

A low-angle photograph of several large, white, cylindrical hydrogen storage tanks. Each tank has the DLR logo and the letters 'DLR' printed on it. The tanks are arranged in a row, receding into the distance. To the right, a portion of a modern building with a glass facade is visible. The sky is a clear, light blue.

EIN ALLROUND-TALENT IN DEN STARTLÖCHERN

WASSERSTOFF ALS ENERGIETRÄGER

Weitere Themen:

- ▶ JUBILÄUM JENSEITS DES POLARKREISES
Zehn Jahre Satellitendatenempfang in Inuvik
- ▶ EIN EINZIGARTIGER WOLKENCOCKTAIL
Forschungsflüge untersuchen Wolken, Wetter und Klima

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 55 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), Cordula Tegen

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: bplused agenturgruppe GmbH, Vitalisstraße 67, 50827 Köln, www.bplused.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 Autoren.

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



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.



BEWEGENDE ZEITEN

Dieses DLRmagazin ist das zweite, das unter den widrigen Umständen der Corona-Pandemie entstand. Während die Finalisierung der Frühjahrsausgabe Nummer 164 mit dem Lockdown zusammentraf, arbeiteten wir für diese Ausgabe fast ausschließlich im Homeoffice, unter den Bedingungen des DLR-Minimalbetriebs und später langsamen Lockerungen. Aber wir durften auch erleben, dass Stillstand nicht zwangsläufig bedeutet, dass sich nichts bewegt. Während der Produktion dieses Hefts erreichten uns beeindruckende Beiträge darüber, in welcher Weise Forschung in Ausnahmesituationen unterstützen kann, wie sie sich mit Engagement und klugen Ideen aufrechterhalten lässt und wie sie unter plötzlich neuen Umständen auch funktioniert: So stellten die DLR-Standorte Stuttgart, Bremen, Oberpfaffenhofen und Braunschweig ihre Laborkapazitäten auf die Produktion von Gesichtsschildern um und überbrückten Versorgungsgengpässe. Forschungsflüge zur Untersuchung der Atmosphäre, aber auch Plasmakristall-Experimente auf der Internationalen Raumstation ISS, wurden vom Homeoffice aus geplant und koordiniert. Verkehrsforscherinnen und -forscher starteten Umfragen, wie eine Pandemie unsere Mobilität verändern kann, und vieles mehr.

Anstatt zu lähmen, wirkt die Krise wie ein Aktivator, der neue Potenziale und Ideen freisetzt. Es zeigt sich wieder einmal, wie fruchtbar es sein kann, wenn alle gemeinsam an einem Strang ziehen, um Projekte möglich zu machen – seien es Behörden, Wissenschaft und Industriepartner in der Forschung oder eben Druckerei, Agentur und Verteiler bei denen, die darüber berichten.

Auch die Zeit ist ganz offensichtlich nicht stehen geblieben und einige Veränderungen, die letztes Jahr noch in weiter Ferne schienen, standen scheinbar „urplötzlich“ auf der Fußmatte. So ist diese Ausgabe die erste in neuer redaktioneller Verantwortung und die letzte der Redaktionsleiterin Cordula Tegen. Sie betreute diese Publikation in den letzten 13 Jahren. Mit Professionalität, Offenheit und Herzblut machte sie das DLRmagazin zu dem, was es heute ist und jede einzelne Ausgabe zu etwas ganz Besonderem. Nun verabschiedet sie sich in den verdienten Ruhestand. Wir wünschen ihr alles nur erdenklich Gute und sagen:

Danke!

Liebe Leserinnen und liebe Leser,

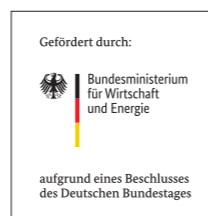
manche Chancen vergehen ungenutzt und Technologien, die scheinbar großes Potenzial haben, verschwinden sang- und klanglos. Manche lassen die Gesellschaft aber nicht los, zum Glück. Seit einiger Zeit steht das häufigste Element im Universum besonders im Fokus von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft: Wasserstoff. Er ist flexibel, lässt sich relativ einfach speichern und verbrennt sauber. Die Industrie forscht seit langem am Einsatz von Wasserstoff, das Prinzip der Elektrolyse ist seit über 200 Jahren bekannt. Neuere Verfahren sollen höhere Wirkungsgrade erreichen. Kann sich Wasserstoff als Energieträger der Klimawende etablieren und mit seiner Karriere durchstarten? Das DLR forscht in jedem Fall in vielen Bereichen an diesem Multitalent.

In diesem DLRmagazin präsentieren sich aber noch mehr „Allrounder“. Da sind beispielsweise Raumfahrttechnologien, die in der humanitären Hilfe Anwendung finden und flexible „Pflaster“-Energiespeicher, die das Team um die Werkstoffforscherin Dr. Saruhan-Brings entwickelt hat. Warum sie „Pflaster“ genannt werden, erfahren Sie im Interview mit der Wissenschaftlerin. Oder Sie begleiten Dr. Tobias Bellmann in das Innovationslabor in Oberpfaffenhofen. Hier hat er zusammen mit seinem Team eine außergewöhnliche Welt der Mechatronik-Simulation aus nahezu allen DLR-Bereichen aufgebaut.

Weitere Themen dieses Hefts sind der neue Multifokusturm in Jülich, das zehnjährige Jubiläum der DLR-Bodenstation in Inuvik sowie die Ausgründung ajuma, die ein Gerät entwickelt hat, das zuverlässig vor Sonnenbrand warnt.

Viel Vergnügen beim Lesen wünscht Ihnen

Ihre Redaktion





EIN ALLROUND-TALENT IN DEN STARTLÖCHERN

20



PFLASTER UNTER STROM

28



CLEVERER SONNENSCHUTZ

42



HIGHTECH HILFT HELFEN

34



ELEKTROMOBILITÄT AUF SWAHILI

48



JUBILÄUM JENSEITS DES POLARKREISES

30



STADTPLANUNG DIGITAL

8



EIN EINZIGARTIGER WOLKEN-COCKTAIL

12

NEUE INSTITUTE FÜR MOBILITÄT UND ENERGIE	6
MELDUNGEN	7
STADTPLANUNG DIGITAL	8
Der Digitale Atlas: eine einzigartige Datenbank	
► EIN EINZIGARTIGER WOLKENCOCKTAIL	12
Messkampagne erforscht die Atmosphäre über Barbados	
MESSEN IN DER ZEIT DES STILLSTANDS	18
Forschungsflüge während des Lockdowns	
► EIN ALLROUND-TALENT IN DEN STARTLÖCHERN	20
Wasserstoff als Energieträger	
STARKES DUO	26
Die Solarforschung im DLR Jülich erhält Zuwachs	
PFLASTER UNTER STROM	28
Neuer, flexibler Energiespeicher	
► JUBILÄUM JENSEITS DES POLARKREISES	30
Zehn Jahre Satellitendatenempfang in Inuvik	
HIGHTECH HILFT HELFEN	34
Raumfahrttechnologien für humanitäre Zwecke	
EINBLICK	40
Schlammvulkane auf dem Mars	
CLEVERER SONNENSCHUTZ	42
Der UV-Bodyguard schützt vor Sonnenbrand	
IM LABOR DER TAUSEND MÖGLICHKEITEN	44
Das Systems and Control Innovation Lab des DLR	
ELEKTROMOBILITÄT AUF SWAHILI	48
Motorradtaxis in Tansania	
MIT VOLLGAS IN DIE VERKEHRSWENDE	52
Interview über autonomes Fahren	
WUCHTIGES KLEINOD	54
Das Energie-Museum Berlin	
FEUILLETON	56

NEUE INSTITUTE FÜR MOBILITÄT UND ENERGIE

Am 23. Juni hat der DLR-Senat die Gründung von zwei neuen Instituten beschlossen: In Oldenburg entsteht das Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität. Um Emissionsreduktion in der Schifffahrt drehen sich die Aktivitäten des neuen Instituts für Maritime Energiesysteme in Geesthacht.

AUTONOM UND SICHER UNTERWEGS

Zukünftige automatisierte und autonome Fahrzeuge müssen technisch in hohem Maße vertrauenswürdig sein. Das neue DLR-Institut, das aus dem Oldenburger Informatik-Institut OFFIS e. V. hervorgeht, wird hierzu Methoden und Werkzeuge für industrielle Verfahren entwickeln. In Zusammenarbeit mit dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik werden diese dann im Testfeld Niedersachsen genutzt, um neue Systemfunktionen zu prüfen. Darüber hinaus verfügt das neue Institut bereits jetzt über ein weltweit ausgewiesenes Testfeld für automatisierte maritime Verkehrssysteme.



Institut für Systems Engineering für zukünftige Mobilität
Oldenburg

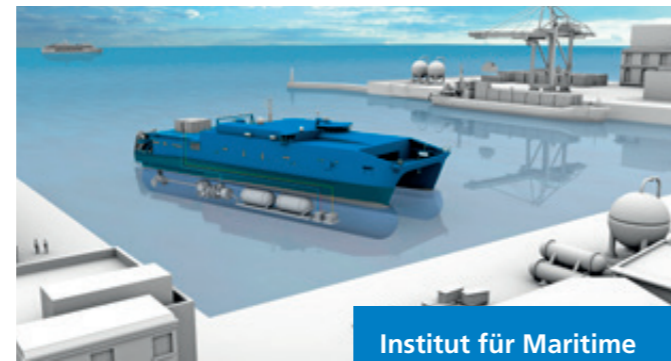
Gründungsdirektor:
Prof. Dr. Axel Hahn

Geplantes Personal:
80

Website:
DLR.de/se

UMWELTFREUNDLICHE ENERGIESYSTEME FÜR DIE SCHIFFFAHRT

80 Prozent des Frachttransports wird mit Schiffen abgewickelt. Diese erzeugen etwa drei Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes. Hinzu kommen die Emissionen der Kreuzfahrtschiffe. Das neue DLR-Institut ist die erste Forschungsstelle weltweit, welche die gesamte Energie-wandlungskette in der Schifffahrt systemisch abbildet. In Geesthacht werden Lösungen für die Dekarbonisierung der Schifffahrt entwickelt, erprobt und in Kooperation mit der Industrie in die Praxis überführt. Im Fokus der Entwicklung stehen Brennstoffzellensysteme und alternative Treibstoffe. Die Fachleute betrachten das gesamte Energiesystem an Bord, einschließlich Strom, Wärme und Kälte.

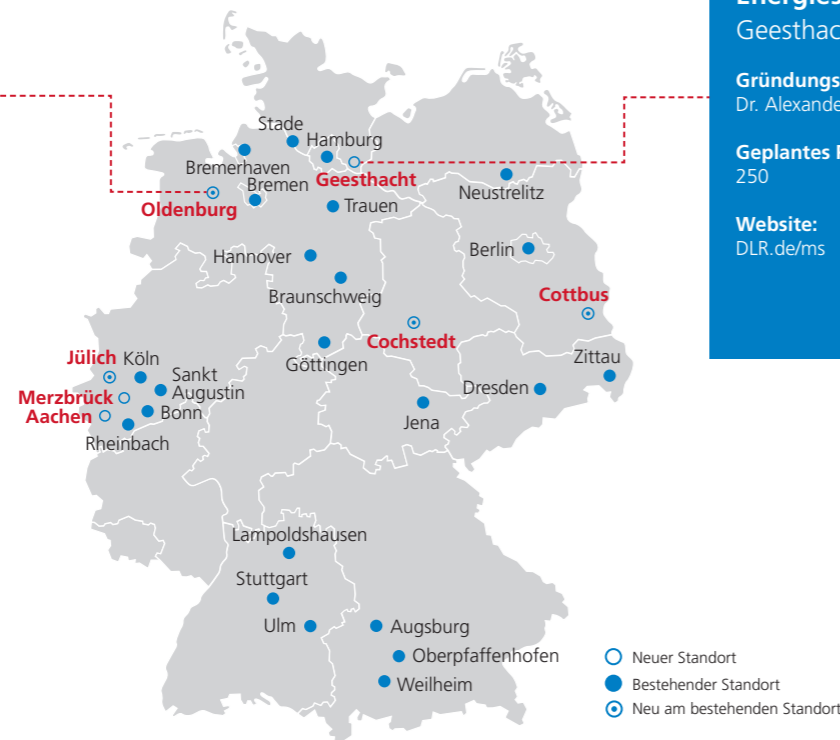


Institut für Maritime Energiesysteme
Geesthacht

Gründungsdirektor:
Dr. Alexander Dyck

Geplantes Personal:
250

Website:
DLR.de/ms



Ebenfalls grünes Licht gab der DLR-Senat dem Institut für Future Fuels (Jülich), dem Institut für emissionsarme Luftfahrtantriebe (Cottbus) und dem DLR-Forschungsprogramm „Elektrisches Fliegen“. Hierzu werden zwei neue Einrichtungen – Technologien für Kleinflugzeuge (Aachen, Merzbrück) und das Kompetenzzentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme (Cochstedt) – aufgebaut. In der nächsten Ausgabe des DLRmagazins werden die vier Institute und Einrichtungen näher vorgestellt.

RADARTECHNIK ENTHÜLLT SCHWACHSTELLEN AN GEBÄUDEN



GTOM-Antennen durchleuchten eine Hauswand

Benötigen Ärzte einen detaillierten Blick in das Innere ihrer Patienten, ist die Magnet-Resonanz-Tomographie, die „MRT-Röhre“, häufig das Mittel der Wahl. Auch für Gebäude – etwa um Rückschlüsse auf den baulichen Zustand zu ziehen oder zur Bewertung der Energieeffizienz – ist der Blick in ihre innere Struktur, das „Skelett“ der Bauwerke, nötig.

Ein Forschungsteam des DLR-Instituts für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme entwickelte eine Möglichkeit, mit Radartechnik die Außen- und Innenwände, Decken, Böden und Dächer eines Gebäudes berührungslos und zerstörungsfrei zu analysieren. Radarwellen durchdringen nicht-metallische Materie und werden an Schichtgrenzen teilweise reflektiert. Die Charakteristik der Reflexionen gibt Aufschluss über die Schichten und Dicke der verbauten Materialien. Über seitliches Abtasten der Wand oder auch luftgestützt mit Drohnen gewinnen die Forschenden Daten, aus denen sie 2D- und 3D-Radarbilder der Wandstruktur erstellen. Anfang August wurde das Projekt GTOM erfolgreich abgeschlossen.

RAUMSONDE BEPICOLOMBO BESUCHT DIE VENUS



Quelle: ESA

Bis zu ihrem Ziel wird BepiColombo insgesamt etwa neun Milliarden Kilometer zurücklegen, inklusive neun Vorbeiflügen an Erde, Venus und Merkur

Am 16. Oktober 2020 wird BepiColombo an der Venus vorbeifliegen. Das Ziel der bisher größten europäischen Planetensonde ist dies allerdings noch nicht: Sie befindet sich auf dem Weg zum sonnennächsten Planeten Merkur. An unserem Nachbarplaneten wird BepiColombo zwei sogenannte Flyby-Manöver durchführen: Die Sonde nutzt die Gravitation der Venus, um abzu-bremsen und nach dem zweiten Vorbeiflug am 11. August 2021 auf die endgültige Flugbahn Richtung Merkur zu fliegen. Wegen der enormen Anziehungskraft der Sonne und des begrenzten Treibstoffs der Trägerraketen sind Planetenmissionen ins Sonnensystem nur mit solchen komplexen Flugbahnen zu meistern. Den Berechnungen nach soll die Raumsonde am 5. Dezember 2025 auf die Umlaufbahn von Merkur einschwenken. Dort angekommen wird das am DLR entwickelte Spektrometer MERTIS die Zusammensetzung und die Mineralogie der Oberfläche und das Planeteninnere von Merkur untersuchen. Im April 2020 hatte MERTIS schon Bilder des Mondes aus dem Weltraum gemacht. Ebenso erhoffen sich die Forscherinnen und Forscher aufschlussreiche Aufnahmen von der Venus.

REGIONALMELDUNGEN

LAMPOLDSHAUSEN: Am Prüfstand P8 wurde erfolgreich eine 3D-gedruckte Brennkammer getestet. Die Kammer soll beispielsweise im Oberstufentriebwerk der neuen europäischen Träger Rakete Ariane 6 eingesetzt werden. Solche zukunftsweisen- den Fertigungsverfahren erhöhen die Leistung des Raumfahrtantriebs und senken gleichzeitig die Produktionskosten.

NEUSTRELITZ: In einem regionalen Experimentierfeld in Mecklenburg-Vorpommern erproben Forscherinnen und Forscher des Deutschen Fern- erkundungsdatenzentrums Technologien, die Landwirten zukünftig helfen sollen, Ernteerträge abzuschätzen oder Aussagen über die Boden- feuchte zu treffen. Dazu nutzen die Fachleute Geo- daten von Sensoren auf Satelliten oder Drohnen.

STUTTGART: Am Innovationscampus in Empfingen wird aktuell das größte Forschungsobservatorium Europas zur Detektion von erdnahen Satelliten und Weltraumschrott gebaut. Die Einweihung der DLR- Anlage ist im Frühjahr 2021 geplant. Dann soll sie die Flugbahn und Beschaffenheit von Objekten in erd- nahen Umlaufbahnen mittels Laser schnell, präzise und zuverlässig bestimmen.

OBERPFAFFENHOFEN: Im Projekt eFence erforscht ein Team aus dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation Kommunikations- und Ortungstechnologi- en, mit denen Verkehrsteilnehmerinnen und -teilneh- mer erkannt werden, die nicht mit Kommunikations- geräten ausgestattet sind.

