung über die Sicherheit der Corona-Warn-App abzugeben. Bislang ist die Entwicklungshistorie unauffällig. Diese Methode soll auch bei künftigen Open-Source-Projekten angewandt werden. Die Institute arbeiten außerdem daran, zu verstehen, wann sich ein kollaborativer Entwicklungsansatz von Softwareprojekten lohnt und wann das Sicherheitsrisiko durch die Mitentwicklung Dritter zu hoch ist.

ICH SEHE WAS, WAS DU NICHT SIEHST

Mit einem neuen Teleskop will das DLR Weltraumschrott analysieren

Über 30.000 Objekte > 10 cm
1 Million Objekte 1 cm – 10 cm
Über 100 Millionen Objekte 1 mm – 1 cm

Gesamtmasse aller
Objekte im Erdorbit:
über 9.000 Tonnen

Typische Kollisions-
geschwindigkeit in
niedrigen Erdorbits
liegt bei 36.000 km/h

Die ISS musste in 2020 schon
DREI MANÖVER
ausüben, um eine Kollision
mit Weltraumschrott
zu vermeiden
(November 2020)

Defekter Satellit

Höhe: 14,8 Meter

Sendeteleskop

Kuppel

Der **Fangspiegel** reflektiert das Streulicht vom Schrottojekt auf die Detektoren

Der **Hauptspiegel** (optischer Durchmesser 1,75 Meter) fängt und fokussiert das vom Weltraumschrott gestreute Licht

Vier **Sensorausgänge** für Detektor- und Analysensysteme

Kardanische Aufhängung für schnelle und genaue Nachführung auf überfliegende Objekte

Coudé-Raum für zusätzlichen Laser, dessen Strahl sich über den Hauptspiegel senden lässt

Eintrittsöffnung für den Strahl des zusätzlichen Lasers vom Coudé-Raum zum Hauptspiegel

DAS NEUE WELTRAUMSCHROTT-FORSCHUNGSOBSERVATORIUM

Im Nordschwarzwald entsteht eines der größten Teleskope Europas zur Beobachtung von Weltraumschrott. Mit dieser Forschungs- und Entwicklungsplattform will das DLR-Institut für Technische Physik Umlaufbahnen von Schrottojekten bestimmen und die Beschaffenheit der Trümmerstücke im All untersuchen. Zudem möchten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen, wie sich die Schrottojekte mit Laserstrahlen so aus ihrer Umlaufbahn ablenken lassen, dass sie in der Erdatmosphäre verglühen.

Das neue Observatorium kann Satelliten und Schrottojekte bis rund zehn Zentimeter Größe orten. Dazu werden die Objekte mit einem gepulsten Infrarotlaser

angestrahlt. Das zurückgestreute Licht wird vom Teleskop eingefangen und die Entfernung der Objekte aus der Laufzeit des Lichts bis auf einen Meter genau bestimmt.

Der große Teleskopdurchmesser von knapp zwei Metern ermöglicht es den DLR-Forscherinnen und -Forschern, die Spektren und die Polarisation von Sonnenlicht zu messen, das von den Schrottteilchen reflektiert wird. Aus der Farbverteilung vom sichtbaren Licht bis ins Infrarot lässt sich auch das Material des Weltraumschrotts ermitteln. Zudem lassen sich Alterungsprozesse untersuchen, die durch hochenergetische Sonnenstrahlung verursacht werden. Das DLR-Observatorium soll im Frühjahr 2021 betriebsbereit sein.

AUSSERIRDISCHES SCHWERGEWICHT

Ein Steinmeteorit von der Schwäbischen Alb verrät Geheimnisse des Sonnensystems

von Ulrich Köhler

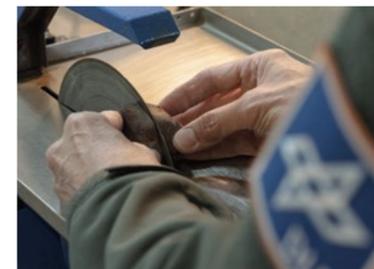


Blaubeuren fristete in einem Vorgarten als unerkannter Ausgrabungsfund seit 1989 ein Dornröschendasein, ehe der Brocken als schwerster in Deutschland gefundener Steinmeteorit erkannt wurde. Für die Planetenforschung sind Meteoriten immer wieder aufs Neue ein Glücksfall: Sie gewähren Einblicke in die Zeit vor viereinhalb Milliarden Jahren, als die Planeten entstanden. Werden sie von Laien aufgestöbert, ist dies eine der aufregendsten Formen von unverhoffter „Citizen Science“ – und das fast zum Nulltarif.

Der Zufall schreibt immer noch die besten Geschichten. Der Brocken im Vorgarten von Hansjörg Bayer in Blaubeuren, einem Kleinod westlich von Ulm mit der berühmten, unergründlich tiefen Blautopf-Karstquellhöhle, war 2015 schon auf dem Anhänger zur Entsorgung gelandet, als der Finder die „göttliche“ Eingebung hatte: „Und den behalte ich doch!“ Nach weiteren fünf Jahren entschied er: „Jetzt frag ich mal beim DLR nach, was das ist!“

So erhielt das DLR-Institut für Planetenforschung im Januar einen Anruf: „Ich habe da einen ganz ungewöhnlich massiven Stein“, schilderte Hansjörg Bayer. „Den habe ich 1989 beim Ausheben eines Kabelkanals gefunden. Bei uns im Oberen Schwäbischen Jura gibt es so schwere, dunkelbraune Steine nicht. Könnte das ein Meteorit sein?“

Anfragen dieser Art erhalten die Berliner Planetenforscher ständig. Alle werden bearbeitet, doch in den meisten Fällen müssen die Finder enttäuscht werden. Fast immer handelt es sich um „Meteowrongs“, keine Meteoriten, sondern Hochofenschlacke, Asphaltbrocken oder Abraum von Erzgruben – Steine irdischen Ursprungs. Unter mehr als 2.000 Anfragen in 15 Jahren waren gerade einmal drei Meteoriten. Bei zweifelhaften Befunden kommt Dieter Heinlein ins Spiel, ein Wissenschaftler, der seit Jahrzehnten für das DLR das Feuerkugelnetz betreut. Dessen DLR-Kameras zeichnen nachts in Mitteleuropa bei klarer Sicht die Leuchtspuren von Meteoren auf. Aus ihnen lässt sich die Herkunftsregion von Meteoroiden bestimmen, in die Hochatmosphäre eindringende Gesteins- oder Metallbrocken aus dem Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter. Oder sogar bei Boliden, den größten, nach einigen Sekunden zerplatzenden Feuerkugeln, der Ort eines möglichen Meteoritenfalls geometrisch rekonstruieren. Dann beginnt die Jagd nach dem jüngsten „Fall“ eines kosmischen Eindringlings.



Größter Steinmeteorit Deutschlands

Im Kellerlabor seines Hauses in Augsburg führt Dieter Heinlein Untersuchungen an potenziellen Meteoriten durch. Dort sägte er ein 23,4 Gramm schweres Fragment an, das von Blaubeuren abgeplatzt war. Der erste Eindruck mit der Handlupe war so verblüffend wie eindeutig: In einer Matrix von millimetergroßen Chondren, silikatische Schmelzkügelchen, typisch für die Meteoritenklasse der Chondriten, zeigte der Anschnitt im Spiel mit dem Licht glänzende, spiegelnde Metalleinschlüsse: Was Hansjörg Bayer 1989 mit viel Mühe aus dem gut konservierenden Blaubeurer „Loima“ (Lehm) gewuchtet hatte, war definitiv ein Meteorit. 30,67 Kilogramm schwer, 29 mal 25 mal 20 Zentimeter groß, mit einer Dichte von 3,34 Gramm pro Kubikzentimeter. Dieter Heinlein hat alle 52 in Deutschland gefundenen Meteoriten im Kopf: „Sensationell! Der Fund in Blaubeuren hat fast die doppelte Masse des Benthullen-Meteoriten in der Nähe von Oldenburg!“

Zehntausend Jahre im Juraboden

Mit größter Diskretion wurden die weiteren Untersuchungen in Speziallaboren durchgeführt: Zunächst sägte ein Mindelheimer Steinmetzmeister eine kleine Ecke vom Hauptfund ab. Addi Bischoff von der Universität Münster fertigte davon Dünnschliffe für das Polarisationsmikroskop an und klassifizierte den Fund als H4-5-Brekzie mit Schockstufe S2. Das bedeutet, dass der Steinmeteorit im All keine starken Kollisionen erlebt und einen hohen Metallgehalt hat. Die Einschlüsse sind eine Legierung aus Eisen mit zehn Prozent Nickel.