JENA: Anfang Juli wurde am DLR-Institut für Datenwis- senschaften ein High-Performance-Data-Analysis- Cluster eingeweiht. Es soll zukünftig den wissenschaft- lichen Rechenbedarf unterstützen, insbesondere die DLR-Forschung in den Bereichen Machine Learning, Visual Analytics, Klimainformatik und Citizen Science.

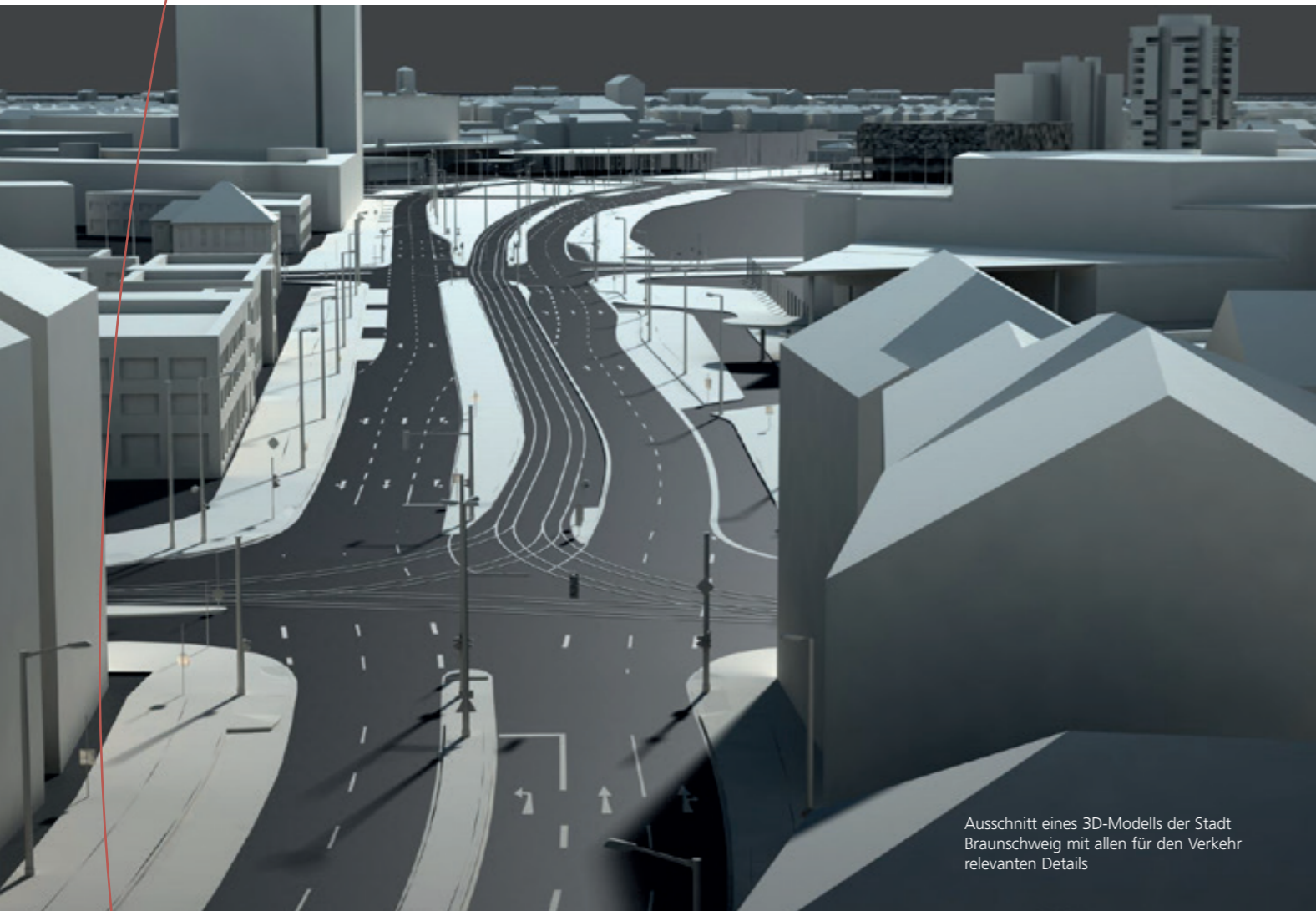
BRAUNSCHWEIG: Eine flexible Haut zwischen Flügel und Klappensystem eines Flugzeugs soll durch ver- besserte aerodynamische Eigenschaften Fluglärm mindern. Das DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik testet gemeinsam mit der Invent GmbH und der Technischen Universität München im Projekt FlexMat eine solche Übergangshaut aus Kautschuk und Glasfaser.

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

STADTPLANUNG DIGITAL



Ausschnitt eines 3D-Modells der Stadt Braunschweig mit allen für den Verkehr relevanten Details

Im DLR-Querschnittsprojekt Digitaler Atlas entsteht eine einzigartige Datenbank

Von Dr. Rüdiger Ebandt

Unsere Städte wachsen – und mit ihnen die Anforderungen an die Stadtplanung. Diese muss die Bedürfnisse vieler berücksichtigen. Speziell für die Verkehrsplanung gilt: Bürger, Stadtverwaltungen, Fahrzeughersteller und Transportunternehmen wollen, dass der enge Verkehrsraum so störungsfrei und sicher wie möglich genutzt werden kann. Dazu benötigen sie valide Informationen, also Daten. Und diese sollen möglichst nicht aus vielen verschiedenen Quellen mit unterschiedlichen Grundlagen stammen, sondern aus einer Hand. Nur dann sind sie miteinander kombinierbar und sinnvoll auswertbar. Im DLR-Querschnittsprojekt Digitaler Atlas bauen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus zehn DLR-Instituten eine Datenbank auf, mit der sich die Stadtplanung wie auch die Energieversorgung besser entwickeln und organisieren lassen.



Die DLR-Forschungskreuzung in Braunschweig. Verschiedene Sensorsysteme erfassen die Verkehrssituation, um das Verhalten von Verkehrsteilnehmern besser verstehen zu können.

Es geht vor allem um Geodaten, also digitale Informationen, denen eine räumliche Lage auf der Erdoberfläche zugeordnet wird. Das umfasst sowohl den Verkehr am Boden als auch zu Wasser und in der Luft. Die Forscherinnen und Forscher nutzen für die Datenerhebung Informationen von Satelliten und Fluggeräten wie auch Sensortechnologie. Dabei profitiert das Querschnittsprojekt von den unterschiedlichen Expertisen der beteiligten DLR-Institute, die in den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt, Sicherheit, Energie und Verkehr, aber auch auf dem Gebiet der Datenerhebung und sozioökonomischen Analysemethoden arbeiten.

Schicht für Schicht entsteht die Karte

Jede Karte besteht aus einzelnen Schichten, die bestimmte Themen anschaulich machen. Das sind beispielsweise Straßentypen, Pflanzenverbreitung oder auch die Verteilung von Solaranlagen. Damit können Stadtplaner die benötigten Straßen und Verkehrsverbindungen beurteilen – nicht nur in ihrer Stadt, sondern auch im Umland. Außerdem können sie Vergleiche zu anderen Städten weltweit ziehen. Metadaten beschreiben die Karten näher. Sie ermöglichen eine schnelle Einschätzung der Thematik, der räumlichen Genauigkeit und der Auflösung, aber auch eine schnelle Suche mit Schlüsselwörtern.

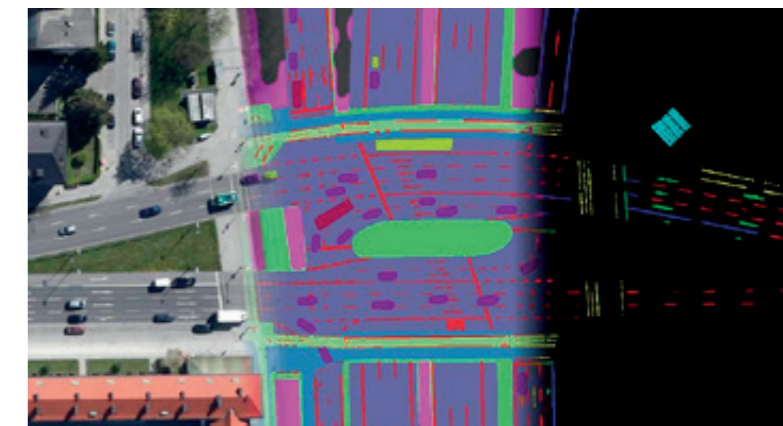
Braunschweig in 3D

Als ein erstes Teilprojekt wurde am Institut für Verkehrssystemtechnik ein 3D-Stadtmodell von Braunschweig mit Hilfe verschiedener Quellen wie Katasterdaten, Luftbildern und Vermessungsdaten weitgehend automatisch erzeugt. Wo immer dies möglich ist, sollen die thematischen Karten aus den Rohdaten auf diesem Wege prozessiert und überprüft werden. Die entsprechenden Prozesse werden nach und nach zu einer „allumfassenden“ Geodatenbank für den Gesamtverkehr weiterentwickelt. Damit die virtuelle Datenbank der Realität möglichst nahekommt, untersuchen die Forscher verschiedene Anwendungsfälle mit unterschiedlichen Verkehrsträgern. Die Daten dieser Anwendungsfälle vergleichen sie miteinander und nutzen sie als Grundlage für den Digitalen Atlas.

Satelliten und Flugzeuge erfassen den Zustand der Straße

Der Zustand unserer Straßen spielt eine wichtige Rolle für die Verkehrssicherheit und den Kraftstoffverbrauch. Risse und Schlaglöcher verursachen Schäden, die sich immer weiter ausbreiten, wenn sie nicht früh genug erkannt werden. Auch für automatisierte oder autonome Fahrzeuge ist dies ein wichtiger Punkt. Deren Sensoren müssen nicht nur die Infrastruktur und Hindernisse erkennen, sondern auch Fahrbahnmarkierungen und die Beschaffenheit der Oberfläche, um die Geschwindigkeit und den Fahrstil anpassen zu können. Bislang wurden Straßenkarten umständlich erzeugt, indem Spezialfahrzeuge alle Straßen abfahren. Das ist zeitaufwendig und teuer. Außerdem ist in Städten die Positionsbestimmung aufgrund von Abschattungen wie in engen Straßen oft nur auf wenige Meter genau.

Die DLR-Institute für Methodik der Fernerkundung sowie für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme in Oberpfaffenhofen untersuchen nun neuartige Methoden, um die nötigen Daten von Satelliten sowie Flugzeugen aus mit bildgebenden Radarsensoren und hochauflösenden Kamerasystemen zu erfassen. Diese Daten lassen sich in deutlich kürzerer Zeit aufnehmen und sie erlauben es, die Position von Objekten weltweit auf unter zehn Zentimeter exakt zu ermitteln. Dazu werden hochgenaue Referenzpunkte benötigt, die aus den Satellitendaten gewonnen werden.



Auf dem Luftbild machen neuronale Netze Kategorien wie Gebäude, Straßen, Vegetation oder auch nur Straßenmarkierungen sichtbar

WAS IST EINE GEODATENBANK?

In einer Geodatenbank werden räumliche Daten, sogenannte Geodaten, erfasst und verwaltet. Sie wird durch ein räumliches Datenmodell auf Grundlage eines Koordinatensystems strukturiert. Zu solch einem Modell gehören unter anderem:

- geometrische Daten wie die Lage und Ausdehnung von Gebäude- oder Landschaftsobjekten,
- topologische Daten zur Beschreibung der räumlichen Beziehungen der Objekte untereinander,
- thematische oder beschreibende Daten wie die Farbe eines Hauses und
- Nominaldaten, also rein bezeichnende Daten, wie der Name oder Ort eines Objekts.

Aus den sich stark überlappend aufgenommenen Luftbildern werden ein Oberflächenmodell und ein sogenanntes Orthomosaik erstellt, eine verzerrungsfreie und maßstabgetreue Abbildung der Erdoberfläche. Damit können sowohl die Straßen mit allen Straßenmarkierungen als auch alle Masten sowie Gebäude und Vegetation dargestellt und in den Digitalen Atlas integriert werden. Intelligente Algorithmen erkennen mit maschinellem Lernen die Objekte und ordnen sie entsprechend zu. Den Zustand der Straße ermitteln die Forscher anhand von schwarz-weißen Radarbildern. Kleine Helligkeitsunterschiede auf den Aufnahmen geben Aufschluss über die unterschiedlichen Rauheiten und Materialeigenschaften und machen es möglich, den Rauheitswert im Millimeterbereich zu ermitteln.



Die Luftbildkamera MACS (Modular Aerial Camera System) erstellte Aufnahmen des Hafengeländes in Bremerhaven für hochaufgelöstes Kartenmaterial

Intelligente Modelle zeigen das Verkehrsaufkommen

Der Digitale Atlas soll auch zukünftige Entwicklungen abbilden und Folgen von Maßnahmen veranschaulichen. Dem dienen die Simulationen von Verkehrsmodellen. Sie zeigen die Auswirkungen auf die Mobilität. Es geht hier beispielsweise um die Verbesserung oder die Einführung von neuen Verkehrsmitteln, den Ausbau von Infrastruktur oder Beschränkungen für bestimmte Verkehrsteilnehmer. Der Aufbau solcher Modelle benötigt verschiedenartige Daten: Angaben zur Bevölkerungsstruktur, mögliche Fahrziele sowie die Verkehrsinfrastruktur



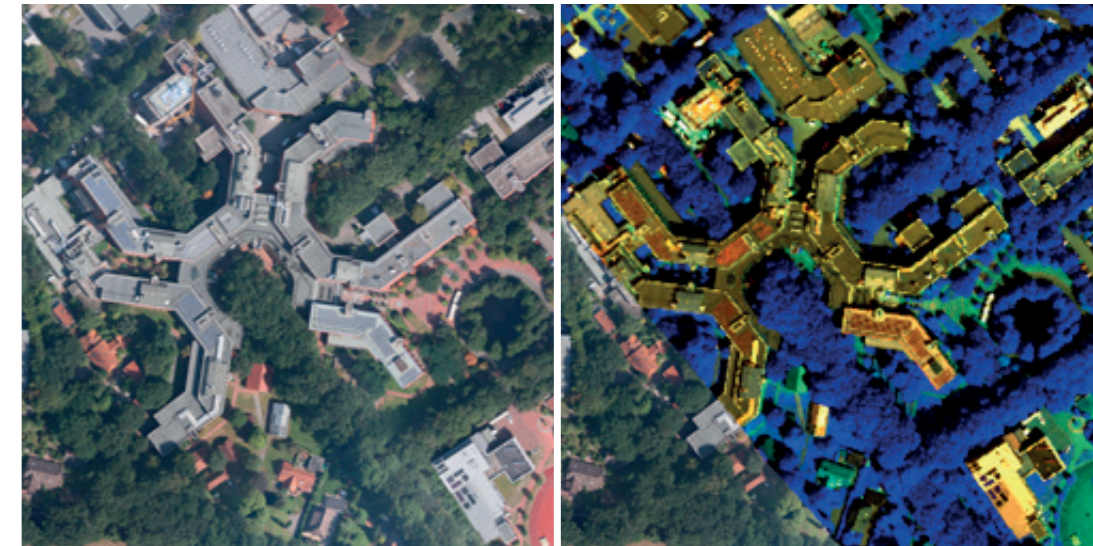
Dreidimensionales Echtzeitlagebild des Bremerhavener Hafens. Links: Kamerabild mit Objekten, die mittels künstlicher Intelligenz automatisch erkannt und entsprechend ihrer Form eingefärbt wurden. Rechts: vorläufiges 3D-Modell der Umgebung mit Angaben der Position einer Person, die sich in einem potenziell gefährlichen Bereich befindet.

und das -angebot. Allerdings fehlt häufig genaueres Wissen über die Größe und räumliche Verortung der Bevölkerung. Das Institut für Verkehrsforschung entwickelt daher neue Verfahren, um das Verkehrsaufkommen zu bestimmen. Die Vorteile: Sie haben einen geringeren Datenbedarf und nutzen zudem Daten, die mittels Fernerkundung weltweit erhoben werden können. Dies erlaubt die Ableitung von Verkehrsaufkommensmodellen für beliebige Regionen der Welt.

Zu den wichtigsten Quellen für solche Modelle gehören Daten zur Landnutzung, zu Siedlungsmustern sowie zur Bebauungsdichte und zu Gebäudetypen. Solche Informationen gewinnt das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum im DLR aus hochaufgelösten Satelliten- und Luftbilddaten. Aus ihnen kann zum Beispiel die Verteilung der Bevölkerung innerhalb eines Gebiets abgeleitet werden. Die Forscher nutzen außerdem die frei verfügbaren Daten des OpenStreetMap-Projekts, insbesondere zu den dort gespeicherten Straßennetzen. Damit berechnen sie, wie gut Ziele innerhalb eines Gebiets oder von einem Standort aus mit verschiedenen Verkehrsmitteln erreichbar sind. Zusammen mit weiteren Daten entwickeln die Wissenschaftler ein Modell des gesamten Verkehrsaufkommens. Diese können eingesetzt werden, um die Auswirkungen neuer Mobilitätsangebote zu untersuchen, wie beispielsweise den Einsatz von sogenannten Rufbussen, die auf individuelle Anforderung fahren.

Dynamische Karten für sichere Häfen

In einem Hafen ist es besonders schwierig, alle Personen und Güter im Blick zu behalten. Die Institute für Optische Sensorsysteme sowie für den Schutz Maritimer Infrastrukturen forschen gemeinsam daran, dynamisches, zwei- und dreidimensionales Kartenmaterial in Echtzeit zu erstellen. Dabei werden spezielle Sensorsysteme eingesetzt, die von den Instituten konzipiert und entwickelt wurden. Auch die Umsetzung in Echtzeit ist ein wesentlicher Kern ihrer Arbeit. Die Karten helfen Behörden, Einsatzkräften mit Sicherheitsaufgaben oder Hafen- und Terminalbetreibern, kritische Situationen rechtzeitig zu erkennen und einzuschätzen. Das sind beispielsweise Gefahren durch schwebende Lasten oder unautorisierte Zutritte zum Gelände. Zunächst wird das Gelände überflogen und hochaufgelöstes Kartenmaterial erzeugt. Anschließend erkennt eine künstliche Intelligenz in Bildern, die am Boden aufgenommen werden, Schiffe, Verkehrsteilnehmer auf dem Land oder Objekte wie Frachtcontainer. Außerdem bestimmt die Software deren exakte Position und bindet die Objekte in ein Lagebild ein. Es entsteht ein kombiniertes System aus Luftbildkamera- und Bodenaufnahmen sowie den zugehörigen Auswertungsalgorithmen. Die Karten eignen sich übrigens auch hervorragend, um autonomen Verkehr in Häfen sicherer zu gestalten.



Das Gebäude des Instituts für Vernetzte Energiesysteme und der Oldenburger Uni-Campus Wechloy – links: optische Aufnahme, rechts: hyperspektrale Aufnahme. Auf Basis der hyperspektralen Aufnahmen werden mit Methoden der künstlichen Intelligenz Solaranlagen erkannt. Dies hilft, das Solarstromaufkommen genauer vorherzusagen.

Solarstromaufkommen in Städten vorhersagen

Wann wird wie viel Strom von privaten Solaranlagen in das Stromnetz eingespeist? Das ist eine Frage, auf die Netzbetreiber dringend eine Antwort brauchen. Dafür benötigen sie als Grundlage eine Erfassung von Solaranlagen auf Dächern und Freiflächen – am besten automatisiert. Daran forscht das Institut für Vernetzte Energiesysteme gemeinsam mit dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum. Um die Solaranlagen zu erfassen, analysieren die Wissenschaftler räumlich hochaufgelöste optische und hyperspektrale Befliegungsdaten von urbanen Räumen in Deutschland. Hyperspektrale Sensoren nehmen im Gegensatz zum menschlichen Auge ein kontinuierliches Spektrum von elektromagnetischen Wellen wahr, daher können sie Gegenstände anhand ihrer spektralen Eigenschaften klarer identifizieren. Aus den optischen und hyperspektralen Aufnahmen entstehen digitale Höhenmodelle und Gebäudeformen.

In „FlexiGIS“, einem am Institut für Vernetzte Energiesysteme entwickelten Open-Source-Modell zur Simulation urbaner Energieinfrastrukturen, werden die Daten verwendet, um die Stromerzeugung städtischer Solaranlagen am Beispiel von Oldenburg zu simulieren. Darüber hinaus helfen sie den Fachleuten dabei, eine räumlich und zeitlich hochaufgelöste Vorhersage der Sonneneinstrahlung durch die Kombination mit meteorologischen Satelliten zu treffen – auch als Hilfe für die Netzbetreiber und damit für die Stabilität des Stromnetzes.

Übersichtlicher Katalog für diverse Nutzergruppen

Diese vier untersuchten Anwendungsfälle allein zeigen schon die Komplexität des Querschnittsprojekts. In weiteren Szenarien geht es beispielsweise darum, die Geodatenbank und die Methoden auf möglichst viele Verkehrsträger und neue Mobilitätsangebote auszuweiten – zum Beispiel auf den Schienenverkehr. Doch alle gewonnenen Ergebnisse können nur sinnvoll genutzt werden, wenn der Digitale Atlas verständlich und übersichtlich aufgebaut ist. Deswegen liegt ein Fokus der zukünftigen Forschung auf der Weiterentwicklung eines benutzerfreundlichen Katalogs für Geodaten. Dort werden alle Datensätze hinterlegt und eindeutig gekennzeichnet. Am Ende des Projekts soll der Digitale Atlas in weiteren Forschungsprojekten genutzt und langfristig auch für Verwaltungen und Unternehmen zugänglich gemacht werden.

Dr. Rüdiger Ebdndt arbeitet in der Abteilung Datenerfassung und Informationsgewinnung des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik und ist wissenschaftlicher Leiter des Querschnittsprojekts Digitaler Atlas.



Bei der automatisierten Detektion von Solaranlagen muss die Software verschiedene Elemente unterscheiden können, um Fehlklassifikationen zu vermeiden. Solche Dächer dienen zu Testzwecken. Hier sind sowohl Solarthermie- als auch Photovoltaikmodule zu sehen, aber auch ein Dachfenster, das nicht fälschlicherweise als Solaranlage gekennzeichnet werden darf.

DAS DLR-QUERSCHNITTSPROJEKT DIGITALER ATLAS

Beteiligte Institute:

- Institut für Verkehrssystemtechnik (Koordination)
- Institut für Fahrzeugkonzepte
- Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
- Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
- Institut für Methodik der Fernerkundung
- Institut für Optische Sensorsysteme
- Institut für den Schutz Maritimer Infrastrukturen
- Institut für Raumfahrtssysteme
- Institut für Verkehrsforschung
- Institut für Vernetzte Energiesysteme

Laufzeit: vier Jahre (2018–2021)

Budget: sechs Millionen Euro



EIN EINZIGARTIGER WOLKENCOCKTAIL

Mit dem Forschungsflugzeug HALO dem Zusammenspiel von Wolken, Wetter und Klima auf der Spur

Von Dr. Silke Groß

Wenn man an Barbados denkt, fallen einem als Erstes karibische Strände, Palmen und Sonnenuntergänge ein. Nicht so den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der EUREC⁴A-Mission. Sie sehen in Barbados eine Insel, auf der Luftmassen, die tagelang über den Atlantik transportiert wurden, das erste Mal auf Land treffen. Es ist für sie ein perfekter Ort für Atmosphärenforschung. In diesem außergewöhnlichen Forschungsprojekt untersuchte ein internationales Team dieses ganz besondere Wolkengemisch und wie es sich durch den Klimawandel verändert.

Bevor die Luftmassen des Passatwinds das Festland von Barbados erreichen, bilden sich auf ihrem Weg über den Ozean in ihnen niedrige maritime Wolken. Diese werden Passatwindwolken genannt und sind ein wichtiges Puzzleteil in der Erforschung des Klimawandels, weil sie sehr empfindlich auf ihre Umgebungsbedingungen und somit auf eine weitere Klimaerwärmung reagieren. Allerdings ist dieser Wolkentyp und seine Klimawirkung nur mit großen Unsicherheiten in gängi-

EUREC⁴A – ELUCIDATING THE ROLE OF CLOUDS-CIRCULATION COUPLING IN CLIMATE:

Die Feldstudie EUREC⁴A ist ein internationales Projekt mit mehr als 40 Partnern unter deutsch-französischer Leitung des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg und dem Centre national de la recherche scientifique (CNRS) in Paris. Innerhalb der Kampagne wurden vier Forschungsflugzeuge, vier Forschungsschiffe und bodengebundene Messungen auf Barbados koordiniert eingesetzt und die Messergebnisse mit hochauflösenden Klimamodellen und hochentwickelter Satellitenfernerkundung kombiniert. Aktuell werten die Teams die Daten aus, die sie in den Messflügen Anfang des Jahres 2020 gesammelt haben. Der wissenschaftliche Fokus von EUREC⁴A liegt auf vier wesentlichen Punkten:

- Wolkenorganisation und Rückkopplungsprozesse (Untersuchung der Auswirkung von Umgebungsbedingung auf Wolkenstruktur, mesoskalige Organisation von Wolken, Wolkenrückkopplungseffekte)
- Aerosol- und Wolkenphysik (Untersuchung der Auswirkungen von Aerosolen auf Wolkenbildung, Struktur und Eigenschaften; Einfluss der dynamischen Prozesse auf die Mikrophysik von Wolken)
- Dynamik der Grenzschicht (Turbulenz, Mischungsprozesse)
- Atmosphäre-Ozean-Wechselwirkung (Untersuchung von Austauschprozessen)

gen Klimamodellen dargestellt. Ursachen dafür sind, dass diese Wolken zum Teil recht klein sind und sich mitten über dem Ozean bilden. Das macht es schwer, sie näher zu untersuchen. Die EUREC⁴A-Forschungskampagne ist eines der bislang größten Projekte zur Erforschung dieser Wolken und ihrer Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen. In einer vierwöchigen Messphase Anfang des Jahres 2020 haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein umfangreiches Bild erfasst, das die Klimaforschung einen wichtigen Schritt nach vorn bringen wird.

Wolken jagen zu Wasser und in der Luft

Ausgestattet mit Fernerkundungsmessgeräten und Dropsonden für meteorologische Untersuchungen nahm das deutsche Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) in Überflügen die Struktur der kompletten unteren Atmosphäre in den Blick. In einem kreisrunden Flugmuster in etwa neun Kilometer Höhe untersuchten die Forscherinnen und Forscher das Wolken- und Feuchtefeld sowie die in den Kreis ein- und ausströmende Luft; wichtige Faktoren bei der Bestimmung von Wolkenbildungsprozessen.



FORSCHUNGSFLUGZEUG HALO

Für die Forschungskampagne wurde HALO mit Fernerkundungsinstrumenten ausgestattet. An Bord waren ein Radar, ein Lidar (Light detection and ranging), ein Spektrometer, Radiometer und meteorologische Dropsonden. Für die Messungen über dem Ozean war besonders die lange Flugdauer entscheidend – ein Alleinstellungsmerkmal des Forschungsflyers. Neun Stunden flog er dasselbe kreisförmige Flugmuster ab. Ein weiterer Vorteil von HALO ist die Flughöhe: In Vorgängerkampagnen von EUREC⁴A führte das Flugzeug Messungen bis in 15 Kilometer Höhe durch.

POLARISATIONS-DOPPLER-RADAR (POLDIRAD)

Wellenlänge/Frequenz: 5,5 Zentimeter/5 Gigahertz

Antennendurchmesser: 5 Meter

Technische Besonderheit:

Senden und Empfang mit beliebiger Polarisation

Anwendungsgebiet: Messung von Niederschlag (Form, Phase sowie Geschwindigkeit)



Unterhalb der Flughöhe von HALO analysierten gleichzeitig eine ATR-42 – ein Flugzeug der französischen Forschungsorganisation CNRS – und eine Twin Otter – eine Turboprop-Maschine des britischen Polarforschungsprogramms British Antarctic Survey – innerhalb des Flugmusters die Eigenschaften und Organisation der Wolken. Flüge der US-amerikanischen WP-3D lieferten Messungen von weiter östlich über dem Ozean. Zusätzlich beobachteten vier Forschungsschiffe Ozean und Atmosphäre in der Umgebung von Barbados: die deutschen Forschungsschiffe METEOR und MARIA S. MERIAN, das US-amerikanische Forschungsschiff RONALD H. BROWN sowie das französische Forschungsschiff L'ATALANTE. Die Forschungsschiffe dienten dabei als Plattformen mit Radiosonden, Lidar- und Radar-Technik, Ballon-Drachen und unbemannten Flugsystemen.

Um Wolken gezielt anfliegen zu können und darin Proben zu nehmen, ist es wichtig, ihre genaue Position zu kennen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre brachten dazu das Niederschlagsradar POLDIRAD per Schiffs-transport auf die Insel. Seine Antenne hat einen Durchmesser von fünf Metern und liefert bis in große Entfernungen Informationen

über Wolken und Niederschlag über dem Ozean. Diese Messdaten wurden in Echtzeit an die Forschungsflugzeuge gesandt, damit die Flugrouten entsprechend angepasst werden konnten.

Eine Reise mit Hindernissen

Eigentlich ist das Wolkenradar POLDIRAD auf dem Dach des Instituts für Physik der Atmosphäre am DLR-Standort in Oberpfaffenhofen installiert. Für die EUREC⁴A-Mission wurde das System abgebaut und für die mehrmonatige Reise per Schiff über den Atlantik nach Barbados sicher in fünf Überseecontainern verstaut. Dass dabei nicht immer alles nach Plan laufen kann, ist wohl vorprogrammiert.

Auf dem Weg Richtung Karibik kam einiges zusammen: Sowohl geänderte Einfuhr- und Zollbearbeitung auf Barbados als auch die komplizierte Logistik des Transports sorgten im Team für nervenaufreibende Momente. Durch die Unterstützung der Kolleginnen und Kollegen vor Ort konnten die Container den Zollbereich gerade doch pünktlich zum Kampagnenbeginn verlassen. In einer Gemeinschaftsaktion wurde POLDIRAD innerhalb kürzester Zeit aufgebaut, getestet



Während der EUREC⁴A-Mission im Februar 2020: 360-Grad-Aufnahme von den beiden Piloten Dr. Marc Puskeiler (links) und Stefan Grillenbeck (rechts) mit dem Atmosphärenforscher Manuel Gutleben im Flugzeugcockpit

und in Betrieb genommen. Schon an seinem ersten Messtag zeigte sich das Potenzial des Radarsystems aus Oberpfaffenhofen. Es erfasste die horizontale und vertikale Struktur der Wolken bis in eine Entfernung von 250 Kilometer. Das Team arbeitete rund um die Uhr im Schichtbetrieb, um die zeitliche Veränderung der Wolken sowie den Tagesgang zu beobachten. Dank der Echtzeitmessergebnisse konnten die Piloten die Wolken über dem Atlantik vor Barbados anfliegen und die tieffliegenden Forschungsflugzeuge untereinander gut koordinieren.

Messungen rund um die Uhr

Eine wichtige Fragestellung der Fachleute ist, wie die unterschiedlichen Wolkenstrukturen entstehen und wie sie sich entwickeln. Um darauf Antworten zu finden, müssen die Forschenden sie möglichst über ihren kompletten Lebenszyklus beobachten – am besten sogar schon vor ihrer Entstehung. Die Wolkenstrukturen bilden sich meist am Ende der Nacht und verändern sich im Tagesverlauf aufgrund der Wechselwirkung mit der eintreffenden Sonnenstrahlung. Dementsprechend ist frühes Aufstehen wichtig. Während der Kampagne wurden die Flüge mit HALO gestaffelt zwischen 4 Uhr morgens und 20 Uhr abends (die aktivste Zeit der Wolkenstrukturen) durchgeführt. Dank der unterschiedlichen Forschungsflugzeuge konnten diese Beobachtungen sogar noch in die Nacht ausgedehnt werden. Ein gestaffelter Einsatz von WP-3D, ATR-42 und HALO ermöglichte eine fast 24-stündige Beobachtung von Umgebungsbedingungen, Wolkenentstehung und Wolkenentwicklung.

Für die Nachtflüge startete die WP-3D beispielsweise gegen 20 Uhr. Im Abstand von je vier Stunden folgten ATR-42 und HALO. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler treffen für solche Flüge jeweils rund drei Stunden vor dem geplanten Abflug am Flughafen ein, um die Instrumente für den Flug vorzubereiten und zu kalibrieren. Eine Stunde vorher kommen die, die an Bord mitfliegen, zusammen mit den Piloten und Technikern zum Flugzeug. Die Zeit, die jetzt bis zum Abflug bleibt, ist mit vielen Tätigkeiten ausgefüllt. Es ist wichtig, die Systeme noch einmal zu begutachten und den Ablauf des Fluges durchzusprechen. 15 Minuten vor Abflug müssen alle das Flugzeug verlassen, die nicht zur Crew gehören, und dann geht es los!

Während HALO ein festes Flugmuster abflog, fokussierte sich die ATR-42 darauf, gezielt Wolken und Niederschlagsgebiete anzufliegen und zu untersuchen; ein schwieriges Unterfangen auf einem Nachtflug. Zum Glück war das Wolkenradar POLDIRAD einsatzbereit und konnte



Das Aerosol- und Wasserdampf-Lidar des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre



Dr. Silke Groß im Forschungsflugzeug HALO



© Max-Planck-Institut für Meteorologie

Meteorologisches Observatorium BCO (Barbados Cloud Observatory) des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg in Deeples Point, Barbados

die nötigen Messungen direkt ins Flugzeug liefern. Nach etwa neun Stunden landeten die Flugzeuge wieder auf dem Flughafen von Barbados; Daten wurden gesichert, die Performance der einzelnen Instrumente bewertet, Probleme während des Fluges und Erfüllung der wissenschaftlichen Zielsetzungen besprochen, bevor es nach einem langen Tag endlich Richtung wohlverdientem Feierabend ging.

Neben den Messungen mit HALO hatte das DLR-Team gehofft, die Entwicklung der Wolken über dem Ozean mit POLDIRAD noch über einen längeren Zeitraum zu beobachten. Leider musste es Barbados

aufgrund der COVID-19-Maßnahmen früher verlassen, als es ursprünglich geplant war. Das Wetterradar POLDIRAD ist zurzeit immer noch auf Barbados und spielt dort eine wichtige Rolle für die Wettervorhersage in der Karibik, denn auf der Insel gibt es momentan ansonsten kein funktionsfähiges Wetterradar. Das Team aus Oberpfaffenhofen plant derzeit, sich im Herbst 2020 wieder auf den Weg in die Karibik zu machen, um die Messungen mit POLDIRAD fortzuführen.

Dr. Silke Groß arbeitet im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in der Abteilung Lidar und leitet die Arbeitsgruppe für Radar-Lidar-Synergie.