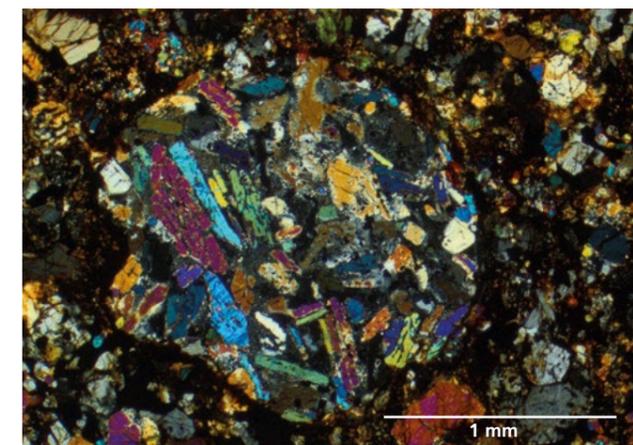
Timothy Jull an der Universität Tucson (Arizona) und Silke Merchel am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf ermittelten die Konzentrationen langlebiger Radionuklide wie Kohlenstoff-14 oder Beryllium-10 des Meteoriten. Sie geben Hinweise auf sein „irdisches“ Alter: Die starke Verwitterung lässt vermuten, dass der Meteorit vor etwa zehntausend Jahren, im Frühmesolithikum, als tonnenschwerer Meteoroid in die Erdatmosphäre eingedrungen ist, durch Abrieb die meiste Masse verlor und dann auf die Schwäbische Alb fiel.

Für die Planetenforschung sind solche Meteoritenfunde stets aufs Neue eine willkommene Ergänzung zu den Erkenntnissen, die mit Raumsonden ganz gezielt und mit großem technischem und finanziellem Aufwand an den Himmelskörpern des Sonnensystems gewonnen werden. So widerlegte die Vielzahl der unterschiedlichen Klassen, in die alle 19.000 auf der Erde gefundenen Meteorite eingeteilt werden, die Theorie, dass es einen einzelnen planetaren und dann zerborstenen Mutterkörper zwischen Mars und Jupiter gegeben haben soll. Der Prozess der Planetenentstehung ist dort vielmehr mit der Bildung von Planetesimalen, unzähligen kleinen Mutterkörpern der Meteorite und Meteoriten, zum Stillstand gekommen. Jeder neue Fund fügt hier dem Wissensstand weitere Details hinzu. Darüber hinaus sind die seltenen, zufälligen Funde von Meteoriten oder eine gezielte Suche nach ihnen auf der Grundlage von Feuerkugel-Beobachtungen ein im wissenschaftlichen Ertrag ergiebigeres Beispiel für sogenannte Citizen Science. Blaubeuren ist hier ein besonders schönes, zumal von einer außergewöhnlichen Anekdote „garniertes“ Beispiel dafür, wie die Beteiligung von Laien die Datenbasis zur Untermauerung von Forschungsergebnissen erweitert.

Ulrich Köhler ist Planetengeologe am DLR-Institut für Planetenforschung und dort zuständig für die Öffentlichkeitsarbeit. Der Fund in Blaubeuren wärmte sein schwäbisches Forscherherz wie nur wenige Ereignisse seines Berufslebens.



Dieter Heinlein studierte in seiner fränkischen Heimat an der Universität Erlangen Physik und Astronomie. Nach einer Zeit am dortigen Institut für Theoretische Physik machte er sich selbstständig. „Astronomie zum Anfassen“ faszinierte ihn mehr als theoretische Modellierungen „unsichtbarer“ kosmischer Phänomene. Also widmete er sich von nun an seiner Liebe zu Meteoriten, die zu sammeln er schon als Jugendlicher begonnen hatte. Das war damals in einer überschaubaren Szene gar nicht so leicht, denn einen professionellen Markt für Meteoriten gab es noch nicht. Stattdessen wurden Tauschgeschäfte mit Museen abgewickelt. Mit seiner Sammlung von Originalen, aber auch selbst angefertigter 1:1-Abgüsse bedeutender Funde, ist Dieter Heinlein aufgrund seiner umfassenden wissenschaftlichen Kenntnisse auch international eine anerkannte Größe (mit sehr viel Enthusiasmus unterstützt von seiner Frau Gabriele). Sein Wissen ist bei Vorträgen oder den international bedeutenden Münchner Mineralientagen (heute die „Munich Show“) gefragt. Für das DLR leistet er seit vielen Jahren neben der Betreuung der Feuerkugel-Kameras wertvolle Arbeit als Gutachter von vielen sehr speziellen Meteoritenfällen – wie auch bei „Blaubeuren“.



Unter dem Polarisationsmikroskop zeigen die Dünnschliffe des Blaubeuren-Meteoriten zahlreiche auskristallisierte Schmelztröpfchen mit runden Umrissen. Diese sogenannten Chondren, millimeterkleine Silikatkügelchen, geben der Meteoritenklasse der „Chondrite“ ihren Namen.

Dialogportal des Berliner DLR-Instituts für Planetenforschung zur Meldung von Meteoritenfunden, zur Bestimmung von Meteoriten sowie zum DLR-Feuerkugelnetz:

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



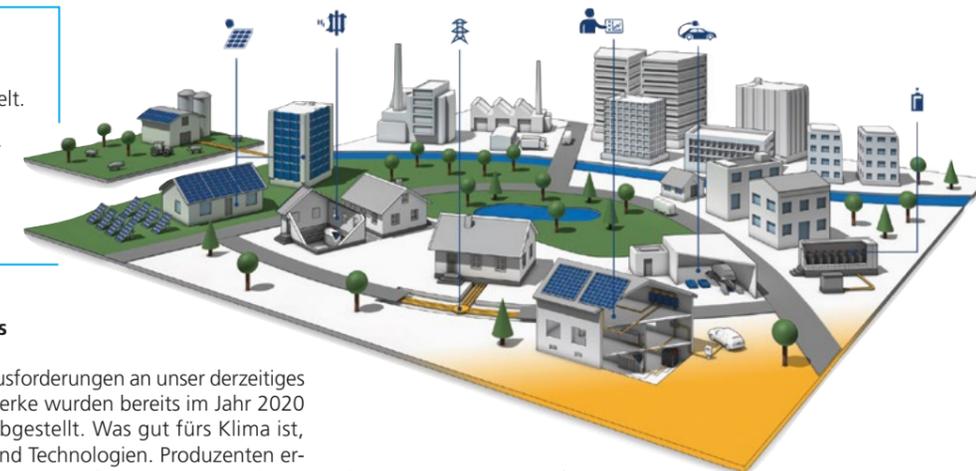
EINE GANZE STADT IN EINEM LABOR

Im NESTEC wird die Energieversorgung der Zukunft erprobt

von Jana Hoidis

Stromnetze, Sinuskurven und allerhand wissenschaftliche Messdaten – zwei Wissenschaftler verfolgen gespannt die Anzeigen auf den acht großen Monitoren. „Das ist die Netzleitwarte unseres NESTEC-Labors“, erklärt DLR-Ingenieur Jan Petznik, „mit ihr können wir den Leistungsfluss von Verbrauchern und Erzeugern bis in einzelne Haushalte abbilden.“ Petznik ist der Laborleiter des 2019 am DLR-Standort Oldenburg eröffneten Emulationszentrums für Vernetzte Energiesysteme (NESTEC). Das Stromnetz innerhalb des Labors ist ein in sich abgeschlossener Bereich. Spannung und Frequenz lassen sich darin frei variieren. Neben Simulationen kann mit der Leistungselektronik im NESTEC Hardware von beispielsweise Windkraftanlagen oder ganzen Haushalten nachgebildet werden. Dieser Vorgang nennt sich „Emulation“. Auch echte Hardware kann mit in die Versuche eingebunden werden, zum Beispiel die Ladesäulen für Elektrofahrzeuge auf dem Gelände. Möglich wird dies durch das Echtzeitsystem. Miniaturisierte Stadtquartiere mit Gebäuden, Netzen und Ladestationen werden im Labor virtuell abgebildet und untersucht. So können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Regelungen von zukünftigen Energieversorgungssystemen erproben oder auch neue Komponenten in realen Umgebungen testen.

In der zukünftigen Smart City sind die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität eng miteinander gekoppelt. Indem Erzeuger und Verbraucher mehr Informationen untereinander austauschen, werden die verfügbaren Ressourcen wie Sonnenenergie besser ausgenutzt.