Geplanter Launch:
2022

Laufzeit:
Drei Jahre; plus ein Jahr Reservetreibstoff

Orbit:
393 Kilometer, sonnensynchron

Instrumentierung:
Doppler-Radar (94 GHz), Atmosphärenlidar (355 nm), multispektrales abbildendes Spektrometer, Breitbandradiometer

VORBEREITUNG AUF DIE KLIMAMMISSION EARTHCARE

EarthCARE (Earth Cloud Aerosol Radiation Explorer) ist eine Forschungsmission der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) und der Japanischen Raumfahrtagentur (JAXA) zur Erforschung von Aerosolen und Wolken sowie deren Zusammenspiel und Klimawirkung. Es handelt sich um einen Satelliten, der mit einem hochentwickelten Lidar (light detection and ranging), einem Doppler-Wolkenradar (radio detection and ranging) und Sensoren zur Strahlungsmessung ausgestattet ist – einer der komplexesten Satelliten zur Erforschung von Aerosolen und Wolken.

In der EUREC⁴A-Kampagne flog das Forschungsflugzeug HALO mit weitgehend vollständiger EarthCARE-ähnlicher Instrumentierung (Radar, Lidar, Spektrometer und Radiometer) – als eines von zwei Forschungsflugzeugen weltweit, mit denen dies möglich ist. Solche Messungen imitieren zukünftige EarthCARE-Messungen und ermöglichen erste Erfahrungen mit dem Zusammenspiel der Instrumente. Darüber hinaus können sowohl Algorithmen getestet und weiterentwickelt werden als auch die Stärken und Schwächen der künftigen Satellitenmessungen abgeschätzt werden; ein wichtiger Schritt in der Vorbereitung auf die zukünftige Satellitenmission.

DER WOLKENSAMMLER

Im Gespräch mit Prof. Dr. Bjorn Stevens, Direktor des Max-Planck-Instituts für Meteorologie im Hamburg und Leiter der Forschungskampagne EUREC⁴A.

Prof. Dr. Stevens, Sie haben die bislang größte internationale Wolkenforschungskampagne geleitet. Worin lagen besondere Herausforderungen?

• EUREC⁴A ist das Ergebnis von mehr als einem Jahrzehnt Arbeit, zum großen Teil eng zusammen mit meiner französischen Kollegin, Dr. Sandrine Bony, und einer besonders kooperativen und kreativen Gemeinschaft deutscher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem DLR und verschiedenen Universitäten, die in den letzten Jahren daran gearbeitet haben, HALO als eine der herausragendsten Forschungsplattformen weltweit zu etablieren. Wir hatten also einen guten Start. Dennoch entwickeln unterschiedliche Gruppen unterschiedliche Kulturen der wissenschaftlichen Praxis. In der Atmosphärenforschung interessieren wir uns oft für bestimmte Phänomene und suchen dann nach genau diesen Phänomenen, laufen also einem Signal hinterher. Aber daraus

„Manchmal ist das, was man nicht misst, informativer als das, was man misst“

ergibt sich ein verzerrtes Bild darüber, wie oft und wie stark Effekte auftreten. Für eine statistische Studie, wie wir sie durchführen wollten, bestand die größte Herausforderung darin, die Teammitglieder wieder und wieder davon zu überzeugen, dass das, was man nicht misst, manchmal informativer ist als das, was man misst: Um das Gesamtbild zu sehen, muss man auch verstehen, was und wie oft Dinge, die man erwartet, nicht im Bild sind. Dinge werden also durch ihre Abwesenheit bedeutsam.

Was ist Ihnen von der Kampagne besonders in Erinnerung geblieben? Und was haben Sie über Wolkenbildung und die Auswirkungen auf das Klima gelernt?

• Es ist noch zu früh, um genaue Aussagen dazu machen zu können, wie Wolken die Geschwindigkeit der globalen Erwärmung beeinflussen. Allerdings sind wir sehr zuversichtlich, dass wir genau die Daten gesammelt haben, die wir zur Beantwortung



© Max-Planck-Institut für Meteorologie, Foto: F. Batler

ung dieser Frage benötigen. Was mich am meisten beeindruckte, war, dass durch die sich ändernden Umstände neue Seiten an den Beteiligten sichtbar wurden. Sei es, dass junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Verantwortung übernahmen oder dass wir lokale Unterstützung erhielten, um unsere Messungen durchführen zu können. Auch was die Natur angeht, sind mir unauslöschliche Erinnerungen von der Kampagne geblieben: die Auswirkungen der Winde auf das Wasser als eine Luftschicht über dem Ozean, die durch verdunstenden Regen gekühlt wurde oder die Art und Weise, wie die Wolken in die Farben der untergehenden Sonne hineinfließen.

Wohin würden Sie für die Forschung gern als Nächstes reisen und warum?

• Im August 35 Grad West und 10 Grad Nord, also in den Nordatlantik etwa zwischen Venezuela und Guinea. Dort, in den tiefen Tropen, treffen Luftmassen von der Süd- und Nordhalbkugel aufeinander und erzeugen heftige Regenbänder, deren Bildung gewaltige Energiemengen freisetzt, die das Klima weltweit beeinflussen; diese Vorgänge verstehen wir bislang nur rudimentär und weitere Messungen wären nützlich.

Das Interview führte **Falk Dambowsky**, Presseredakteur im DLR.



© Max-Planck-Institut für Meteorologie



MESSEN IN DER ZEIT DES STILLSTANDS

Im Forschungsflugzeug HALO werden die Messinstrumente für den Einsatz vorbereitet

auf die Atmosphäre und wie stark wurden diese Emissionen durch die Einschränkungen aufgrund der Pandemie verringert? Welchen Beitrag liefert der Luftverkehr in der oberen Troposphäre? Das sind zentrale Fragen des Projekts BLUESKY, das im Frühjahr 2020 kurzfristig unter der Leitung des DLR und des Max-Planck-Instituts für Chemie ins Leben gerufen wurde. Zuvor waren bereits durch am DLR ausgewertete Satellitenmessungen Rückgänge der Stickstoffdioxidkonzentrationen in Industriezentren sowie ein deutlich verringertes Auftreten von Kondensstreifen über Europa nachgewiesen worden. Damit einher ging die Annahme, dass auch weniger andere Spurengase sowie Aerosole – mikroskopische Teilchen, die unter anderem bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen und Einfluss auf die Wolkenbildung nehmen – ausgestoßen werden. Im Gegensatz zu Satellitenaufnahmen, die aus einer beträchtlichen Distanz aufgenommen werden, können Messungen an Bord von Forschungsflugzeugen Daten viel genauer und feiner aufgelöst erheben und so das Gesamtbild vervollständigen.

Ein besonders blauer Himmel

Nach ersten Messflügen über Deutschland, die von Oberpfaffenhofen über Berlin und Hamburg ins Ruhrgebiet führten, ging es weiter in den Luftraum vor der irischen Küste und in die Grenzschicht der Gegend um Mailand. Die Region in der Po-Ebene ist ein wichtiger Industrie- und Wirtschaftsstandort in Norditalien. Aufgrund der weitgreifenden Pandemie-Maßnahmen der italienischen Regierung waren dort, ähnlich wie im Ruhrgebiet, die Chancen besonders gut, eine coronabedingte Verringerung der Luftschadstoffe in der Grenzschicht zu messen. Nach einem zwischenzeitlichen deutlichen Rückgang des Straßenverkehrs in den Wochen des Lockdowns waren mit den einsetzenden Lockerungen bereits wieder Autos auf den Straßen zu sehen und Fabriken fuhren ihre Produktion nach und nach wieder hoch. Von „Normalität“ konnte allerdings noch nicht gesprochen werden.

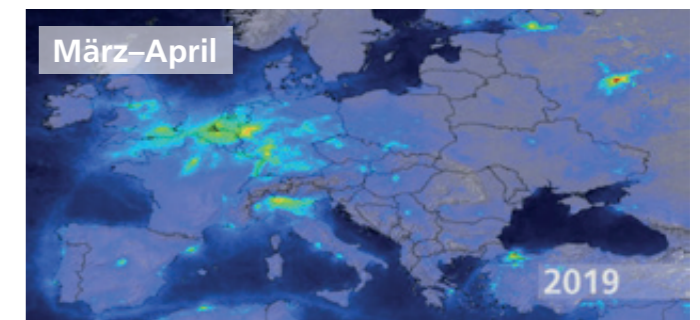
Für das BLUESKY-Team waren die Emissionen der urbanen Ballungsräume besonders interessant. Die Mailänder Abgasfahne verdriftete an diesem Tag nach Westen, verteilte sich im Umland und staute sich im Alpenvorland. Direkt über der Stadt und in der Region zeichneten die Instrumente der Falcon im Tiefflug eine hohe Aerosol- und Feinstaubbelastung in der Grenzschicht in einem bis zwei Kilometer Höhe auf. Im Gegensatz zu diesen Grenzschichtmessungen flogen die beiden DLR-Forschungsflugzeuge bei zwei Flügen in Reiseflughöhen zwischen zehn und zwölf Kilometern über dem Atlantik vor die irische Küste. Dort führte das Team Messungen zu den wenigen verbliebenen Emissionen des um 80 Prozent reduzierten Flugverkehrs durch.

Der Flugraum über Westirland wird von Passagier- und Frachtflugzeugen am Anfang ihrer Nordatlantikkreuzen auf dem Weg nach Amerika durchflogen. In der sauberen Luft über dem Ozean sind die Einflüsse des Luftverkehrs besonders gut messbar. Dabei standen besonders die Stickoxide und Aerosole aus dem Reiseflugverkehr im Fokus der Messungen von HALO und Falcon. Und tatsächlich – erste Ergebnisse der Falcon zeigten einen leichten Rückgang der Aerosole in der oberen Troposphäre. Neben verschiedenen anderen Einflüssen lassen solche niedrigeren Aerosolkonzentrationen in der Luft den Himmel blauer erscheinen.

Die Situation wird umfassend dokumentiert

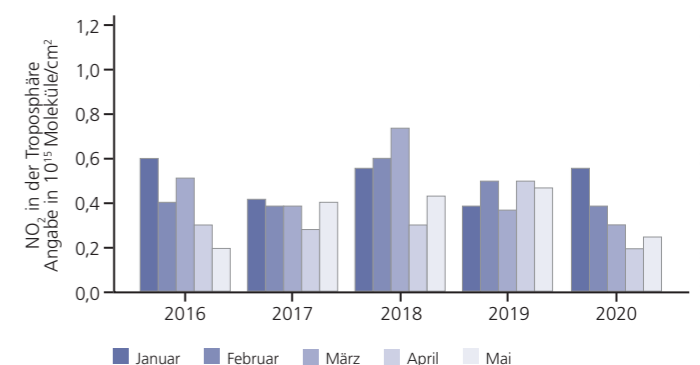
Insgesamt hoben Falcon und HALO im Mai und im Juni 2020 für BLUESKY 20-mal vom bayerischen Heimatflughafen ab. Die Daten der Mission werden bis Ende des Jahres ausgewertet. In die Analyse fließen Vergleichsdaten früherer HALO-Forschungsflugkampagnen zu Emissionen des Luftverkehrs sowie zu Emissionen von Ballungszentren mit ein. Spannend wird es auch im kommenden Jahr, wenn es weitere Messflüge geben wird, die dann (hoffentlich) die Situation nach der Pandemie dokumentieren werden.

Falk Dambowsky ist Presseredakteur im DLR und Valerian Hahn arbeitet als Doktorand im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre im Bereich Wolkenphysik.



Bereits vor den BLUESKY-Flügen ermittelte das Earth Observation Center des DLR (EOC) einen starken Rückgang von Stickstoffdioxid (NO₂) über Europa im Vergleich zum Vorjahr. Die Daten stammen von dem TROPOMI-Sensor an Bord des europäischen Copernicus Sentinel-5P Satelliten. Stickstoffdioxid ist ein Indikator für Luftbelastung durch industrielle Produktion und Verkehr.

STICKSTOFFDIOXIDKONZENTRATION IN DER ITALIENISCHEN PO-EBENE



Entwicklung des troposphärischen Stickstoffdioxids von 2016 bis 2020, gemessen mit dem GOME-2-Sensor an Bord der europäischen Wettersatelliten MetOp. Die Werte von März bis April 2020 sind im Vergleich zu denen der Vorjahre deutlich reduziert, während die Werte im Mai 2020 nach Aufhebung der Lockdown-Maßnahmen wieder angestiegen sind.



Messungen in den Wolken der Po-Ebene

Das Projekt BLUESKY erforscht die Atmosphäre während des Lockdowns

Von Falk Dambowsky und Valerian Hahn

Seit über 40 Jahren ist die Dassault Falcon des DLR für die Wissenschaft im Einsatz. Vor zehn Jahren war sie als „Volcano Ash Hunter“ in der Luft, während der Luftverkehr über Europa wegen des Ausbruchs des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull weitestgehend stillstand. Die Falcon sammelte damals bei Messflügen durch die Aschewolke wichtige Daten zur Lagebeurteilung für die Wiederaufnahme des europäischen Flugverkehrs. Im Mai 2020 startete sie zu einem weiteren Einsatz der besonderen Art: Während des coronabedingten Lockdowns untersuchte sie den Himmel, während viele Flugzeuge am Boden standen.

Bei diesen außergewöhnlichen Flügen war die Falcon allerdings nicht allein. Sie wurde begleitet von dem ebenfalls am DLR-Standort Oberpfaffenhofen stationierten Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft). Das Ziel des deutschen Forscherteams, in dem zahlreiche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre vertreten waren: die wenig belastete Atmosphäre in Zeiten der Corona-Pandemie vermessen.

Steuerung aus dem Homeoffice

Doch bevor die beiden Forschungsflugzeuge abheben konnten, mussten sie in der DLR-Einrichtung Flugexperimente in Oberpfaffenhofen kurzfristig umgerüstet werden: Zahlreiche Instrumente wurden eingebaut, angepasst und die Flugzeuge mussten für die anstehende Mission unter den herausfordernden Bedingungen modifiziert werden. Dabei hatte das Team Glück im Unglück: Die Einrüstung der Flieger für andere Messkampagnen war im vollen Gange, als die Arbeiten durch Corona-Maßnahmen ein jähes Ende fanden und die geplanten Flugvorhaben auf unbestimmte Zeit verschoben wurden. Dadurch waren viele wichtige Instrumente bereits an Bord von HALO und Falcon integriert und nur einige mussten neu eingebaut und modifiziert werden. Die DLR-weit verhängten Corona-Maßnahmen zwangen die Fachleute, neue Wege zu gehen. Kampagnenorganisation und Zulassungstätigkeiten für Flugzeuge und Instrumente mussten nun aus dem Homeoffice abgeschlossen werden. Um die Flugzeuge trotz der Einschränkungen möglichst schnell in die Luft zu bringen und gleichzeitig alle beteiligten Personen zu schützen, arbeiteten die Mitarbeitenden vor Ort in einem täglichen Schichtbetrieb mit minimaler Besetzung. Wo es ging, wurden Instrumente so umgebaut, dass sie während der Vorbereitung und der Forschungsflüge vom Homeoffice aus überwacht und gesteuert werden konnten.

Die Corona-Pandemie ist neben all ihren Auswirkungen für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine „Jahrhundertchance“, um Konzentrationen von Spurengasen und Aerosolen in der Luft über europäischen Ballungszentren sowie auf Reiseflughöhe entlang von Flugrouten zu messen. Welchen Einfluss haben Emissionen aus Industrie und Verkehr

EIN ALLROUND-TALENT IN DEN STARTLÖCHERN

Wasserstoff hat als Energieträger ein enormes Potenzial. Das DLR arbeitet daran, ihn umfassend nutzbar zu machen.

Von Denise Nüssle



Diese Anlage zur Wasserstoffversorgung steht im DLR Köln. Das Institut für Antriebstechnik nutzt sie, um neue, sparsame und leistungsstarke Gasturbinen für Luftfahrt und Energietechnik zu entwickeln und zu testen.

Die Poleposition im Periodensystem der Elemente hat er bereits inne. Mit der Ordnungszahl eins steht Wasserstoff ganz oben in der Tabelle. Wird er bald auch Champion der Energie- und Verkehrswende? Das Zeug dazu hat er: Er besitzt viel Energie, verbrennt sauber, kann gut transportiert werden und lässt sich über lange Zeit zuverlässig lagern. Das DLR ist dabei in allen Bereichen der Wasserstoffforschung und entlang der ganzen Prozesskette aktiv. Mit der Erfahrung aus mehreren Jahrzehnten arbeiten seine Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, die Möglichkeiten dieses Allround-Talents unter den Energieträgern zu nutzen.

Für saubere Mobilität, die effiziente Versorgung mit Strom und Wärme, als Speicher zum Ausgleich schwankender erneuerbarer Energien, als Grundlage für alternative Treibstoffe oder als Prozessgas in der Industrie – Wasserstoff ist als Energieträger sehr vielseitig, über die Sektorengrenzen hinweg einsetzbar und bietet so große Synergiepotenziale. Nachhaltig und wirtschaftlich erzeugter Wasserstoff ist deshalb ein zentraler Baustein, um den Ausstoß vor allem des schädlichen Treibhausgases CO₂ in den Bereichen Energie, Verkehr und Industrie massiv zu senken und dadurch dem Klimawandel zu begegnen. Der Aufbau einer sektorenübergreifenden und möglichst globalen Wasserstoffwirtschaft eröffnet gleichzeitig enorme Chancen für neue Technologien und Geschäftsmodelle.

Essenzielle Farbenlehre: grauer, blauer und grüner Wasserstoff

Wasserstoff kommt auf der Erde praktisch nur in chemisch gebundener Form vor, zum Beispiel in Wasser, Methan oder Biomasse. Um ihn als Energieträger nutzen zu können, muss der Wasserstoff zunächst aus diesen Verbindungen herausgelöst werden. Dies geschieht mittels Energie in Form von Strom oder Hochtemperaturwärme. Der sogenannte „graue“ Wasserstoff wird vorwiegend aus Erdgas gewonnen, aktuell macht er etwa 95 Prozent der weltweiten Produktion aus. Dabei entstehen erhebliche CO₂-Emissionen. Beim „blauen“ Wasserstoff trennt man diese Treibhausgase ab und speichert sie – oder man stellt Wasserstoff mittels Elektrolyse her und setzt dabei auf Strom aus Kernkraft. Nachhaltig und klimaneutral ist nur „grüner“ Wasserstoff. Bei seiner Herstellung kommen Wasser sowie Energie aus Sonnen-, Wind-, Wasserkraft oder Biomasse zum Einsatz. Bisher galt seine Produktion in relevanten Mengen als zu teuer. Prof. Dr. Karsten Lemmer, Vorstand des DLR für die Bereiche Energie und Verkehr, ist zuversichtlich, dass sich dies in Zukunft ändern wird: „Zunächst muss der Ausbau der

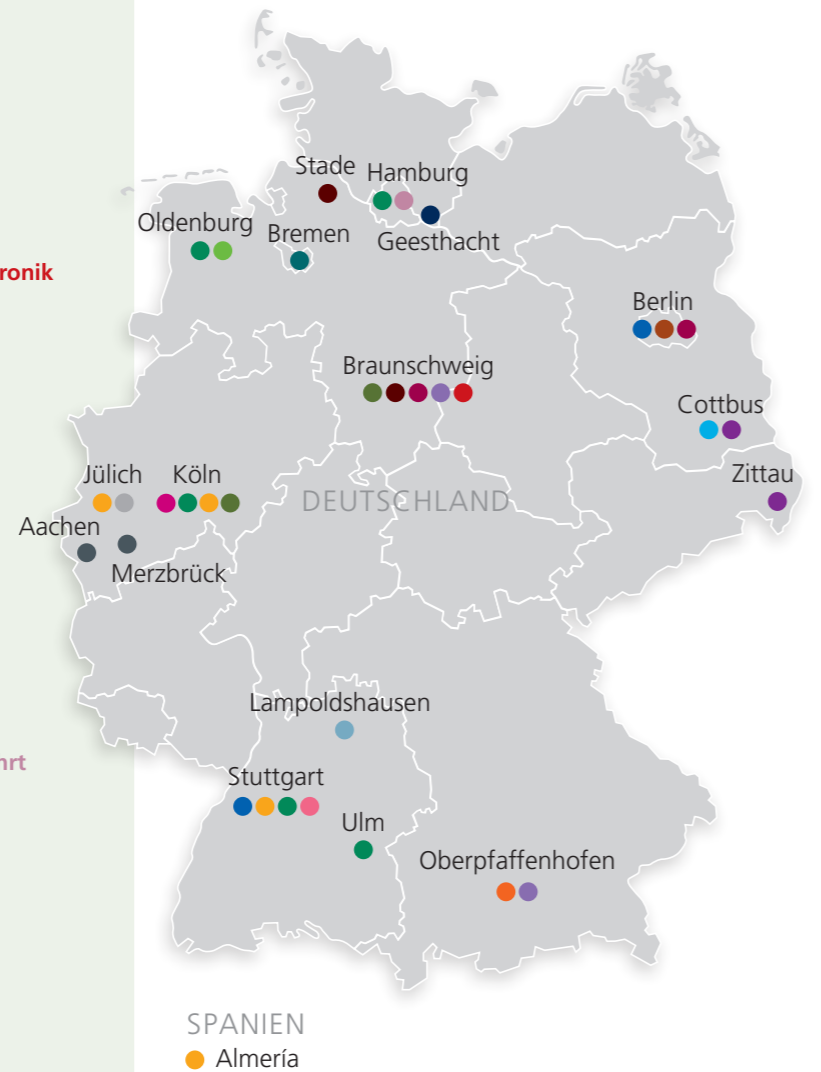
DER NATIONALE WASSERSTOFFRAT

Der Rat besteht aus 26 hochrangigen Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Die Mitglieder wurden im Juni 2020 vom Bundeskabinett ernannt und verfügen über Expertise in den Bereichen Erzeugung von Wasserstoff, Forschung und Innovationen, Dekarbonisierung von Industrie, Verkehr und Gebäude/Wärme, Infrastruktur, internationale Partnerschaften sowie Klima und Nachhaltigkeit. Der Rat berät und unterstützt den Staatssekretärsausschuss für Wasserstoff durch Vorschläge und Handlungsempfehlungen bei der Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Prof. Dr. Karsten Lemmer, DLR-Vorstand für Energie und Verkehr, ist Mitglied des Wasserstoffrats.

WASSERSTOFFFORSCHUNG IM DLR

INSTITUTE:

- Institut für Antriebstechnik
- Institut für CO₂-arme Industrieprozesse
- Institut für Fahrzeugkonzepte
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptionik
- Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Institut für Future Fuels
- Institut für emissionsarme Luftfahrtantriebe
- Institut für Maritime Energiesysteme
- Institut für Physik der Atmosphäre
- Institut für Raumfahrtantriebe
- Institut für Raumfahrtsysteme
- Institut für Solarforschung
- Institut für Systemarchitekturen in der Luftfahrt
- Institut für Technische Thermodynamik
- Institut für Verbrennungstechnik
- Institut für Verkehrsforschung
- Institut für Verkehrssystemtechnik
- Institut für Vernetzte Energiesysteme
- Flugexperimente
- Technologien für Kleinflugzeuge
- Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie



erneuerbaren Energien voranschreiten. Außerdem sollten kurzfristig große Elektrolysesysteme in Deutschland installiert werden. Damit gehen wir die ersten Schritte auf dem Weg, grünen Wasserstoff wettbewerbsfähig zu machen.“

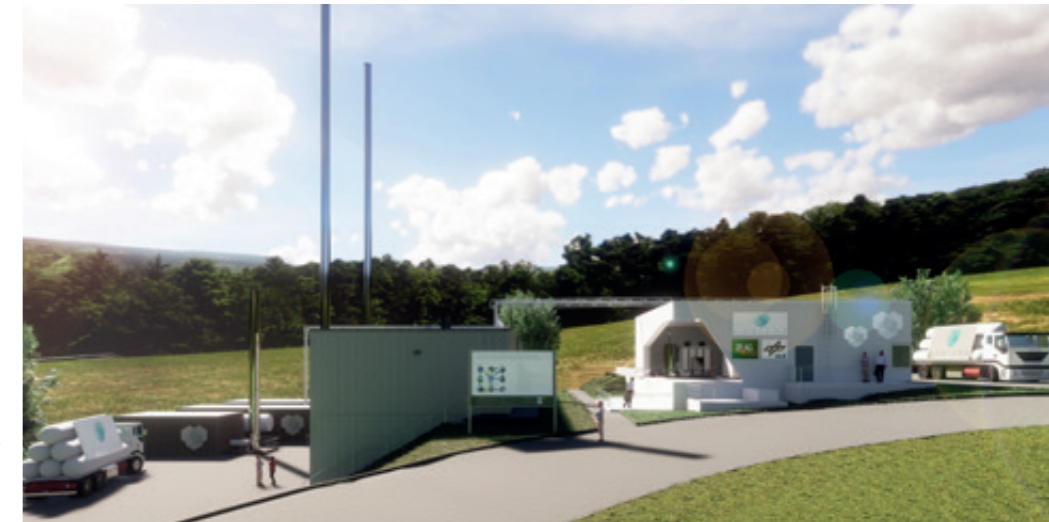
Wege zu grünem Wasserstoff: Elektrolyse und solare Verfahren

Um Wasserstoff in großindustriellem Maßstab herzustellen, forscht das DLR vor allem an zwei Methoden: der Elektrolyse und solarthermischen Verfahren. Die Elektrolyse ist die am weitesten entwickelte Technologie und bereits kommerziell verfügbar. Ihr Prinzip ist seit über 200 Jahren bekannt: Wasser wird mit Hilfe von Strom in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Drei Verfahren stehen aktuell im Mittelpunkt: die alkalische, die Protonen-Austausch-Membran- und die Hochtemperatur-Elektrolyse. Das DLR entwickelt alle drei Verfahren weiter. Aktuell gibt es in Deutschland eine installierte und mit erneuerbarem Strom gespeiste Elektrolyseleistung von insgesamt 30 Megawatt. Für den Umstieg auf

eine Wasserstoffwirtschaft müssten diese Kapazitäten massiv ausgebaut werden. Eine Studie der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) geht von einem Ausbau der installierten Elektrolyseleistung auf 137 bis 275 Gigawatt bis zum Jahr 2050 aus. Dafür werden sowohl kleinere, dezentrale Elektrolyseanlagen – beispielsweise an Tankstellen – als auch zentrale, großtechnische Elektrolyseure mit besonders hohen Wirkungsgraden benötigt.

Solarthermische Verfahren der Wasserstoffproduktion versprechen einen höheren Wirkungsgrad, benötigen aber große Flächen. Bei dem Prozess nutzen solarthermische Anlagen die Sonnenenergie, um Wärme zur thermochemischen Wasserspaltung zu produzieren. Das DLR entwickelt Komponenten und Verfahren weiter, um diese Anlagen möglichst effizient, langlebig und industrietauglich zu gestalten. Das neue DLR-Institut für Future Fuels wird hierzu wesentliche Beiträge leisten. Erste Pilotanlagen sind bereits in Betrieb, bis zur Marktreife des solaren Pfads der Wasserstoffherstellung wird es allerdings noch einige Jahre dauern.

Die H₂ORIZON-Anlage des DLR in Lampoldshausen soll mittels Elektrolyse „grünen“ Wasserstoff produzieren. Die Energie dazu kommt aus dem nahe gelegenen Windpark, der von dem Projektpartner ZEAG Energie betrieben wird. Der erzeugte Wasserstoff soll dann im Blockheizkraftwerk, für Brennstoffzellenfahrzeuge oder für Raketentriebwerkstests an den Prüfständen des Standorts eingesetzt werden.



Großer Wasserstoffbedarf erfordert nationale Produktion und Import

Um die stark steigende Nachfrage nach grünem Wasserstoff zu bedienen, wird es unabdingbar sein, auch die Kapazitäten im Bereich der erneuerbaren Energien deutlich zu erweitern. Deutschland hat dafür nur begrenztes Potenzial und Fläche. Hinzu kommen Akzeptanzprobleme, wie sie aktuell beispielsweise die Windkraft erfährt. „Wir werden es nicht schaffen, die Menge an grünem Wasserstoff, die für Energiewirtschaft, Industrie und Mobilität benötigt wird, in Deutschland zu erzeugen. Es werden internationale Lösungen gebraucht. Es sollte eine großskalige Wasserstoffproduktion in sonnenreichen Ländern etabliert werden. Solarthermische Verfahren haben das höchste Potenzial, die Produktionskosten drastisch zu senken. Für die Verteilung muss dann eine globale Wasserstofflogistik entstehen“, schlussfolgert DLR-Vorstand Prof. Dr. Karsten Lemmer.

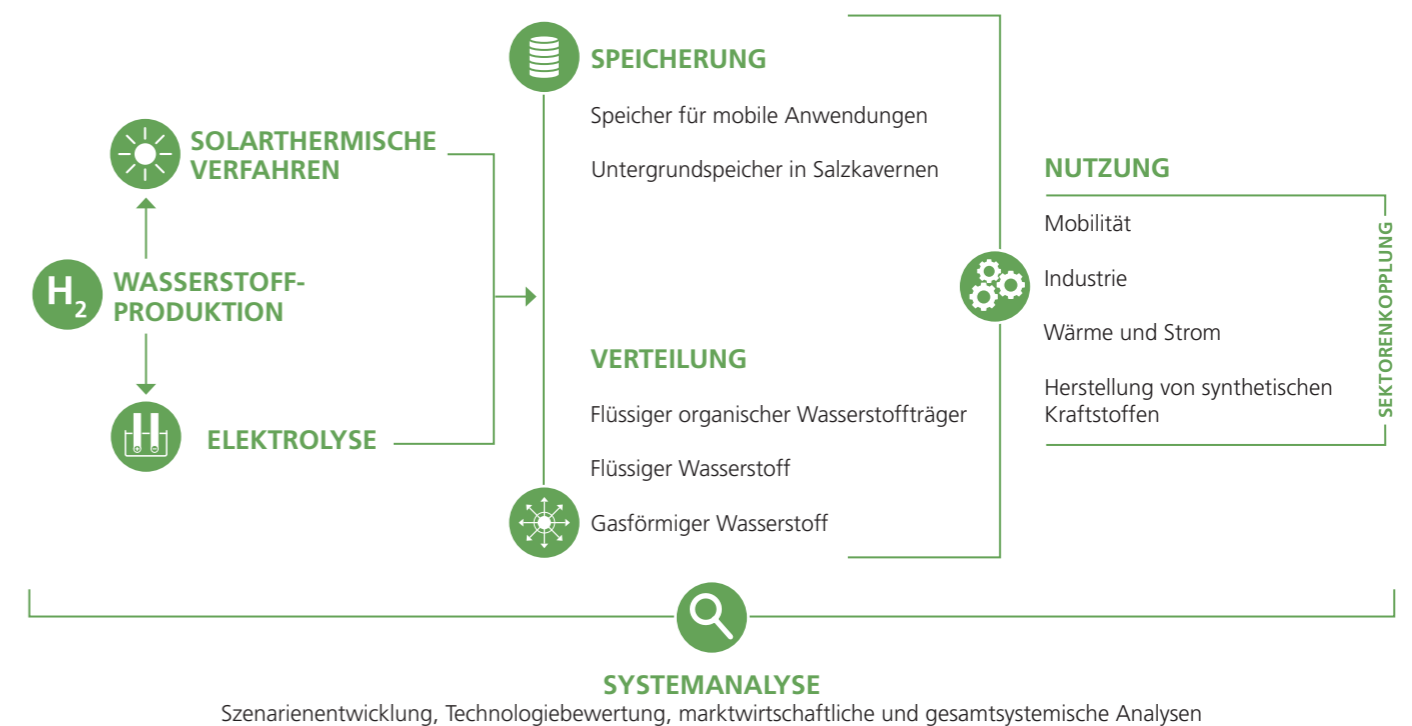
Innerhalb Europas bieten sich vor allem Gebiete in Spanien, Griechenland oder Süditalien an. Herstellung und Export von Wasserstoff könnten Elemente eines europäischen „Green Deals“ und Impulsgeber für

die Wirtschaft nach der Corona-Pandemie werden. Auch Staaten in Nordafrika und im Nahen Osten sind in dieser Hinsicht für Deutschland und Europa besonders interessant.

Transportieren, speichern, verteilen: Infrastruktur auf- und umbauen

Neben der Produktion ist auch der wirtschaftliche und zuverlässige Transport von Wasserstoff ein entscheidender Faktor für eine zukünftige Wasserstoffwirtschaft. Dabei geht es sowohl um die Transportwege von den globalen Produktionsorten bis zu Knotenpunkten in den Abnehmerländern als auch um die lokale Verteilung bis zum Endnutzer. Unterschiedliche Ansätze kommen dazu infrage: flüssiger Wasserstoff, die Umwandlung von Wasserstoff in Ammoniak, Methan oder in flüssige organische Wasserstoffträger. Im Moment steht noch nicht fest, welcher dieser Ansätze der wirtschaftlichste sein wird. Für die Strecke zum Endverbraucher wird Wasserstoff wohl weiterhin verflüssigt oder als Gas komprimiert und per Lkw angeliefert werden. Eine weitere Möglichkeit, um Wasserstoff zu transportieren und zu verteilen, ist der schrittweise Umbau des Erdgas- in ein

WASSERSTOFFPROZESSKETTE – VON DER HERSTELLUNG BIS ZUR NUTZUNG



Wasserstoffnetz. Das deutsche Gasnetz besteht aus einem Transportnetz von 40.000 Kilometern und einem Verteilnetz von 470.000 Kilometern. Es verfügt bereits über eine gewisse Wasserstofftauglichkeit. Für einen höheren Anteil an Wasserstoff müssten Materialien, Komponenten, Betriebsweise und Nutzeranforderungen genau untersucht und optimiert werden.

Ein wesentlicher Bestandteil der gesamten Wasserstoffinfrastruktur werden große Speicher sein. Mit ihrer Hilfe lassen sich saisonale Nachfragespitzen, wie der Beginn der Heizperiode oder Dunkelflauten, sicher abdecken. In Deutschland kommen dafür vor allem Unterspeicher in Salzkavernen infrage. Das DLR untersucht die Sicherheit, Wasserstoffqualität und Beständigkeit der eingesetzten Materialien solcher Speicheranlagen. Außerdem erforscht es mögliche Geschäftsmodelle für Produktion und Lagerung und analysiert die Standortpotenziale vor allem im Norden Deutschlands. Dieser eignet sich aus geologischen Gründen besonders für eine solche Infrastruktur.