Transformation des Stromnetzes

Die Energiewende stellt große Herausforderungen an unser derzeitiges Stromnetz. Zahlreiche Kohlekraftwerke wurden bereits im Jahr 2020 aus Gründen des Klimaschutzes abgestellt. Was gut fürs Klima ist, benötigt neue Regelungsansätze und Technologien. Produzenten erneuerbarer Energien – wie etwa Betreiber von Fotovoltaik- oder Windkraftanlagen – sind von Witterungsbedingungen abhängig. Die Sektorenkopplung, also die Verzahnung von Strom, Wärme und Mobilität, ist ein weiterer Grund für einen sich ändernden Verbrauch. Zusätzliche Energie wird benötigt, um Elektroautos aufzutanken oder Wärmepumpen zu betreiben. Morgens möchten die meisten Menschen aber weiterhin unter eine heiße Dusche, mittags soll eine warme Mahlzeit auf dem Herd gekocht werden, am Nachmittag laufen Waschmaschine, Trockner und der Fernseher. Ob die Sonne scheint oder der Wind weht, beeinflusst zukünftig immer stärker, wann wie viel Energie in das Versorgungsnetz eingespeist wird. Allerdings richten sich weder Sonne noch Wind nach den menschlichen Bedürfnissen. Neue Ansätze müssen also her, um die Netze stabil zu halten und die Energieversorgung intelligenter zu machen. Mit dem NESTEC-Labor kann in einem abgeschirmten Bereich nach neuen Lösungen geforscht werden.

In der Vergangenheit war es meist so, dass der Strom nur in eine Richtung durch das Netz floss: nämlich vom Kraftwerk zum Verbraucher, also zu Gebäuden oder Fabriken. Zukünftig werden Quartiere nach dem Konzept der Smart City gebaut. Ein Projekt, an dem auch das DLR beteiligt ist, ist das energetische Nachbarschaftsquartier im alten Fliegerhort in Oldenburg. Energieerzeuger und -verbraucher in räumlicher Nähe zueinander bilden einen Verbund und verteilen die Energie untereinander. Fotovoltaikanlagen auf Einfamilienhäusern, Elektrofahrzeuge oder strombetriebene Heizungen sind nur einige Beispiele aus den verschiedenen Sektoren Strom, Wärme, Mobilität. Das Netz dafür muss sehr flexibel sein und der Strom in alle Richtungen fließen können. Jan Petznik erklärt, welchen Vorteil es hat, solche Quartierskonzepte im NESTEC zu untersuchen: „Durch den Mix aus Simulation und emulierter Hardware können wir Effekte auf das lokale und das übergeordnete Stromnetz sehr genau abbilden und beispielsweise Lastspitzen ermitteln. So können wir ein Quartier im Labor über die Hardware darstellen und gleichzeitig im Computer das Verteilnetz der höheren Spannungsebene als Modell laufen lassen.“ Derartige Systeme könnten später auf bereits bestehende Quartiere übertragen werden, um sie so zum Smarten Quartier aufzuwerten.

Heute Ladesäule, morgen Windpark, übermorgen Smart City

Der rund 180 Quadratmeter große Laborkomplex ist über einen eigenen 800-Kilovolt-Ampere-Trafo an das Mittelspannungsnetz angeschlossen. Bis zu 18 Netzteilnehmer, darunter Häuser, Batteriespeicher, Elektroautos oder Windkraftanlagen lassen sich emulieren. Hinzu kommen neun Fotovoltaikwechselrichter verschiedener Hersteller und ein 30 Kilovolt-Ampere Synchrongenerator. Bis zu zwei Kilometer lange Stromleitungen lassen sich im NESTEC über Leitungsnachbildungen realistisch darstellen. Dies sind die Komponenten, die auch im Energiesystem einer typischen Smart City im Jahr 2050 zu finden sein werden. Zudem lassen sich reale technische Komponenten aus dem Wärmebereich berücksichtigen. Dafür können Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung und Wärmepumpen an zwei Testständen des Instituts direkt in das geschlossene Netz des NESTEC eingebunden werden.

Wie kann nun das zukünftig durch erneuerbare Energien gespeiste Stromnetz genauso stabil bleiben und zusätzlich effizienter werden? Ein Beispiel dafür wäre eine intelligente Versorgung, die mit den einzelnen Teilnehmenden kommuniziert und den Strom nach Prioritäten selbst verteilt. Zu bestimmten Zeiten laufen in privaten Haushalten viele Elektrogeräte gleichzeitig. Die Netzauslastung ist dann schon sehr hoch. Wenn dort dann noch mehrere Elektroautos an die Steckdose gehängt würden, um sie zu laden, könnte das Netz an seine Belastungsgrenze geraten oder diese sogar überschreiten. Die Vision der Forscherinnen und Forscher für ein solches Szenario ist, dass die Autos den Ladesäulen mittels künstlicher Intelligenz mitteilen, wann sie wieder einsatzbereit sein müssen. Ein selbstlernendes System erkennt das Ladeverhalten der Autobesitzer und teilt die Leistungen entsprechend zu oder verschiebt Ladevorgänge zeitlich nach hinten. Zugleich ermitteln Algorithmen über kurzfristige Wetterprognosen die zukünftig verfügbare Energie von lokalen Erzeugern wie der eigenen Fotovoltaikanlage. Dies entlastet die Netze und der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehrssektor könnte ausgebaut werden. Das NESTEC ist eine ideale Umgebung, um solche Systeme zu entwickeln und zu testen.

Jan Petznik fasziniert besonders die Flexibilität seines Labors: „Heute testen wir Schnellladesäulen, morgen ein ganzes Smart-City-Quartier und einige Tage später die Digitalisierung der elektrischen Netze sowie neue Marktmodelle für den Stromhandel. Diese Möglichkeiten zu haben, ist einzigartig und macht den Arbeitsalltag so spannend und herausfordernd.“

Jana Hoidis ist im DLR mit der Kommunikation für die Standorte Nord (Hamburg, Bremen, Bremerhaven und Oldenburg) betraut.



Eine der Ladesäulen des DLR-Standorts Oldenburg ist in einen Versuch eingebunden. Jan Petznik überwacht die wichtigsten Daten des Ladevorgangs.



DURCH BILDUNG DIE WELT VERÄNDERN

Der Weg in eine nachhaltige, gerechte und inklusive Zukunft

von Stefanie Huland

Spätestens seit der „Fridays for Future“-Bewegung ist ein Wort in aller Munde: Nachhaltigkeit. Das Ziel nachhaltigen Verhaltens begegnet uns inzwischen in allen Lebensbereichen. Wie vielfältig das Thema ist, zeigt eine Serie, in der vom DLR Projektträger (DLR-PT) Beispiele aus seiner Arbeit in diesem Kontext vorgestellt werden. In Folge vier geht es darum, wie Nachhaltigkeit im Bildungssystem verankert werden kann.

Nachhaltigkeit fängt mit Bildung an. Nur wer die Handlungsweisen und Mechanismen einer globalisierten Welt versteht, kann ein ökologischeres und sozialeres Leben mitgestalten. Die Vereinten Nationen unterstützen dieses Ziel mit den zwei UNESCO-Programmen zu „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ (BNE), die beide auch in Deutschland umgesetzt werden. Astrid Fischer, Abteilungsleiterin für Kulturelle und politische Bildung, Bildung für Nachhaltigkeit beim DLR Projektträger, und ihre Kollegin Kathrin Walz arbeiten gemeinsam mit zahlreichen Partnern daran, BNE in den entsprechenden Strukturen zu verankern und eine nachhaltige Welt für die Generationen von morgen zu schaffen.

Dr. Astrid Fischer ist Abteilungsleiterin „Kulturelle und politische Bildung, Bildung für Nachhaltigkeit“ und seit 2001 im DLR Projektträger mit verschiedenen Bildungsthemen und -programmen befasst. Sie arbeitet im Fachbereich „Bildung, Gender“ des DLR Projektträgers.



Kathrin Walz ist seit 2018 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Koordinierungsstelle „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ und leitet diese fachlich. Sie war bereits seit 2011 im Themenfeld in einer Nichtregierungsorganisation tätig. Sie arbeitet im Fachbereich „Bildung, Gender“ des DLR Projektträgers.



Was genau steckt hinter der Idee des Projekts?