Nachhaltige Wasserstoffmobilität für Straße, Schiene, Luft und Wasser

Grüner Wasserstoff ist dort eine nachhaltige Alternative, wo heute Benzin, Diesel, Kerosin oder Schweröl zum Einsatz kommen. Er bietet gleichzeitig den gewohnten Komfort von großen Reichweiten und schnellen Tankvorgängen. Brennstoffzellen zeichnen sich durch hohe Effizienz aus und verursachen außer Wasserdampf keine Emissionen – im Gegensatz zum direkten Verbrennen von Wasserstoff in Motoren und Turbinen. Das DLR entwickelt spezielle Brennstoffzellen sowie neuartige Wasserstofftanks für den mobilen Einsatz und integriert sie in die jeweiligen Gesamtsysteme, seien es Autos, Busse, Lastwagen, Züge, Flugzeuge oder Schiffe. Wasserstoffbasierte Antriebslösungen haben gegenüber Batteriekonzepten deutliche Vorteile, wenn es darum geht, schwere Lasten über weite Strecken zu transportieren.

Brennstoffzellenfahrzeuge für den Individualverkehr sind auf dem Markt bereits erhältlich. Die DLR-Fachleute analysieren deren Markt- und Einsatzpotenziale. Das Konzeptfahrzeug Safe Light Regional Vehicle (SLRV) des DLR wird über einen hocheffizienten Wasserstoffantrieb verfügen und voraussichtlich im Herbst 2020 als Prototyp seine ersten Runden drehen. Brennstoffzellenzüge sind auf Strecken ohne Oberleitung eine emissionsfreie Alternative zu Dieseltriebwagen. Das DLR hat in einer Studie den Markt für Züge mit hybriden Antriebskonzepten untersucht sowie gemeinsam mit dem Schienenfahrzeughersteller Alstom den weltweit ersten Brennstoffzellenantrieb entwickelt und erprobt. Weitere Züge und Testregionen sollen folgen. Erste Busse mit Brennstoffzelle fahren in Pilotprojekten schon auf den Straßen und mehrere Hersteller entwickeln Lkw mit dieser Antriebsform.



Reaktor zur thermischen Wasserstoffherzeugung mit Solarstrahlung im Hochleistungsstrahler Synlight des DLR Jülich



So könnte ein zukünftiges Flugzeug aussehen, das mit Wasserstoff angetrieben wird



Ein mit Wasserstoff betriebenes Brennstoffzellenauto als Dienstfahrzeug im DLR Oldenburg

Ein Schwerpunkt des neuen DLR-Instituts für Maritime Energiesysteme liegt auf der Nutzung von Wasserstoff für die Energieversorgung von Schiffen. Die Fachleute forschen an Aspekten wie Lebensdauer, Alltagstauglichkeit und der besonders effizienten Integration solcher Systeme, wenn zum Beispiel auf einem Schiff Strom für den Antrieb und gleichzeitig Kälte für die Kühlung der Fracht gebraucht werden. Gemeinsam mit Unternehmen und Forschungseinrichtungen arbeitet das DLR außerdem daran, die weltweit erste wasserstoffbetriebene Hochseefähre mit Brennstoffzellen vom Stapel laufen zu lassen.

In der Luftfahrt kann Wasserstoff als Treibstoff in modifizierten Gasturbinen zum Einsatz kommen. Dies ist besonders für große Flugzeugklassen interessant, erfordert allerdings die Entwicklung luftfahrttauglicher Wasserstoffspeicher und neuer Brennkammersysteme. Das Fliegen mit Brennstoffzelle und elektrischem Antrieb stellt bisher eine sehr komplexe technische Herausforderung dar, verspricht aber, besonders leise, effizient und emissionsfrei zu sein. Darüber hinaus können flüssige synthetische Treibstoffe auf Wasserstoffbasis das Fliegen deutlich nachhaltiger machen. Ihr Einsatz könnte in Zukunft nicht nur in der Luftfahrt gefragt sein, sondern auch überall dort, wo sich konventionelle Antriebe nicht ohne Weiteres durch klimafreundliche Alternativen wie Batterien oder Brennstoffzellen ersetzen lassen. Antriebskomponenten und Infrastruktur müssen dafür meist nur geringfügig angepasst werden. Im DLR-weiten Querschnittsprojekt Future Fuels untersuchen elf Institute die chemisch-physikalischen Eigenschaften solcher klimaneutralen Treibstoffe sowie deren Leistung, Zusammensetzung und wirtschaftliche Produktionswege.

Grüner Wasserstoff für Strom und Wärme

Auch der Energiesektor kann in Zukunft vom Allround-Talent unter den Energieträgern profitieren. Mit Brennstoffzellen und Gasturbinen lassen sich regelbarer Strom und regelbare Wärme erzeugen. Beides ist im Energiesystem von morgen, das auf schwankenden erneuerbaren Quellen beruht, eine zentrale Voraussetzung. So können Verbrauchsspitzen ausgeglichen werden. Dabei gilt es, möglichst hohe Wirkungsgrade zu erreichen.

Für die Umrüstung von bereits sehr effizient arbeitenden Gaskraftwerken auf Wasserstoff sind nur geringe Anpassungen notwendig. Das DLR forscht mit Turbinen- und Kraftwerksherstellern auf dem Gebiet der Brennstoffflexibilität und entwirft Konzepte, wie Gemische aus Erdgas und Wasserstoff möglichst stabil und schadstoffarm verbrennen.

Sektorenkopplung: Erfolgsfaktor Vernetzung

Eine zentrale Rolle in diesem Prozess wird die Sektorenkopplung spielen, also die Vernetzung von Mobilität, Energiewirtschaft und Industrie. Je mehr Technologien und Bereiche eingebunden werden, desto flexibler und stabiler wird das Gesamtsystem sein. Für dessen Nachhaltigkeit ist

grüner Wasserstoff entscheidend. Gleichzeitig dürfen Umweltkosten nicht in die Herstellungsphase der benötigten Komponenten vorverlagert werden – und mit Blick auf kritische Ressourcen gilt es, Lösungen für deren Ersatz oder Recycling zu finden. Trotz aller Herausforderungen blickt Prof. Dr. Karsten Lemmer hoffnungsvoll in die Zukunft: „Nur wenn wir vernetzt denken, die Sektoren Strom, Wärme, Mobilität und Industrie zusammen betrachten und ganzheitliche Lösungen finden, kann der Schritt in eine nachhaltige Wasserstoffwirtschaft gelingen.“

Denise Nüssle ist Presseredakteurin im DLR.



© DLR

KOMMT JETZT DIE WASSERSTOFFWIRTSCHAFT?

Wie, warum jetzt und weshalb wir? Mit Wasserstoff gegen die Klimakrise

Prof. Dr. Karsten Lemmer, DLR-Vorstand für Energie und Verkehr, im Kurzinterview.

Wasserstoff ist keine neue Entdeckung – warum soll ihm gerade jetzt der Durchbruch gelingen?

▪ Nachhaltig erzeugter Wasserstoff hat das Potenzial, der zentrale Baustein für ein Energie- und Verkehrssystem mit massiv reduzierten Treibhausgasemissionen zu sein. Im Gegensatz zu früher haben wir heute die Technologien und die weltweite Vernetzung – und durch den Klimawandel auch den dringenden Bedarf –, um die Nutzung grünen Wasserstoffs voranzutreiben. Wasserstoff kann direkt genutzt oder gespeichert werden oder die Basis zur Herstellung von flüssigen, nachhaltigen Brennstoffen bilden. Er wird schon lange erfolgreich beforscht, nur sind jetzt mutige Ansätze gefragt, Wasserstoff in großem Maßstab einzusetzen. Dafür hat die Bundesregierung mit der Nationalen Wasserstoffstrategie einen guten Anstoß gegeben. Deutschland kann für eine globale Wasserstoffwirtschaft eine Vorreiterrolle einnehmen. Das ist sowohl für das Klima als auch für den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort ein wichtiger Schritt.

Was brauchen Forschung und Unternehmen für den Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft?

▪ Jetzt muss massiv in Technologien und Demonstration, aber auch weiter in grundlegende Forschung investiert und die Rahmenbedingungen für eine breite Markteinführung geschaffen werden. Wichtig ist zu verstehen, dass es ein internationales Thema ist. Wir werden es nicht schaffen, die Menge an grünem Wasserstoff, die für Energiewirtschaft, Industrie und Mobilität benötigt wird, in Deutschland zu erzeugen. Es werden internationale Lösungen gebraucht. Um außerdem das eigene Erzeugungspotenzial auszuschöpfen und Technologien weiter zu erforschen, muss der Ausbau der erneuerbaren Energien voranschreiten. Außerdem sollten kurzfristig große Elektrolysesysteme in Deutschland installiert werden. Damit kann die Technologieführerschaft auf- und die Verteilinfrastruktur ausgebaut werden. Ergänzend sollte eine großskalige Wasserstoffproduktion in sonnenreichen Ländern etabliert werden. Solarthermische Verfahren haben das höchste Potenzial, die Produktionskosten drastisch zu senken. Für die Verteilung muss dann eine globale Wasserstofflogistik entstehen. Zur Etablierung von wasserstoffbasierten Antrieben in der Mobilität sind neben

Kostenbetrachtungen auch die Verbesserung von Infrastruktur und Produktangebot nötig. Und nicht zuletzt muss auch der Gesetzgeber aktiv werden. Nur effektive Markteinführungsinstrumente und Anreizsysteme können dafür sorgen, dass der grüne Wasserstoff seinen Beitrag für die Energie- und Mobilitätswende leisten kann.

Welche Unterstützung kann das DLR beim Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft leisten?

▪ Um die Potenziale des Wasserstoffs ausnutzen zu können, muss das Energiesystem in seiner Gesamtheit und mit all seinen Wechselwirkungen betrachtet werden. Hier hat das DLR über viele Jahre eine einzigartige Expertise durch Synergien zwischen Raumfahrt, Luftfahrt, Energie und Verkehr aufgebaut. Forschungsfragen bezüglich Wasserstoff gibt es dennoch reichlich: zukunftsweisende synthetische Treibstoffe, neue Technologien für Transport und Speicherung, Produktionstechnologien aus Wind und Sonne, Systemintegration auf allen Ebenen des Energiesystems, wasserstoffbasierte Sektorenkopplung auch zur Rückverstromung, systemanalytische Technikbewertung und Transformationsstrategien – um nur einige zu nennen. Das DLR forscht deshalb entlang der gesamten Systemkette. Beginnend mit der Herstellung von grünem Wasserstoff durch Elektrolyse oder solare Erzeugung über die Nutzung in Verkehr und Industrie und in der Energiewirtschaft, bietet Wasserstoff Lösungsbeiträge für die Probleme unserer Zeit – von einer grünen Stromversorgung bis zu CO₂-freiem Verkehr.

Das Interview führte Denise Nüssle.

STARKES DUO

Der Multifokusturm erweitert das Potenzial der Solarforschung im DLR Jülich

DER SOLARTURM

Der Solarturm Jülich ist das einzige solarthermische Turmkraftwerk in Deutschland. Er wird ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke genutzt. Das DLR erforscht hier neue Solarturmtechnologien, Prozesse für die Herstellung von solaren Treibstoffen oder für die Nutzung von solarer Prozesswärme in der Industrie.

Die konzentrierte Sonnenstrahlung trifft auf den Receiver. Dort wird Umgebungsluft bis auf 700 Grad Celsius erhitzt und weiter zu einem Dampferzeuger geleitet. Der Dampf treibt eine Turbine an, ein Generator erzeugt den Strom.

Der in die Anlage integrierte keramische Wärmespeicher stellt sicher, dass auch bei Wolkendurchzügen Strom produziert werden kann.

Auf der Forschungsebene finden aktuell Experimente zur Weiterentwicklung der Luftreceiver-technologie statt.

Höhe 60 Meter

Der **Receiver** nimmt die Sonnenstrahlen gebündelt auf

In der **Dampfkesselanlage** wird die erhitzte Luft zu Dampf

Der **Wärmespeicher** nimmt die Energie aus der heißen Luft auf, wenn sie nicht zur Dampferzeugung genutzt wird

Zwei **Gebläse** lassen die heiße Luft zirkulieren

Die **Forschungsebene** bietet Raum für die Installation von Versuchsständen

Niederspannungsraum/ Gebäudetechnik

Leitstand

Wasseraufbereitung

Dampfturbine und Generator

Pumpe und Kondensator

Zielfläche zur Kalibrierung der Heliostate (bewegliche Spiegel zur Konzentration des Sonnenlichts)

Höhe 52 Meter

Versuchsebene 3 mit Partikelreceiver

Versuchsebene 2 für verfahrenstechnische Anwendungen wie die solare Herstellung von Wasserstoff

Verbindungsbrücke zwischen den Türmen

Versuchsebene 1 mit Salzschnmelze-Receiver

Infrastruktur für Versuchsebene 1: Pumpe, Tank, Wärmetauscher

Ausbaubereich für zukünftige Installationen: Wegen seiner Deckenhöhe wird dieser Raum Kathedrale genannt

Technikbereich für den Partikelreceiver

Lager für technische Gase

DER MULTIFOKUSTURM

Der neue Multifokusturm enthält drei Versuchsebenen, auf denen verschiedene Technologien gleichzeitig getestet werden können. Erste Experimente auf den Ebenen sind:

- **Partikelreceiver HEHTRES:** Dieser Wärmeempfänger nutzt millimeterkleine Keramikkügelchen, um Wärme aufzunehmen, zu speichern und zu transportieren,
- **Hochtemperaturprozess** zur solaren Herstellung von Wasserstoff,
- **Salzschmelze-Receiver HPMS-II:** Hier wird Salz als Trägermedium für Hochtemperaturwärme erprobt.



Dr. Bilge Saruhan-Brings arbeitet am DLR-Institut für Werkstoff-Forschung in Köln. Sie ist Leiterin der Gruppe Funktionsschichten in der Abteilung Hochtemperatur- und Funktionsschichten und wird das H2020-Projekt BAT4EVER zur Entwicklung selbst heilender Batterien leiten. Das Bild zeigt sie mit ihrem Team bestehend aus Delale Korkut, Jenny Roth und Dr. Apurba Ray (von links) im Elektrochemie-Labor.

PFLASTER UNTER STROM

DLR-Team entwickelt besonderen Energiespeicher

Von Julia Heil

Wiederaufladbare Lithium-Ionen-Batterien haben in unserem Alltag ihre Vorzüge längst unter Beweis gestellt. Ihre Nachteile aber leider auch: Neben einer unzureichenden Lade- und Entladegeschwindigkeit verringert sich ihre Stromspeicherkapazität nach mehreren Lade- und Entladezyklen. Sie überhitzen rasch und können sich sogar entzünden. Kurz: Sie sind sehr versagensanfällig. Wenn eine solche Batterie beschädigt wird, können außerdem gesundheitsgefährdende, umweltschädliche Elektrolytkomponenten austreten. Dies gilt auch für andere Stromspeicher, die flüssige Elektrolyte nutzen. Ein Team aus dem DLR-Institut für Werkstoff-Forschung arbeitet an einem Herstellungsprozess für einen flexiblen, umweltfreundlichen Stromspeicher, der genau diese Nachteile minimieren kann. Er heißt „Polycap“ und kann elektrischen Strom sehr schnell aufnehmen und abgeben. Dabei ist er biegsam und leicht, ähnlich wie ein Pflaster. Die Redaktion des DLRmagazins wollte von Dr. Bilge Saruhan-Brings wissen, was es damit auf sich hat.

Li-Ionen-Batterien bergen im alltäglichen und insbesondere im flexiblen Gebrauch Gefahren und Nachteile. Was ist das Besondere Ihrer neuen Entwicklung?

Wir nennen diese neuen Stromspeicher Polycaps. Sie können sich nicht entzünden, sind umweltfreundlich und außerdem so dünn und flexibel, dass sie sich wie Pflaster auf einem Trägermaterial befestigen lassen. Sie können in Bauteile und Textilien, wie Stoffe auf Passagiersitzen, Fahrzeugtüren oder Flugzeugflügel, integriert werden. Wir können sie aber auch direkt auf unterschiedlichen Oberflächen herstellen. Auch der Einbau an

schwer zugänglichen Stellen, wie Windkraftanlagen und Satelliten, oder mobilen Geräten, wie Notebooks und Smartphones, ist kein Problem. Unsere Polycaps haben eine niedrigere Energiedichte als Batterien, können aber mehr als 30.000 Ladezyklen durchlaufen. Eine herkömmliche Lithium-Ionen-Batterie schafft gerade mal ein paar tausend Be- und Entladezyklen.

Wie kamen Sie eigentlich auf den Namen?

Polycaps leitet sich her von dem Begriff Supercaps, englisch für Superkondensatoren. Supercaps sind Hybride zwischen Batterie und Kondensator. Batterien können eine gegebene Energiemenge über einen längeren Zeitraum speichern, also mehrere Stunden. Kondensatoren nehmen viel geringere Energiemengen über eine sehr kurze Zeit auf – Sekunden bis wenige Minuten – und geben sie sofort wieder ab. Supercaps sind in der Lage, moderate Energiemengen in wenigen Minuten oder sogar Sekunden aufzunehmen und wieder abzugeben und diese über kurze Zeit zu speichern. Sie werden häufig als Brücke zwischen Energiequelle und Batterie eingesetzt, um beispielsweise Strom zwischenspeichern. Das kann in Solaranlagen sein, wo sie die Energie von den Kollektoren auf die Batterie übertragen. Polycaps sind eigentlich Superkondensatoren, aber statt eines flüssigen Elektrolyts besitzen sie ein Polymer-Elektrolyt. Wir wollen diese Technologie demnächst sogar auf Batterien übertragen.

Für die bräuchten Sie dann wieder einen neuen Namen ...

Ja, sicher! Wir werden sie einfach „PolyBat“ nennen.

Woraus bestehen diese Polycaps? Wie können sie den umwelt- und gesundheitsschädlichen Elektrolytverlust, der bei Supercaps und Batterien entstehen kann, vermeiden?

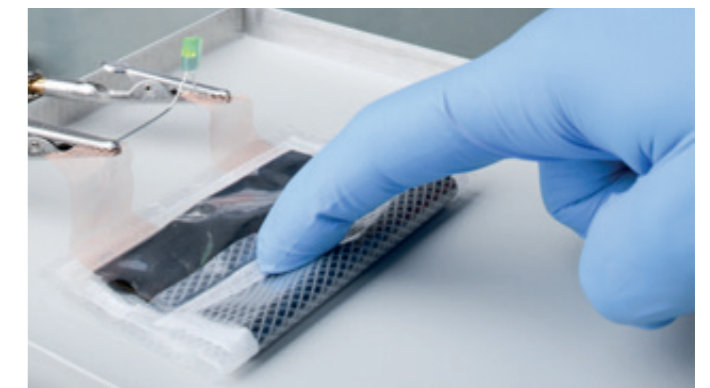
Die Elektroden bestehen aus Kohlenstoffverbindungen, denen ein Polymer hinzugefügt wurde. Dies ist viel umweltfreundlicher als die Elektroden von Lithium-Ionen-Batterien, die aus Lithiumverbindungen bestehen. Die leitenden Polymere unserer Polycaps fungieren außerdem als Bindemittel für unsere Elektroden. Momentan verwendet man als Bindemittel eine Kombination von schwer zu entsorgenden, mechanisch schwachen und giftigen organischen Chemikalien. Unsere Polymere binden nicht nur, sondern erhöhen auch die Leitfähigkeit der Elektroden und damit die Kapazität. Statt eines flüssigen Elektrolyts verwenden wir ein Polymergel. Dadurch erhält unser Elektrolyt eher den Charakter eines Festkörpers und ist gegen Auslaufen gesichert. Auch unsere Stromkollektoren enthalten Polymere und keine herkömmlichen Aluminiumfolien. Das macht sie leichter und flexibler. Ich kann die Polycaps knicken, rollen und falten, aber sie funktionieren trotzdem noch einwandfrei. Außerdem halten sie Theroschocks, Strahlungsbelastungen und Vakuum gut aus.

Wie stellen Sie die Polycaps eigentlich her?

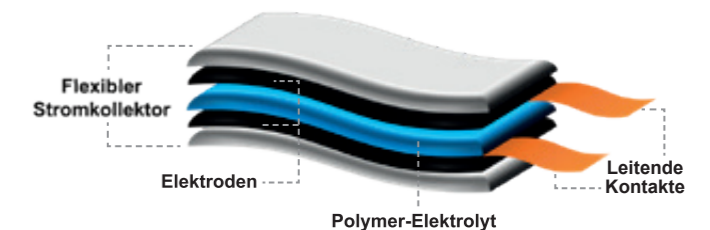
Bei der Entwicklung orientieren wir uns an den bekannten Mechanismen der Lithium-Ionen-Batterien. Wir haben uns das Ziel gesetzt, die neuen Stromspeicher so umweltfreundlich, kostengünstig und hochleistungsfähig wie möglich zu produzieren. Für die Elektroden verwenden wir eine Kombination aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen und leitenden Graphenpartikel. Eingebettet in die Polymere bilden sie sehr flexible und gleichzeitig extrem stabile Schichten.

Welche Anwendungen haben Sie im Visier?

Wir können uns viele Einsatzbereiche vorstellen, beispielsweise in der Raumfahrt, im Sicherheits- oder im Mobilitätssektor. Überall dort, wo es auf jedes Gramm ankommt und wo hohe Energie für kurze Zeit benötigt wird. Durch die Polymere können wir den Polycaps außerdem besondere Eigenschaften verleihen. Damit lassen sie sich beispielsweise wie piezoelektrische Sensoren nutzen: Sie setzen Energie frei, wenn man draufdrückt – der Sensor reagiert also, wenn eine äußere Kraft auf ihn wirkt.



Rollen, knicken, falten, all das macht dem neuartigen Pflaster-Energiespeicher nichts aus. Die Grafik unten zeigt den Aufbau eines sogenannten Polycaps.



Wäre dieser neue Stromspeicher auch etwas für Flugzeuge?

Ja, daran haben wir besonders gedacht: In Flugzeugen könnten die Polycaps in Verbindung mit thermoelektrischen Generatoren (TEGs) in die Passagiersitze integriert werden. Die TEGs erzeugen elektrischen Strom durch den Unterschied zwischen Umgebungs- und Körpertemperatur der Passagiere. Dieser wird in die Polycaps eingespeist und kann zur Versorgung der Bordelektronik beitragen. Außerdem können Polycaps zusammen mit unterschiedlichen Energiewandlern an dezentralen Stellen angebracht werden, an denen Stromversorgung benötigt wird.

Wenn Sie die Polycaps schon mit Pflastern vergleichen – kommen auch Anwendungen im Gesundheitswesen infrage?

Ja, auch dort eröffnen sie neue Möglichkeiten. Die Pflaster-Batterien können, mit diversen Stromgeneratoren und Sensoren ausgestattet, im Alltag oder in der Klinik Informationen über den Gesundheitszustand von Patienten aufnehmen und übermitteln. In die Kleidung integriert, lassen sich mit ihnen Daten speichern, ähnlich wie es heutige Smart-Watches tun. Außerdem können Sensoren in die Batteriezellen eingebettet werden, um ihre Lebensdauer zu überwachen. Die Zellen können auch so konzipiert werden, dass sie gleichzeitig als Kleinlastsensoren wirken. In unserem H2020-Projekt BAT4EVER werden wir daran forschen, selbst heilende Polymere in die Batteriekomponenten einzubringen. Diese Polymere sind so zusammengesetzt, dass die funktionalen Seitenketten der Moleküle wie Magnete immer wieder zusammenfinden. Dadurch überstehen sie Dellen, Löcher und sogar Schnitt-„Wunden“ und können über einen viel längeren Zeitraum mit hoher Leistung mehrere Male be- und entladen werden.

Julia Heil ist Redakteurin im Bereich Kommunikation des DLR.

WAS SIND POLYMERE?

Polymere sind chemische Verbindungen. Es sind große Moleküle, die aus sich wiederholenden Einheiten zusammengesetzt sind. Im Fall der Polycaps-Elektrolyten bilden die Polymere eine Matrix, in die das Elektrolytmaterial eingebettet ist. Dadurch erhält der Elektrolyt den Charakter eines flexiblen Festkörpers.

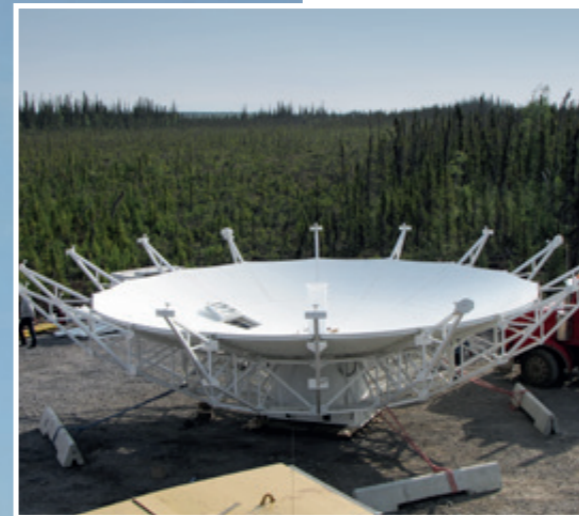
JUBILÄUM JENSEITS DES POLARKREISES

Ein Jahrzehnt Satellitendatenempfang im arktischen Inuvik

Von Bernadette Jung



Die Satellitenbodenstationen der Inuvik Satellite Station Facility sind seit Juni 2019 mit Werken regionaler Künstler geschmückt. Die Kunstwerke symbolisieren bedeutende Aspekte der traditionellen Lebensweise der indigenen Bevölkerungsgruppen von Inuvik. Das Bild auf der DLR-Antenne stammt von Ronnie Simon vom Volk der Gwich'in. Rechts: Der Stationsaufbau im Jahr 2009.



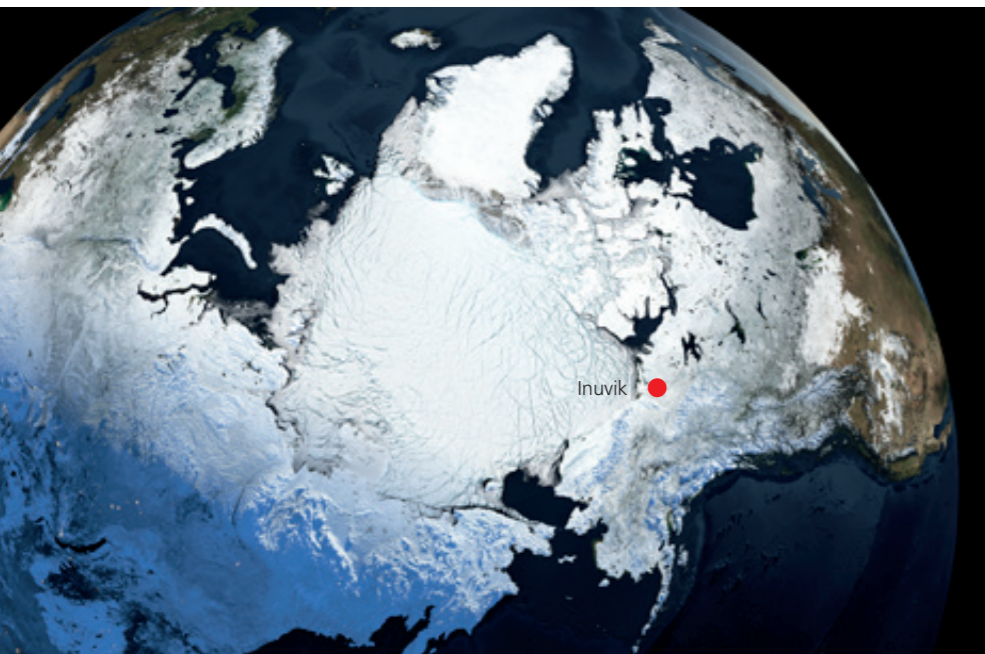
Wenn die Sonne scheint und es windstill ist, erscheinen die minus zehn Grad Celsius Jahresdurchschnittstemperatur in Inuvik harmlos. Doch wenn das Wetter umschlägt, zeigt die Arktis ihre wahre Natur. Auf dem endlos blauen Himmel ballen sich Sturmwolken zusammen, peitschende Böen entladen sich und innerhalb von Minuten verschwinden Gebäude und Sträucher konturlos in Weiß auf Weiß. Im Winter sinkt das Thermometer auf bis zu minus 45 Grad. Im kurzen Sommer hingegen steigen Wolken von Stechmücken aus den unzähligen Pfützen, Tümpeln und Seen auf. Bei bis zu plus 30 Grad Celsius verwandelt sich der Permafrostboden in Morast. Warum sollte ausgerechnet hier jemand eine Bodenstation errichten?

Inuvik liegt nördlich des Polarkreises in den Nordwest-Territorien Kanadas. Knapp 150 Kilometer sind es zum Arktischen Ozean, keine 2.500 Kilometer zum Nordpol. Seit zehn Jahren betreibt das Earth Observation Center (EOC) des DLR in dieser unwirtlichen Gegend eine Antenne zum Empfang von Satellitendaten. Die Anlage ist – neben der Antarktis-Empfangsstation GARS O'Higgins – die zweite polnahe DLR-Bodenstation. Die Standorte jenseits der Polarkreise erlauben mehrere Kontakte täglich zu ein und demselben Satelliten. Denn ihr Orbit führt die meisten Erdbeobachtungssatelliten etwa alle 45 Minuten in die Nähe der Pole. In Inuvik können so täglich bis zu zweieinhalb Stunden lang die Daten eines Satelliten empfangen werden. Unverzichtbar für datenintensive Missionen, wie beispielsweise die deutsche TanDEM-X-Mission zur dreidimensionalen Vermessung der Erdoberfläche. Seit 2018 ist die Antenne zudem für das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus im Einsatz und empfängt Messungen des Umweltsatelliten Sentinel-5P.

Mittlerweile ist die Antenne auch nicht mehr allein. War sie bei ihrer Einweihung lediglich von Bäumen und Menschen umgeben, konnte die DLR-Bodenstation ihr rundes Jubiläum im Juni 2020 auch in technologischer Gesellschaft feiern: Um sie herum ist – unter Hoheit des kanadischen Erdbeobachtungszentrums CCMEO (Canada Centre for Mapping and Earth Observation) – die Inuvik Satellite Station Facility (ISSF) entstanden, die nun insgesamt fünf Antennen umfasst.

Angekommen – indigene Kunst und Plausch beim Einkaufen

Die Lage im Permafrost stellt besondere Anforderungen an den Antennenbau. 16 Tragpfeiler wurden jeweils 14 Meter tief in den Permafrostboden getrieben und halten die 31 Tonnen schwere Anlage auch bei arktischen Stürmen und Tauwetter stabil. Nur so kann der 13 Meter große Reflektor



Ein besonderer Platz in der Arktis

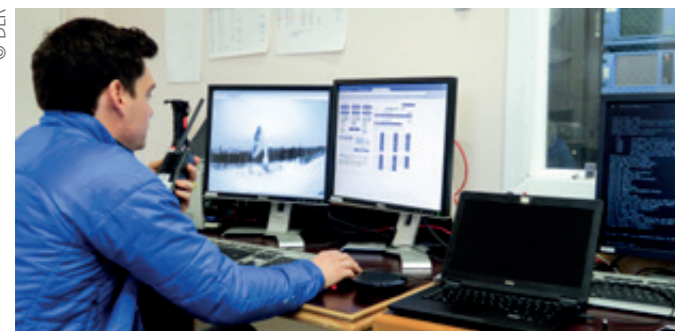
Inuvik liegt auf dem 68. Breiten- und dem 133. Längengrad in Kanada und ist ganzjährig per Straße über den Dempster Highway oder mit regionalen Fluglinien erreichbar. „Inuvik“ bedeutet in der Sprache Inuktitut so viel wie „Ort der Menschen“. Die Stadt wurde 1953 als logistisches Zentrum im Norden der Northwest-Territorien gegründet und hieß zunächst New Aklavik. 1958 wurde sie in Inuvik umbenannt. 60 Prozent der Menschen, die dort leben, haben eine europäische Herkunft, 25 Prozent der Einwohner zählen zu den Inuit und 15 Prozent zu den Métis (Stand 2018). Neben Englisch werden hier vor allem die einheimischen Sprachen Inuktitut und Gwich'in gesprochen.

die Zielsatelliten exakt anpeilen und auch bei extremen Wetterbedingungen während der Überflüge zuverlässig Kontakt halten. Bis heute hat die DLR-Antenne mehr als 30.000 Passagen allein der TanDEM-X-Satelliten aufgezeichnet. Täglich werden bis zu 350 Gigabyte Datenfracht empfangen und an das EOC in Oberpfaffenhofen weitergeleitet.

Doch nicht nur ihr Fundament macht die Bodenstation einzigartig: Statt des üblichen weißen Anstrichs leuchten die Antennen in Inuvik



Dr. Erhard Diedrich, Abteilungsleiter Internationales Bodensegment im EOC, war von Anfang an dabei – in Inuvik sowie bei der Antarktisstation GARS O'Higgins, die vor 30 Jahren aufgebaut wurde



Im Kontrollraum vor Ort überwacht und steuert ein EOC-Mitarbeiter die mechanischen Arbeiten an der Antenne

seit einem Jahr in kunstvoller Farbenpracht. Die DLR-Antenne ziert das Motiv eines traditionellen Eisfischers. Das Bild stammt vom regionalen Künstler Ronnie Simon und ist Teil des Projekts „Antenna as Canvas“. Die Kunstinstallation verwandelt die Erdbeobachtungstechnologie in ein weithin sichtbares Zeichen der Verbundenheit zwischen den indigenen Bevölkerungsgruppen und den Stationsbetreibern in Inuvik. So waren die Repräsentanten der Gwich'in, Inuvialuit und Métis auch beim Aufbau der Station von Beginn an miteinbezogen und segneten die Anlage 2010 bei ihrer Einweihung.

Jeder der rund 3.500 Einwohnerinnen und Einwohner kennt die Satellitenbodenstation, die von einer Anhöhe aus auf die Straße zwischen Ortschaft und Flughafen von Inuvik blickt, die Lebensader der lokalen Versorgungs- und Infrastruktur. Dank des Dempster Highways und regionaler Fluglinien ist der Standort ganzjährig erreichbar. Auch „the Germans“ sind bekannt, wie Dr. Erhard Diedrich vom Earth Observation Center weiß. Die Anlage wurde inzwischen weitestgehend automatisiert und kann von Deutschland aus betrieben werden, doch zwei bis drei DLR-Mitarbeitende sind mehrmals im Jahr für Wartungsarbeiten vor Ort. Dr. Diedrich ist für die DLR-Bodenstation verantwortlich und daher regelmäßig in Inuvik: „Ah, you are from the satellite station.“ Wenn ich in der Stadt einkaufen gehe und meine DLR-Jacke trage, werde ich oft angesprochen und in ein Gespräch verwickelt. Es ist wirklich ein schönes Gefühl, dass uns die Menschen so positiv begegnen.“ Eine Entwicklung, auf die der Fernerkundungsexperte stolz ist, da es anfangs viel Erklärungsbedarf gab. „Die Reaktionen der Einheimischen waren früher oft ungläubiges Staunen und auch ein wenig Kopfschütteln, wenn ich erzählt habe, was ich in Inuvik mache“, erinnert sich Diedrich. Nach mehr als zehn Jahren Aktivität des EOC-Teams gehört die Empfangsanlage heute wie selbstverständlich hierher, sie ist in den Köpfen der lokalen Bevölkerung angekommen.