Fischer: „Bildung für nachhaltige Entwicklung“, oder kurz BNE, ist ein Schlüssel zur Verwirklichung der UN-Nachhaltigkeitsziele, indem Menschen zu zukunftsfähigem Denken und Handeln befähigt werden sollen. Uns muss bewusst werden, wie unsere Entscheidungen andere betreffen, wie sie die jetzigen Generationen und auch die Welt unserer Kinder und Enkelkinder bestimmen. Was bedeutet es zum Beispiel, wenn ich aus teilweise monatlich wechselnden Kollektionen neue (Wegwerf-)Mode kaufe? Und was macht es für einen Unterschied, wenn ich nachhaltige Produkte erwerbe oder Second-Hand-Kleidung? Welche Art von Energie nutze ich? Mit welchem Verkehrsmittel bin ich unterwegs? All das hat dauerhafte Auswirkungen auf das Klima und unseren Planeten. Die Menschen müssen dazu befähigt werden, die Auswirkungen ihres Handelns zu überblicken, zu verstehen und hoffentlich anzupassen. Ziel ist es, dass jeder Mensch das Wissen, die Fähigkeiten, die Werte und die Einstellungen erwirbt, die er braucht, um seinen Teil zu einer friedlichen, nachhaltigen gesellschaftlichen Struktur beizutragen.

Wie wird das in Deutschland umgesetzt?

Walz: Die Bundesregierung hat gemeinsam mit über 300 Akteurinnen und Akteuren aus Bund, Ländern und Kommunen sowie aus Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft Ziele und Maßnahmen für die unterschiedlichen Bildungsbereiche in Form eines Nationalen Aktionsplans BNE formuliert und verabschiedet. Auf diese Weise soll BNE überall strukturell verankert werden, beginnend bei der frühkindlichen Bildung, über die Schulzeit bis in die Zeit nach der Erwerbsphase – ein Leben lang. Der DLR Projektträger ist seit 2016 an der Seite des federführenden Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) dabei. Wir sind mit allen Akteurinnen und Akteuren in Kontakt und unterstützen die Arbeit in den zahlreichen Gremien etwa dadurch, dass wir inhaltliche Impulse geben und die Treffen fachlich begleiten. Außerdem sind wir Ansprechpartner für Förderprojekte wie beispielsweise ein Monitoring-Projekt der Freien Universität Berlin. Bei uns laufen insofern unglaublich viele Informationen und Stränge zusammen, auf deren Basis wir dann unter anderem das BMBF beraten und unterstützen.

Wie verankert man Nachhaltigkeit in der Bildung? Können Sie ein Beispiel nennen?

Walz: Grundsätzlich steht BNE für einen ganzheitlichen Ansatz. Nachhaltigkeit soll fest im Alltag eines jeden Lernorts vertreten sein. Dies könnte bei einer Kita so aussehen: Bei der Gestaltung der Außenanlagen werden alle Beteiligten (auch die Kinder) miteinbezogen und es werden eine Insektenwiese sowie ein Nutzgarten angelegt. Beim Mittagessen wird das Gemüse aus dem Garten verwendet.

Bei der Beschaffung von Spielsachen werden Nachhaltigkeit, fairer Handel und Regionalität mitgedacht und umgesetzt. Darüber hinaus ist BNE Teil der Mitarbeitendenführung, des pädagogischen Konzepts, des Leitbildes und der Weiterbildungsmöglichkeiten. Als Mitglied der Gemeinschaft kooperiert die Kita mit Sportvereinen, mit einem Seniorenheim um die Ecke oder mit der Gemeindeverwaltung zum Thema Mobilität. Mit Schulen oder Migrant*innenorganisationen werden gemeinsam Projekte durchgeführt. Um dies alles zu ermöglichen, ist es essenziell, dass BNE deutschlandweit in den Strukturen verankert wird, genau daran arbeiten wir.



Ein besonderer Schwerpunkt des BNE-Aktionsplans liegt auf der Einbeziehung der jungen Generationen

Würden Sie sagen, dass die Corona-Pandemie das Thema Nachhaltigkeit noch einmal befeuert?

Fischer: Die Pandemie führt auch zur Fokussierung, zur Bewusstseins-schärfung. Sie wirkt teilweise wie eine Lupe, da wir verschiedene Lebenssituationen ganz genau betrachten. Wir konnten alle mit eigenen Sinnen erfahren, was es ausmacht, wenn auf einmal weniger Autos auf den Straßen unterwegs sind und wir in einen deutlich klareren Himmel blicken. Und wir konnten feststellen, dass neue Formen des Miteinanders – insbesondere virtuelle Formen der Begegnung – entstehen, die wir für die Zukunft prüfen und sichern sollten. Natürlich ist das nur eine Momentaufnahme, aber sie birgt die große Chance, an genau diesen Stellen anzusetzen und die Sensibilität, die hoffentlich bei den Menschen entstanden ist, konstruktiv zu nutzen.

Stefanie Huland arbeitet in der Unternehmenskommunikation des DLR Projektträgers.

In der kommenden Ausgabe des DLRmagazins zeigt der DLR-PT, wie die Förderung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern die Gesellschaft verändern kann.



DAS MEER, DER MENSCH UND DIE SEE

Ein Besuch im Deutschen Schiffahrtsmuseum
von Peter Zarth

Das Deutsche Schiffahrtsmuseum (DSM) – Leibniz-Institut für Maritime Geschichte in Bremerhaven – ist eines von acht deutschen Forschungsmuseen der Leibniz-Gemeinschaft. Mehr als 80 Prozent seines Etats fließen in wissenschaftliche Projekte. Diese nationale Institution zeigt die Bedeutung des Meeres, der Schifffahrt und den Umgang des Menschen mit der See über Jahrhunderte auf. In dem von Hans Scharoun gebauten Architekturjuwel erhalten Besucherinnen und Besucher Einblick in die hier durchgeführten Forschungsarbeiten. Das DSM, ein Gebäude voller Licht, transparent wirkend, durch kluge Sichtachsen strukturiert, mit einem Erweiterungsgebäude von Dietrich Bangert. Berührt wurde der Autor dieser Zeilen aber von einer Geschichte, die kaum zu glauben ist.

Die See (falke)

Wir sitzen in der Mannschaftsmesse der Seefalke. Die Seefalke ist ein Hochsee-Bergungsschlepper. Spuren auf dem dick lackierten, massiven Eichenholztisch rufen in Erinnerung, dass hier auch bei Starkwind und Sturm gegessen wurde, wenn das Schiff stampfte und schlingerte. Der Tisch ist unverrückbar montiert, die Platte mit verschraubten Schlingerleisten in Compartments geteilt. Nichts sollte rutschen, wenn das Schiff durch schwere See pflügte. Hochsee-Bergungsschlepper sind dafür ausgerüstet, Schiffen in Seenot zu Hilfe zu kommen. Dazu gehört es, sie bei schlechtestem Wetter zu bergen, zu schleppen, Brände zu löschen. Bei der Seefalke sorgen die 14 Millimeter dicken Stahlplatten der Außenhaut für Stabilität. Mächtige Trossenschutzbügel verhindern, dass sich schwere Schlepptrassen in Aufbauten verfangen. All das konnte nicht verhindern, dass sie selbst, wenn auch kriegsbedingt, gleich zweimal versenkt, aber auch wieder gehoben wurde. Seit 1970 ist sie außer Dienst und Teil des

Museumshafens. Sie könnte mit ihrer ungewöhnlichen Geschichte für einen Charakterzug des nationalen Deutschen Schiffahrtsmuseums stehen: klaren Kurs zu halten und, wo notwendig, einen neuen abzustecken. Es will sich von einem Technikmuseum zu einem Haus entwickeln, „in dem die großen kulturhistorischen Fragen gestellt werden“, sagt Sunhild Kleingärtner, Professorin für maritime Archäologie und Schiffahrtsgeschichte, die geschäftsführende Direktorin des DSM.

Das Ei

Die Seefalke war weltweit im Einsatz. Bezahlt wurde nur bei Erfolg: „No cure, no pay, hieß das“, sagt Sabrina Nisius; sie hat christliche Archäologie und byzantinische Kunstgeschichte studiert und führt durch Hafen und Museum. Nisius zeigt den Ort am Bug, wo sich ein Hühnerstall nebst Hennen befanden, die für frische Eier an Bord sorgten. Sie berichtet von Amateurfunkern, die heute auf der Seefalke Heimat gefunden haben. Solche Geschichten begeistern nicht nur Kinder, die das Museumsschiff längst erobert haben. Es ist eine außergewöhnliche Geschichte, die erzählt, wie die See und ein Schiff Menschen prägen können – und der Mensch das Meer.

Der Mythos

Wir sind mittlerweile vom Museumshafen in den Scharoun-Bau gegangen und lehnen an einem Geländer, von dem aus wir, wie von einer Reling, den Ursprung des Hauses bestaunen: Unter uns ruht, in einem Raum, der nur für sie geschaffen wurde, die Bremer Kogge. Sie genießt „in Wissenschaftskreisen einen beinahe mythischen Ruf“, schreibt Amandine Colson, Archäologin, Kunsthistorikerin, Restauratorin, in einem der Begleithefte des DSM, die zu Exponaten herausgegeben werden. Die Kogge ist das besterhaltene mittelalterliche Handelsschiff weltweit, eine Sensation, es gebe „nichts Vergleichbares“. Im Jahr 1962 ein Zufallsfund in der Weser. Für sie wurde die Nassholzkonservierung bei Schiffen perfektioniert. In konservierter Form wurde sie der Öffentlichkeit im Jahr 2000 vorgestellt – nach 38 Jahren, viele davon nur für die Bergung und mehr als 18 Jahre der Konservierung. Sabrina Nisius spricht mit einer Mischung aus wissenschaftlicher Sachlichkeit, Begeisterung, Hochachtung und Demut von dieser Eichenholz-Zeitzeugin menschlichen Wirkens und menschlicher Fähigkeiten.

Das Wasser

Wie konnte so etwas im Mittelalter geschaffen werden, wie eine so lange Zeit überdauern? Scheinbar einfache Fragen für die Forschung, die Antworten hingegen sind vielschichtig. Das Museum gibt viele. Nach dem Ondit eines Anonymus sind Faulheit und Langeweile Ursprünge menschlichen Fortschritts. Tatsächlich entspringt der aber oft der Not, dem Kampf um Ressourcen. So gab es immer



Wer sich auf das DSM einlässt, sollte viel Zeit mitbringen. Schon für das Außengelände – dort so unterschiedliche Exponate wie eine Harpunenkanone und der Hochsee-Bergungsschlepper Seefalke – dürfte ein Tag kaum reichen. Die (Schiffs)Modellsammlung des Museums ist legendär, neuerdings kommen hoch artifizielle digitale Modelle hinzu.

zu viel unüberwindliches Wasser. Dies führte den Menschen zum Schiffsbau. Weil es noch immer zu viel unüberwindliches Wasser gibt, wird am, mit dem und für das Schiff geforscht. Interessen, die mit dem Schiff in Beziehung stehen, sind beispielsweise Militärisches, Handelswege, Tourismus, Entdeckungen oder Forschung. Schiffe verbinden Mensch und Meer, sie verändern die Welt. Sehr vieles wird seit Jahrhunderten „vom Schiff aus“ gedacht. Das spiegelt die Grundausstellung „Planet Meer“ wider. Wie bedeutend Ozeane und Seefahrt sind, zeigt das Internationale Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen. Es regelt nahezu alle Teile des Seevölkerrechts und gibt Regeln für ein Gebiet vor, das geografisch betrachtet mehr als 70 Prozent der Erde umfasst. Um ein solches, Völker verbindendes Regelwerk zu erstellen, muss man seinen Gegenstand kennen und verstehen.

Das Meer

Dr. Frederic Theis, Archäologe, Historiker, Experte für frühneuzeitliche Schifffahrt und Navigation, arbeitet im Verbundforschungsprojekt „Karten – Meer. Für eine Geschichte der Globalisierung vom Wasser aus“. Theis führt das Aufkommen einer systematischen, wissenschaftlichen Erkundung der Ozeane und Küsten seit dem frühen 19. Jahrhundert, besonders durch Briten, auf eine menschliche Eigenschaft zurück: „Das hat auch ein bisschen mit Langeweile zu tun“, sagt er. Auch auf hartnäckiges Nachfragen bleibt er dabei: Historisch sei die Royal Navy nach Ende der Befreiungskriege im frühen 19. Jahrhundert zunächst deutlich unterfordert gewesen, habe nach neuen Aufgaben gesucht. Zudem habe Großbritannien aus wirtschaftlichen Gründen in

den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts ein weit höheres Interesse für das Meer und an neuen Märkten besessen als Binneneuropa. Dies habe damals zu ersten, kartografischen Kampagnen auf wissenschaftlicher Basis geführt, ausgerichtet von einer „sich langweilenden“ Königlich Marine. Das Ergebnis systematischer Kartografie von Küste und Ozeanen könne sich sehen lassen. Theis weist auf einen übersehenen, deshalb unterschätzten Aspekt hin: „Meereskarten machen die Welt und ihre Vernetzung greifbar, sie schaffen ein Verständnis für globale Zusammenhänge. Die aktuelle Ausstellung trägt den treffenden, mehrdeutigen Titel: „Karten Wissen Meer – Globalisierung vom Wasser aus“ (noch bis März 2021).

Das Land

Die Verbindung von Schiff und Meer zum Land, auf dem die Menschheit lebt, zieht Professorin Kleingärtner. Anfang der 1970er Jahre gab es in Deutschland kein der Schifffahrt gewidmetes nationales Museum mehr. Die Branche selbst, der Schiffsbau, lag im Sterben, sollte aber erhalten bleiben. Treibende Kräfte aus der maritimen Wirtschaft setzten sich für ein nationales Museum ein. Man brachte erkleckliche Beiträge darin ein – darunter eine der größten Sammlungen maritimer Kunst in Deutschland ebenso wie auch die Bark „Seute Deern“, ein im Wesentlichen zur Co-Finanzierung als Restaurantschiff vorgesehenes, Vollholzschiß. Scharoun erhielt den Bauauftrag. Er nahm Gedanken vorweg, die Gegenwart und Zukunft des Museums prägen: Der Bau müsse „sich einfügen, zum Beispiel in den Zusammenhang mit der Umwelt, dem Klima, der Landschaft“.

Dank der beeindruckenden Leistung von Bergungscrew, Restaurationsteam und zahlreichen fleißigen Händen konnten diese Planken der Nachwelt erhalten bleiben. 1380 wurde aus ihnen ein Schiff geschaffen, das 1962 in der Weser entdeckt wurde. Daraufhin folgten mehrere Jahre Bergungsarbeiten und 18 Jahre Restauration. Im DSM belegt die Bremer Kogge einen eigenen Saal.



© DSM/Nadida Khatymlianska

Nachwuchs wird vom Deutschen Schifffahrtsmuseum groß geschrieben. Im Bild halten „Rudergänger“ und „1. Offizier“ unter fachkundiger Anleitung den Hochsee-Bergungsschlepper Seefalke auf Museums-Kurs.

Das Schiff

Wer einmal in der Deutschen Bucht auf Reede liegende Schiffe gesehen hat, die deutlich länger als 300 Meter und oft breiter als 50 Meter sein können, im Jargon „Schuhkartons“ genannt, weiß: Die Zeit der christlichen Seefahrt ist passé. Gegeben hat es sie sowieso wohl nur im Kino. Fragen wirft diese Entwicklung aber auf: „Wie wollen wir leben in einer Welt solch großer Schiffe?“, fragt Kleingärtner. Wie kommen wir von einem reinen Technikmuseum zu einem Museum, in dem Fragen gestellt werden, die die Wechselwirkung und die Vernetzung der maritimen und der landseitigen Systeme und derer, die nicht maritim sind, betreffen? Unter dem Leitspruch „Mensch und Meer“ sollen andere Zugänge geschaffen werden, mit denen Objekte zum Sprechen gebracht werden. „Man schaut ja aus dem Passepartout, in dem man sich befindet“, sagt sie, „wir wollen aber auch aus der Perspektive der Besuchenden blicken und betreiben intensive Besucherforschung.“ Das partizipative Element des Hauses bezieht Zeitzeugen wie Bürgerbeteiligung ein. „Mit Multiperspektivität“ werde „der Blick auf die Exponate“ gerichtet. Sie stünden im Mittelpunkt der Vermittlung und der Forschungen, aber: „Wir gehen mit anderen Fragen an sie und an die großen Themen heran.“ Das schlägt sich in Projekten, Forschungsarbeiten und in einem ausgefeilten Vermittlungskonzept nieder, das Forschungsbezug explizit vorsieht. Aktuell sind es unter anderem Forschungsprojekte zur Provenienzforschung, zu historischen Zeitströmungen wie dem Kolonialismus – vom kolonialen Gut bis hin zu Sklavenhandel – aber auch kontextualisierende Fragestellungen, so zum Thema Verklappung von Munition auf See. Ein eigenes Projekt widmet sich Umzugsgut, das jüdischen Bürgerinnen und Bürgern genommen und über Häfen wie Triest, Antwerpen, Bremerhaven verschifft wurde.

Der Horizont

Sunhild Kleingärtner spart nicht mit Kritik: „In vielen Fällen ist das Meer ein blinder Fleck, es steht nicht im Mittelpunkt der Politik und Öffentlichkeit. Dabei bildet es einen wesentlichen Bestandteil im Leben.“ Auseinandersetzung finde nicht oder kaum statt. Als Forschungsmuseum biete man keine Lösungsansätze, aber Handlungs- und Basisinformationen. „Im Grunde versuchen wir, das Wissen, das schon in den Köpfen ist, um neue Perspektiven zu erweitern. Dies kann durch eine neue Szenografie und Gestaltung geschehen, durch den ganzheitlichen Ansatz, wie man ihn nur in Museen haben kann.“

„Mensch und Meer“ bedeute, Wechselwirkungen verständlich, nachvollziehbar und einleuchtend zu zeigen. In jede grafische Fassung dieses Museumsleitspruchs wurde bewusst eine – mal mehr, mal weniger schmale – Horizontlinie eingezogen. Bei einem Besuch des DSM wird klar, wer Horizonte zu überschreiten in der Lage ist.



© DSM

Der ideale Ort für das nationale Schifffahrtsmuseum: quasi „in“ der Wesermündung gelegen, die offene See in Sichtweite, eine der bedeutendsten Hafenstädte Deutschlands im Rücken. Die „Havenwelten“ der Seestadt Bremerhaven von oben. Vorn der Erweiterungsbau des DSM, dahinter der von Hans Scharoun entworfene – aus der Luft würfelig, innen ein Raumwunder.

Der Mensch

Kehren wir noch einmal zurück auf die Seefalke, ins Jahr 2019. Ein Zeitzeuge tritt, unterstützt von seinen Angehörigen, an das Museum heran. Er ist vor langer Zeit auf dem Hochsee-Bergungsschlepper gefahren. Nun ist er hochbetagt, ziemlich tüdelig, wie man im Norden sagt, und gebrechlich. Nach einigen Vorbereitungen kommt er zu „seiner“ Seefalke, nähert sich langsam, auf Krücken. Er schafft die hohe Bordwand nicht allein. Auf der Seefalke dann wackelige Schritte. Er schaut sich um, schlurft mal hier-, mal dorthin. Wie beiläufig legt er seine Stöcke aus der Hand. Unter einem von sehr vielen „Rauchen-verbieten“-Schildern beginnt er im Seemannsjargon zu ulken: „Gesmookt haben wir hier doch überall und immer ...“ Dann erklärt der alte Mann seinen Begleitern das Schiff und wie es war, im harten Einsatz, wie sie das Meer bei Sturm bezwungen, Menschen und Schiffe gerettet haben ... Von Bord geht er ohne Krücken, seine Gedanken sind nun klar wie die See.

Peter Zarth arbeitet im Bereich Politikbeziehungen und Kommunikation des DLR.

Deutsches Schifffahrtsmuseum – Leibniz-Institut für Maritime Geschichte

Hans-Scharoun-Platz 1
27568 Bremerhaven
Telefon: +49 471 482 07 0
info@dsm.museum

Öffnungszeiten

Museumsgebäude:
Täglich 10 Uhr bis 18 Uhr

Preise

Erwachsene: 6 Euro
Ermäßigt: 3 Euro

 dsm.museum



SCHÖNHEIT, WISSEN UND NEUGIER

Das Buch ist schön.

300 querformatige Seiten, gehalten von dicken Pappdeckeln. Die Illustrationen auf dem Cover in beige-grau-blauen Naturtönen hält ein azurfarbiger Leinenrücken zusammen. **Das Buch des Meeres (DUMONT)** lockt schon mit seinem Einband. Der erste Satz, den ich lese, lautet „Ein Sturm in höheren Breiten ist so unsagbar kalt ... er reißt einem buchstäblich die Haut vom Gesicht.“ Welcher Polarforscher berichtet hier? – Weit gefehlt, ein Arzt ist der Urheber: Sigismund Bacstrom, deutscher Chirurg und Übersetzer im ausklingenden 18. Jahrhundert. Dass er zudem noch zur See fuhr, brachte ihn in diese Sammlung von Skizzen- und Tagebüchern. Sein Name ist ebenso wenig bekannt wie die der meisten anderen gut fünf Dutzend hier vereinten Seefahrer und einigen wenigen in Männertracht an Bord geschmuggelten Seefahrerinnen. Die von Autor Huw Lewis-Jones zusammengetragenen Bilder sowie die begleitenden ein- bis zweiseitigen Texte erzählen hochspannende Geschichten. Und sie bringen Karten und Dokumentationen ans Licht sowie zum Teil kunstvolle Gemälde und Zeichnungen. Wie etwa jene von John Everett (1876–1949). „Künstler und Matrose haben vieles gemeinsam. Sie beide sind Vagabunden und Wanderer“, merkt der Maler und Seefahrer an, dessen Aquarelle und Tuschezeichnungen von Schiffen und Wolken einen besonderen Charme entfalten.

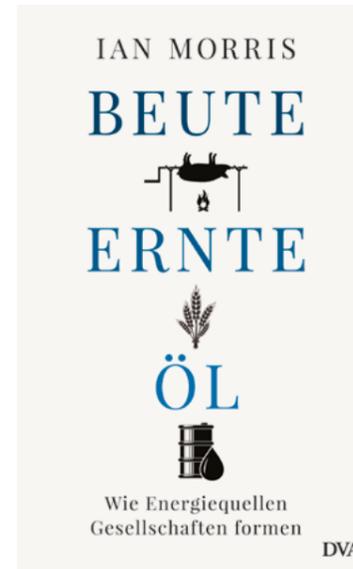
Das Buch macht klug.

Prächtige Karten, schlichte Skizzen von fernen Küsten, naturalistische Abbildungen von Fauna und Flora, Zeichnungen vom Schiffsinneren – jedes der kurzen Kapitel hält Wissenswertes bereit. Selbst Handlungsempfehlungen zur gesunden Lebensweise an Bord können wir lesen: In drastischen Bildern zeigt der irische Arzt Henry Mahon die dramatischen Auswirkungen von Skorbut auf die menschliche Haut und Gelenke. In den 300 Jahren zwischen 1500 und 1800 starben mehr als zwei Millionen Seefahrer an der heimtückischen Mangelkrankung. Mahon mahnt den Verzehr von Gemüse und Zitrusfrüchten an sowie sorgfältige Körperhygiene, saubere Kleidung und Bettwäsche. Wir erfahren, dass Bier aus der Rinde der Rimu-Harzeibe vorbeugend wirkt. Das Buch des Meeres führt auch aus, wie Francis Beauforts Windstärkenskala entstand, und zeigt uns Zeichnungen von Nacktkiemern, in Szene gesetzt von dem japanischen Künstler und Forschungsreisenden Kumatro Ito zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Wahrlich faszinierend.

Das Buch weckt Neugier.

Die sorgfältig präsentierten Tage- und Skizzenbücher zeugen von der starken Triebkraft der menschlichen Neugier, von unerhörter Risikobereitschaft, von Ausdauer und Mut. Und: Sie lassen uns innehalten für, so Don Walsh im Vorwort, „einen flüchtigen Blick auf die Wunder unserer Erde“. Am Ende des Bandes verharre ich bei einer eher unspektakulären, kindlich-naiven Zeichnung. Zu sehen ist ein Junge, den Matrosen an einem Tau an Bord eines Segelschiffs hieven, während unter ihm das Maul eines Hais klafft. Gezeichnet hat diese Szene eben jener Knabe 25 Jahre nach diesem Ereignis. Für seine Kinder. Nun sehen wir das Bild auf der fast letzten Seite im Buch des Meeres, direkt hinter der Danksagung. Symbolträchtig platziert!

Cordula Tegen



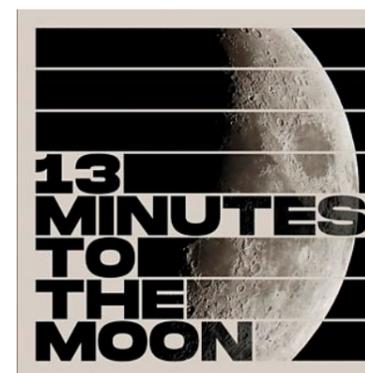
WECKRUF AN DEN GESUNDEN MENSCHENVERSTAND

„Erst das Fressen, dann die Moral“ heißt es frei nach Berthold Brecht – nach Ian Morris müsste es heißen: „Wie das Fressen, so die Moral“. In seinem im Januar 2020 bei der **Deutschen Verlags-Anstalt München** erschienenen Buch **Beute, Ernte, Öl. Wie Energiequellen Gesellschaften formen** vertritt Morris die These, jedes Zeitalter gelange zu den moralischen Werten, die es braucht. Menschliche Werte und Gesellschaftsformen hingen davon ab, wie wir unsere Energie gewinnen. „Beute, Ernte, Öl“ spiegelt in drei Teilen einen wissenschaftlichen Diskurs zwischen Archäologen, Historikern und Philosophen zur Entstehung unserer Grundwerte wider.

Morris skizziert eine Makrogeschichte der Menschheit von den Jägern und Sammlern über deren Sesshaftwerdung als Bauern bis zur globalisierten Industriegesellschaft. Er vergleicht soziale Strukturen, Arbeitsteilung, Geschlechterunterschiede wie auch Gewaltbereitschaft und leitet daraus sogar mögliche künftige Werte ab. Seine Zukunftsszenarien reichen von einer Chinesifizierung bis zur science-fiction-gleichen Bio-Technisierung, in der die Menschheit einen globalen Superorganismus formt. Zwei Historiker, eine Philosophin und die kanadische Romanautorin Margaret Atwood geben dem Diskurs einen philosophischen Blickwinkel.

Das Buch erscheint glaubwürdig, schlüssig und ist hervorragend strukturiert, auch wenn die Makrogeschichte etwas langatmig wirkt. Wissenschaftlich rational und dennoch lebendig, stellenweise durchaus süffisant und erheiternd zeigt sich die wissenschaftliche Auseinandersetzung. Morris überdenkt, verfeinert und erweitert seinen Standpunkt. Insgesamt provozierend, philosophisch und anregend macht dies den Reiz dieses lesenswerten Buches aus. Nicht unbedingt eine Freibad- oder Gute-Nacht-Lektüre, aber ein Werk, das dazu verleitet, seinen „gesunden Menschenverstand“ anzuwenden.

Jens Mende



ZEITREISE ZUM JAHRHUNDERT-COUNTDOWN

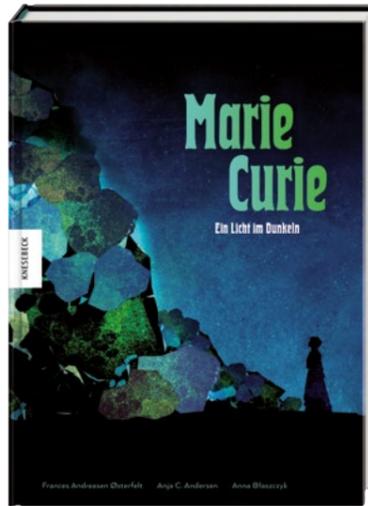
Dreizehn Minuten schwebte die Mondlandefähre Eagle im All, nachdem sie sich von dem Kommandomodul Columbia gelöst und ihre Triebwerke gezündet hatte. Dann landete sie auf der Mondoberfläche. Diese historischen Minuten der Kommunikation zwischen Houston, Columbia und Eagle sind der fesselnde Einstieg in den BBC-Podcast **13 Minutes to the Moon**. Die Serie, die zum 50. Jubiläum der amerikanischen Mondlandung produziert wurde, behandelt aber nicht nur diese wichtigen Minuten: Sie erzählt die Geschichte des ganzen Abenteuers Mondlandung, das über ein Jahrzehnt andauerte und darin gipfelte, dass Menschen erstmals den Erdtrabanten betreten.

Der Podcast umfasst 12 Folgen und eine Menge Zusatzmaterial, dabei viele, durchaus auch weniger bekannte Details der Apollo-Missionen bis zur ersten Mondlandung der Apollo 11. Eine zweite Staffel umfasst die Apollo-13-Mission. Durch die einzelnen Folgen führt BBC-Moderator Dr. Kevin Fong. Interviews mit Beteiligten und zahlreiche Original-Tonaufnahmen der NASA geben der Serie einen authentischen Charakter. Wer schon immer die Reise zum Mond miterleben wollte, kann das mit diesem Podcast tun – Gänsehautmomente garantiert.

Melisa Seyrek Intas

Link zum Podcast
bbc.co.uk/programmes/w13xttx2

LEBENSINIEN



Licht im Dunkeln

Die Silhouette einer zierlichen Frau, nur daumengroß am unteren Rand einer rechten Buchseite, scherenschnittartig schwarz, auf türkisfarbenem Grund. In ihrer erhobenen Hand ein winziges Licht in einem Reagenzglas. Über der zarten Frauengestalt windet sich spiralförmig ein Band aus diversen Laborgegenständen über die ganze Doppelseite. Die Reihe der Siebe, Mörserschalen und Versuchsanordnungen mit Brennern hat kein Ende. Ein Notizbuchausschnitt weist auf $Ra = 225,5$ hin. Radium. Für die Entdeckung dieses chemischen Elements gab es 1903 den Nobelpreis für Pierre Curie – und seine Frau, **Marie Curie (Knesebeck)**. So schlicht auch der Titel, ergänzt durch den trefflichen Untertitel **Ein Licht im Dunkeln**.

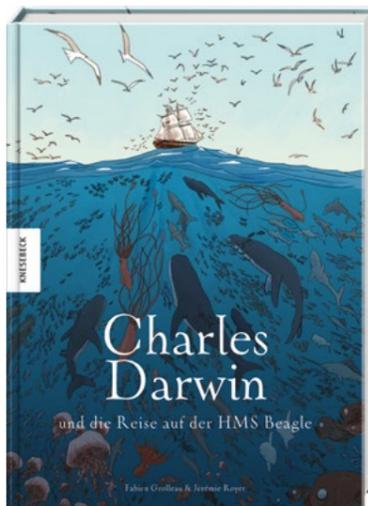
Die dänische Künstlerin und Drehbuchautorin Frances A. Østerfelt und Anja C. Andersen, Professorin am Nils Bohr Institut Kopenhagen, schufen gemeinsam mit der polnischen Illustratorin Anna Blaszczyk eine Comic-Biografie der europäischen Ausnahmeforscherin. Der sparsame, ebenso kluge wie emotionale Text bringt uns zusammen mit den farbstarke, aber nie aufdringlichen Bildern das Leben von Marya Skłodowska nahe, geboren 1867 als fünftes Kind einer Lehrerfamilie und später bekannt als Marie Curie. Die kantige Strichführung, oft auf dunklem Grund, sich überlagernde Bildszenen, unterlegte Raster, verbindende Ornamente und zarte Muster in kräftigen, aber gedeckten Farbtönen hinter oft schattenhaft agierenden Personen, sorgen für den ganz besonderen Reiz dieses 136-seitigen, man möchte schon fast Kunstwerks sagen. Gekonnt spielt die Illustratorin mit Mitteln der Persiflage, etwa wenn sie Maryas strengen Schulinspektor größer und größer werden lässt und er dabei Züge eines übermächtigen Schweins annimmt, dem sich die kleine Marya wie einem Sturm entgegenstemmt. Blaszczyks Hand fängt die Stimmung ein, wenn das Mädchen früh die Mutter verliert, und lässt den Betrachter staunen über das kluge hartnäckige Kind, das sich unter größten Anstrengungen den Pfad zu mehr Bildung bahnt. Die Illustratorin macht Enttäuschung nacherlebbar und weckt die Solidarität mit der jungen hochbegabten Frau, die sich als Gouvernante verdingen muss, weil nicht genug Geld fürs Studium da ist.

Die wunderbare Symbiose von Text und Bild dieser Graphic Novel trifft Herz und Verstand, weckt Empörung über die ausschließlich Männern vorbehaltene Wissenschaftswelt zu Beginn des 19. Jahrhunderts und macht den mühsamen Weg der Physikerin und Chemikerin zur ersten Professorin der Sorbonne spürbar. Am Ende der Lektüre stellt sich ein Gefühl der Genugtuung ein, wenn Marie Curie nach heftigen Schicksalsschlägen endlich nach Stockholm reist, um die Würdigung ihrer genialen, bis an die Grenzen der Belastbarkeit gegangenen Arbeit zu erfahren. Ein Buch, das in jeder Hinsicht begeistert und junge wie erfahrene Leserinnen und Leser in seinen Bann zu ziehen vermag. Ein wunderbares neues Licht am Himmel der Graphic Novels.

Fünf Jahre durch die wilde Welt

Mit einer weiteren Graphic Novel macht sich der **Knesebeck Verlag** um das Vermitteln von Wissenschaftsgeschichte verdient: **Charles Darwin**. Mit einer Fülle von Einzelbildern und den für Comics üblichen Sprechblasen lässt sich Darwins Reise auf der HMS Beagle von 1831 bis 1836 verfolgen. In Momentaufnahmen kommen der später als Evolutionsbiologe zu Ruhm gelangte Darwin und Mitstreiter seiner Forschungsreise zu Wort. Die beiden Franzosen Fabien Grolleau und Jérémie Royer setzten den hürdenreichen Prozess zur Erkenntnis über den Ursprung der Arten mit Bildern in warmen Erdfarben in Szene. Immer wieder machen sie auch die Widerstände gegen die revolutionäre Theorie Darwins deutlich. Ein Fest für Freunde traditioneller Comics, die Freude an Expeditionsreisen haben.

Cordula Tegen



RAUMSCHIFF IM BUCHFORMAT



Eine Reise durch das Universum – Entdecke das Weltall! (Tessloff)

ist ein wunderschönes Buch über den Weltraum, seine Entstehung und Erkundung, geeignet für junge Menschen und für alle, die sich ihre Neugier bewahrt haben. Es nimmt uns mit auf eine Reise durch Raum und Zeit, zu den Ursprüngen des Universums und damit unseres Seins.

Das Buch ist in seiner Breite und Tiefe außergewöhnlich und behandelt Themen aus Astronomie, Physik, Materialwissen-

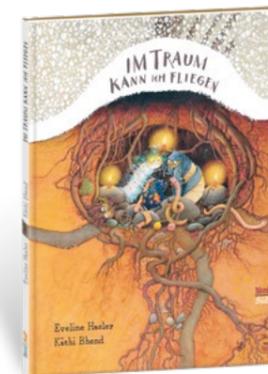
schaften und Medizin. Vom Sonnensystem mit den einzelnen Planeten und Monden über den Urknall bis zur Relativitätstheorie, schwarzen Löchern und Exoplaneten werden spannende und komplexe Themen anschaulich erklärt. Dabei stellen Analogien und Vorschläge für einfache Mitmach-Experimente einen Bezug zum Alltag her.

Die reich bebilderten Seiten sind liebevoll gestaltet, kurzweilig und spannend. Bei aller sachlichen Erklärung kommt aber auch der Humor nicht zu kurz: Gleich zu Beginn erfährt man, dass es sich eigentlich gar nicht um ein Buch handelt, sondern um ein als Buch getarntes Raumschiff. Folgerichtig werden die Leserinnen und Leser zu Passagieren, die auf ihrer kosmischen Gedankenreise alles selbst miterleben. Das fängt schon beim Start an, bei dem die Rakete die Crew ordentlich durchschüttelt, und die Schrift daher etwas verwackelt gesetzt ist. Wenn wir das Sonnensystem umrunden, sind die Zeilen kreisförmig angeordnet – schließlich dreht sich hier alles um unser Zentralgestirn. Und wenn es um schwarze Löcher geht, wirkt die ganze Seite wegen deren enormer Anziehungskraft seltsam verbogen und man wird darauf hingewiesen, mit der Nasenspitze besser nicht zu nah ans Buch zu kommen.

Woher kommen wir? Wohin gehen wir? Und welche Rolle spielen wir im riesigen Universum? Neben dem Reiz dieser großen Menschheitsfragen vermittelt dieses Buch auch einen Blick für die Schönheit und zugleich Zerbrechlichkeit unserer Erde und damit Respekt und Demut ihr gegenüber.

Prof. Dr. Arnulf Quadt

GEFLÜGELTE TRÄUME



Wer hat nicht schon einmal davon geträumt, wie ein Schmetterling über die Wiese zu fliegen? So geht es zumindest dem Engerling, der mit seinen Freundinnen und Freunden unter der Erde lebt. Diese bereiten sich gerade emsig auf den Winter vor und legen Vorräte für die dunkle Jahreszeit an. Alle, außer der Raupe Ria, die sagt: „Ich brauche nur Träume.“ Als sie eines Tages, es ist schon Frühling, nicht zur allabendlichen Kartentrunde kommt, machen sich die Freunde auf die Suche und entdecken Ria über der Erde als wunderschönen fliegenden Schmetterling, der dem Engerling zuruft: „Nur Geduld, Engerling, eines Tages kannst Du auch fliegen!“ So wird es wohl sein ...

Das im **NordSüd Verlag** erschienene Kinderbuch **Im Traum kann ich fliegen** ist eine Geschichte über die Natur sowie von Träumen und Freundschaft – wunderbar aufgeschrieben von Eveline Hasler und liebevoll bebildert von Käthi Bhand. Es ist ein „traumhaftes“ Bilderbuch für Entdecker-Kinder im Vorschul- bis Grundschulalter – zum Lesen und Vorlesen.

Tim Scholz

LINKTIPPS

LÜCKENLOSE PHILOSOPHIESTUNDE historyofphilosophy.net

Fast 500 Folgen zählt er schon, dieser Philosophie-Podcast. Beginnend mit den Vorsokratikern arbeitet sich Peter Adamson, Professor für Philosophie der Antike und des Mittelalters am King's College London, durch die Geschichte der westlichen Philosophie. Jede Folge dauert zwischen 15 und 20 Minuten. Dabei bezeichnet Adamson seinen Podcast als lückenlose Geschichte der Philosophie – history of philosophy without any gaps – weil er neben den Klassikern wie Sokrates, Plato, Descartes oder Kant auch Philosophinnen und Philosophen vorstellt, die in klassischen Lehrbüchern oft wenig Beachtung finden. (Englisch)

WIEDERGEFUNDENER DDR-SPACEPOP-SONG

tapeterecords.de/artists/charlie-keller

Anlässlich des ersten Todestages von Sigmund Jähn veröffentlichte Tapete Records, ein Hamburger Independent-Label, am 21. September einen bis dahin unbekannteren Spacepop-Song aus der DDR mit dem Titel „Ich, Sigmund Jähn“, gesungen von Charlie Keller. Über die Sängerin war nichts bekannt, weshalb die Verantwortlichen einen Aufruf starteten, ihnen Informationen über die Unbekannte zukommen zu lassen. Mittlerweile haben sie einige Hinweise erhalten. Hier gibt es die ganze Geschichte wie auch den Song.

ZUM NORDLICHTJAGEN

gi.alaska.edu/monitors/aurora-forecast

Die himmlischen Polarlichter haben zahlreiche Legenden und Mythen inspiriert, sie galten als Boten drohenden Unheils oder als leuchtende Rüstung der Walküren. Ursprung der mystischen Lichtspiele sind Sonnenflecken und Sonneneruptionen. Diese Webseite der University of Alaska Fairbanks liefert eine Vorhersage, wann und wo die nächsten Polarlichter zu bestaunen sind. Es lassen sich Karten für verschiedene Regionen wählen, aber es werden auch allgemeine Fragen zu den besten Beobachtungsbedingungen oder zur Forschung an dem Phänomen beantwortet. (Englisch)

SCHWELGEN IM BILDERFLUSS

DLR.de/flickr

Der Blick aus dem Cockpit auf die Wolken über dem Ozean im Süden Südamerikas, die unendlich weiten Steppen des Mars, aber auch etliche Roboter, die Kinder und Jugendliche während des Corona-Lockdowns gebastelt haben – auf dem Flickr-Kanal des DLR zeigen sich die verschiedenen Forschungsbereiche von der schönsten Seite.

QUIZ ZU QUANTEN

toptica.com/quantumquiz

In diesem kostenlosen Quiz lässt sich das eigene Wissen zum Thema Quantentechnologie testen. Über 600 Fragen richten sich sowohl an Personen mit einem allgemeinen Interesse an Optik, Physik und Wissenschaft als auch an Expertinnen und Experten. Jedes Spiel besteht aus drei Leveln, angefangen bei wissenschaftlich interessierten Laien bis hin zu Quanten-Fachmann beziehungsweise -Fachfrau.

Titelbild

Leicht, wendig und sicher: Das ist das neue Kleinfahrzeug Safe Light Regional Vehicle (SLRV) des DLR. Seine Einsatzpotenziale: tägliches Pendeln vom Stadtrand in die City, Zubringer zum öffentlichen Nahverkehr oder auch als Car-Sharing-Fahrzeug. Seine Reichweite: 400 Kilometer, Höchstgeschwindigkeit 120 km/h. Angetrieben wird der Leichtbau-Flitzer von einer ressourcenschonenden Brennstoffzellen-Batterie-Kombination. Das SLRV ist eines der neuen Fahrzeugkonzepte, die aktuell im DLR entstehen und den Verkehr der Zukunft prägen könnten. Mit solchen Prototypen wollen die DLR-Fachleute nicht nur neue Technologien auf der Straße testen, sondern auch herausfinden, ob Menschen in Zukunft gern mit ihnen unterwegs sein möchten.