Nachhaltig – Forschung statt Rohstoffabbau

Aufbau und Betrieb der Arktisantenne waren aber nicht nur für die deutschen Forschenden eine Herzensangelegenheit. Die kanadischen Regierungsbehörden und Forschungspartner haben das ambitionierte Vorhaben der Oberpfaffenhofener seit der ersten Kontaktaufnahme unterstützt und sind bis heute treibende Kraft für Fernerkundungsaktivitäten in Inuvik. Wie das örtliche Aurora College zählt auch die Satellitenbodenstation ISSF mit der DLR-Antenne zu den nachhaltigen Einrichtungen, die in Inuvik dringend gefragt sind. Der Norden Kanadas ist seit Jahrzehnten

© C-CORE



INUVIK SATELLITE STATION FACILITY

Die DLR-Bodenstation in der Arktis wird vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des Earth Observation Centers betrieben. Sie ist auf dem Gelände der Inuvik Satellite Station Facility (ISSF) beheimatet, die von der kanadischen Erdbeobachtungsorganisation CCMEO (Canada Centre for Mapping and Earth Observation) geleitet wird.

Auf der ISSF befinden sich vier weitere Antennenanlagen, die von der schwedischen Raumfahrtagentur SSC (Swedish Space Corporation), vom Ministerium Natural Resources Canada und von der französischen Raumfahrtagentur CNES (Centre national d'études spatiales) betrieben werden.

von der Rohstoffexploration geprägt, welche das hochsensible Ökosystem der Arktis zunehmend belastet und auch die regionale Wirtschaft durch schwankende Erträge in Mitleidenschaft zieht.

So führten Gespräche zwischen DLR, CCMEO und der Regierung der Northwest-Territorien zu einem besonderen Ausbau der Bodenstation – in einem Herkulesakt wurde eine Glasfaserverbindung nach Inuvik verlegt. Der „Mackenzie Valley Fibre Link“ durchquert mehr als 1.115 Kilometer arktischen Permafrostboden und wurde 2017, innerhalb von zwei Jahren, realisiert. Zuvor stellten Mikrowellen-Relais-Stationen entlang des Dempster Highways die Telekommunikation des Orts mit der Außenwelt sicher. Der neue Glasfaserlink dient nicht nur dem Betrieb der ISSF, sondern versorgt auch die Einwohner von Inuvik mit einer schnellen Internetanbindung, etwa zur Ausbildung und für die telemedizinische Versorgung.

Die Erdbeobachtungsdaten, welche die DLR-Bodenstation empfängt, geben Aufschluss über den Zustand der Erdoberfläche, des Eises und der Vegetation, der Ozeane und der Atmosphäre. Gerade die globalen Permafrostgebiete erleben derzeit im Zuge der globalen Erwärmung massive Veränderungen. Der Permafrost taut. Bereits jetzt gehen Teile der kanadischen Küste und der Infrastruktur durch die einsetzende Erosion verloren. Doch die eigentliche Gefahr lauert im Eis. Ungeheure Mengen Treibhausgas lagern im Boden, die beim Auftauen freigesetzt

werden können. Einzig die Erdbeobachtung kann solche Änderungen großflächig erfassen. Satelliten tragen wesentlich dazu bei, das System Erde zu verstehen und internationale Maßnahmen gegen den Klimawandel zu unterstützen.

Aufgrund des Permafrosts ist Inuvik auch Anlaufstelle für Umwelt- und Klimaforscher aus aller Welt, die die Veränderungen vor Ort untersuchen. Sie erhalten hier Unterstützung durch das Aurora Research Institute, welches Büros, Laboratorien und technische Ausrüstungen zur Verfügung stellt. In Kooperation mit dem EOC aus Oberpfaffenhofen könnten künftig Datenservices dazugehören, wie beispielsweise aus Radardaten abgeleitete Informationen zur aktuellen Eisentwicklung. Das Earth Observation Center des DLR hat mit seiner ersten Empfangsanlage im kanadischen Norden eine nachhaltige Entwicklung angestoßen. Die Fernerkundungsexperten blicken somit nicht nur auf zehn Jahre erfolgreichen Empfangsbetrieb zurück, sondern treiben auch die Forschung für die nächsten Jahrzehnte voran. Inuvik erweist sich mit seiner polnahen Lage, seinen guten Versorgungswegen, seiner schnellen Internetanbindung und vor allem dank der herzlichen Unterstützung vor Ort als idealer Standort, um Daten für internationale Satellitenmissionen zu empfangen. Das EOC hat seinen Platz in der Arktis gefunden.

Bernadette Jung ist Redakteurin am DLR-Standort Oberpfaffenhofen.

HIGHTECH HILFT HELFEN

Eine DLR-Initiative entwickelt neue Technologien für humanitäre Zwecke

Von Bernadette Jung

Jeden Tag hungert einer von neun Menschen und die Folgen von Klimawandel, Naturkatastrophen oder bewaffneten Konflikten bedrohen vielerorts die Lebensgrundlage der Betroffenen. Dennoch erhalten immer mehr Bedürftige keine oder nur unzureichende Unterstützung. Deutschland gehört weltweit zu den größten Gebern in der humanitären Hilfe und ist für seinen engagierten und professionellen Einsatz anerkannt. Qualitäten, die in der Weltgemeinschaft dringend gefragt sind, da der Bedarf an humanitärer Hilfe seit Jahren weiter steigt. Um Maßnahmen noch effektiver und nachhaltiger zu gestalten, suchen Hilfsorganisationen daher zunehmend technologische Unterstützung. Das DLR ist hier seit vielen Jahren als Partner aktiv und verstärkt nun dieses Engagement.

Automatische Schadensanalyse von Beira, Mosambik, nach dem tropischen Zyklon Idai im März 2019: Im DLR-Projekt Data4Human werden Gebäudeschäden von Siedlungsgebieten mit intelligenten Datenverarbeitungsmethoden aus der Fernerkundung erfasst und humanitären Hilfsorganisationen zur Verfügung gestellt

Im Mai 2019 hat der Bereich Raumfahrtforschung und -technologie des DLR eine Initiative ins Leben gerufen, die den humanitären Technologiebedarf in den Fokus der Forschung rückt: Mit „Humanitarian Technologies“ stellt das DLR seine Kompetenzen in den humanitären Dienst. In dem Projekt werden Spitzentechnologien für humanitäre Zwecke weiterentwickelt und in die Praxis umgesetzt.

Die Initiative vernetzt die Fachleute des DLR mit Hilfsorganisationen, politischen Entscheidern und weiteren Partnern – sowohl nach außen als auch fach- und institutsübergreifend nach innen. Für den Erfolg ist eine nationale und internationale Zusammenarbeit zwischen den Akteuren der humanitären Hilfe, den Akteuren in den betroffenen Ländern und der Forschung unerlässlich. Die Netzwerkpartner tauschen Erfahrungen aus und formulieren Bedarfe. Diese reichen von Logistik für Menschen und Hilfsgüter, Monitoring der humanitären Lage und Situation vor Ort über den Umgang mit den Ursachen und Folgen des Klimawandels, bis hin zur Fluchtursachenvermeidung oder dezentralen Energieversorgung in Krisengebieten. Aus den Ergebnissen dieses engen Dialogs entstehen passgenaue Technologien.

„Ich freue mich, dass die humanitäre Gemeinschaft heute so offen für technologische Innovation ist. Seit dem Start der Initiative kommen immer neue Nichtregierungsorganisationen und Akteure mit Fragen und Wünschen auf uns zu. Das führt bereits jetzt zu vielen guten Ideen für neue Projekte“, sagt Dr. Stefan Voigt, Koordinator von Humanitarian Technologies. Die ersten beiden Projekte der Initiative, das mobile Gewächshaus MEPA (siehe Infokasten) und der Datendienst Data4Human, sind Anfang dieses Jahres gestartet.

Vom Mangel zur Innovation

In einer akuten Krisensituation sind verlässliche Daten und Informationen wichtig, um die Gesamtlage zu beurteilen und Maßnahmen einzuleiten. Oft jedoch stehen den Hilfsorganisationen diese notwendigen Daten nicht zur Verfügung. Die Telekommunikationswege in einer Krisenregion können eingeschränkt oder gar zerstört sein. Für humanitäre Nichtregierungsorganisationen ist es zudem teils schwierig bis unmöglich, große Informationsmechanismen für ihre humanitären Einsätze zu nutzen. Ein Beispiel dafür ist die internationale Charta „Space and Major Disasters“, die im Katastrophenfall schnell und kostenfrei Satellitendaten für das Notfallmanagement bereitstellt. So müssen sich Helferinnen und Helfer andere Wege zur Lagebewertung erschließen.

Das DLR-Projektteam Data4Human entwickelt daher einen Datenservice für humanitäre Nothilfe. Eine besondere Idee von Data4Human ist es, klassische Fernerkundungsdaten von Satelliten, Flugzeugen und Drohnen mit webbasierten Informationen zu fusionieren. Soziale Medien, Nachrichtenportale und andere frei verfügbare Webdienste dienen dabei als hochaktuelle Datenquellen. Aus der Zusammenschau der verschiedenen Quellen erhalten die Akteure ein Gesamtbild – schnell, zuverlässig und mit Einblicken auf lokaler, regionaler und sogar globaler Ebene. Dazu stellt das DLR kombinierte Technologien aus den Bereichen Erdbeobachtung und Digitalisierung zur Verfügung. Die einzelnen Werkzeuge und Funktionalitäten des Datenservices entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Earth Observation Centers des DLR (EOC) und des DLR-Instituts für Datenwissenschaften gemeinsam mit dem Welternährungsprogramm der Vereinten Nationen (UN World Food Programme, WFP), dem Deutschen Roten Kreuz, dem Humanitarian OpenStreetMap-Team und Human Rights Watch.

Diese Kombination von Erdbeobachtungsdaten aus dem Weltraum mit Analysen aus dem Internet ist neu und treibt die Forschung am DLR



Im Katastrophenfall liefert das DLR schnelle und verlässliche Lageinformationen auf Basis aktueller Satellitendaten. Künftig werden die Erdbeobachtungsdaten verstärkt mit Informationen aus dem Internet fusioniert.



Im Projekt Data4Human entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR gemeinsam mit den Nutzern einen Datendienst, der speziell auf den humanitären Informationsbedarf abgestimmt ist

WAS BEDEUTET HUMANITÄRE HILFE?

Übergeordnetes Ziel der humanitären Hilfe ist es, Leben zu retten und Menschen zu helfen, die sich in akuten Notlagen befinden oder bei denen das Risiko besteht, dass sie aufgrund von Krisen, Konflikten, Naturkatastrophen oder anderen Ursachen in akute Not geraten. Es geht darum, den betroffenen Menschen ein Überleben in Würde und Sicherheit zu ermöglichen und das Leid derer zu lindern, die ihre akute Notlage aus eigener Kraft nicht überwinden können, und diesen Menschen Perspektiven zu ermöglichen. Diese Arbeit wird häufig in einem schwierigen politischen Umfeld mit problematischer Sicherheitslage geleistet, noch dazu meist unter hohem Zeitdruck. Die Wahrung der humanitären Prinzipien von Menschlichkeit, Unparteilichkeit, Neutralität und Unabhängigkeit ist daher zentrale Voraussetzung für die humanitäre Hilfe. Vor dem Hintergrund einer steigenden Zahl und der Dauer humanitärer Notlagen hat der Bedarf an humanitärer Hilfe in den vergangenen Jahren immer weiter zugenommen, sodass heute mehr Menschen denn je auf humanitäre Hilfe angewiesen sind.



Humanitäre Mission in der Dominikanischen Republik: Im Juli 2018 führte das DLR-Institut für Flugsystemtechnik Flugversuche durch, um Hilfsgüter mit dem unbemannten Hubschrauber superARTIS (Autonomous Rotorcraft Testbed for Intelligent Systems) in schwer zu erreichende Gebiete zu transportieren. An der mobilen Bodenkontrollstation wurden die Flüge geplant und überwacht.



Bis zu 25 Kilogramm Nahrung, Wasser und Medikamente transportierte der unbemannte Hubschrauber sechs Kilometer weit über den Salzsee Enriquillo und warf die Nutzlastboxen sicher am anderen Ufer ab



Der unbemannte Kleinhubschrauber superARTIS wird am Institut für Flugsystemtechnik als Experimentalträger betrieben. Dank seiner Reichweite, Robustheit und Nutzlastfähigkeit eignet er sich gut für humanitäre Einsätze.

weiter nach vorn. Obwohl es sich bei dem Bereich humanitäre Technologien um ein noch relativ junges Forschungsfeld handelt, hat es großes Innovationspotenzial. Das DLR zählt dabei zu den Vorreitern. Vor rund 20 Jahren begannen Spezialisten im EOC damit, Satellitendaten für den Katastrophenschutz aufzubereiten – eine Expertise, die heute weltweit gefragt ist und nun für humanitäre Anwendungen weiterentwickelt wird. Das WFP nutzte sie bereits, um anhand eines „Spatial Risk Calendars“ räumliche Muster von wiederkehrenden Naturgefahren für die globale Ernährungsversorgung genauer bewerten und vorhersagen zu können. Seit 2019 verbindet das WFP als die weltweit größte humanitäre Organisation und das DLR ein Abkommen zur Entwicklung und Umsetzung von Technologien, die die Vereinten Nationen beim Erreichen des Nachhaltigkeitsziels „Zero Hunger“ unterstützen.

Erdbeobachtungsdaten für die Nothilfe

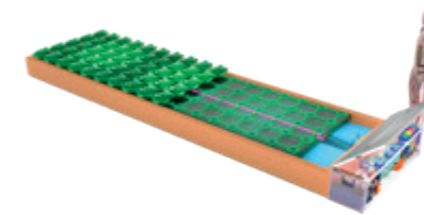
Zu den Arbeitspaketen von Data4Human gehört es auch, Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden nach Naturkatastrophen automatisiert zu kartieren. Hierzu nutzt das EOC eigene Methoden zur Datenverarbeitung aus den Bereichen Big Data und maschinelles Lernen und entwickelt sie weiter. In Zusammenarbeit mit dem Humanitarian-Open-StreetMap-Team werden auch schnelle und interaktive Kartierungen von Katastrophengebieten erarbeitet. Im Rahmen des Projekts erforschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler außerdem, wie mit

Hilfe von Fernerkundungsdaten Menschenrechtsverletzungen aufgedeckt und dokumentiert werden können, beispielsweise bei der Vertreibung der Rohingya in Myanmar. Für die Menschenrechtsorganisation Human Rights Watch ist es wichtig zu wissen, wann welche Dorfbewohner vertrieben wurden, um korrekt argumentieren und den Fall verfolgen zu können. Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind die Beobachtung von Flüchtlingsströmen und die Übergangshilfe, etwa zu beobachten, wie schnell der Wiederaufbau nach einer Katastrophe voranschreitet. Die humanitären Partner sollen die einsatzfähigen Datendienste ab Ende des Jahres 2021 nutzen können.

Ein wichtiger Teil der Innovationen kommt derzeit aus Technologietransfers der DLR-Raumfahrtforschung, beschränkt sich aber nicht darauf. Ein Beispiel ist der Einsatz von unbemannten Luftfahrzeugen zum Abwurf von Hilfsgütern in schwer zugänglichen Katastrophengebieten: In der Dominikanischen Republik testete das DLR 2018 diese Technik erfolgreich mit einem unbemannten Hubschrauber. Auch die Aufbereitung von Trinkwasser mittels Solarenergie, die Entwicklung eines Alarmierungssystems für die Bevölkerung oder die Detektion von Landminen per Radar gehören zu den weiteren erfolgreichen DLR-Forschungsprojekten mit humanitärem Bezug. Künftig sind auch Technologieentwicklungen für humanitäre Such- und Rettungsmaßnahmen oder Robotikanwendungen zur Unterstützung lebensrettender Einsätze denkbar.

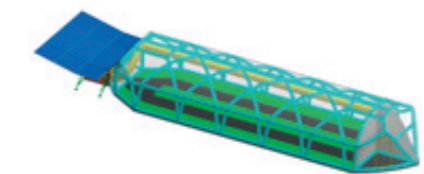
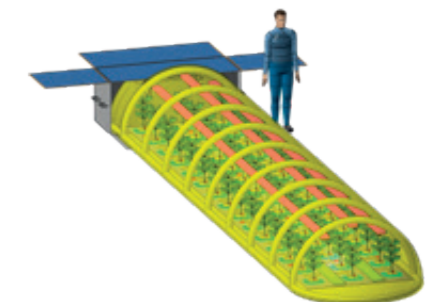
MOBIL ENTFALTBARE PFLANZENANBAUEINHEIT (MEPA)

In Krisengebieten frische Nahrungsmittel produzieren – diese Möglichkeit soll MEPA schaffen, eines der ersten Projekte der Humanitarian-Technologies-Initiative. Fachleute der DLR-Institute für Raumfahrtssysteme und Raumfahrtmedizin haben dazu drei Konzepte entworfen. Allen Pflanzenanbaueinheiten ist gemeinsam, dass sie keine Erde benötigen, wiederverwendbar sind, individuell und einfach genutzt werden können und eine schnelle Produktion mit der ersten Ernte nach vier bis sechs Wochen ermöglichen.

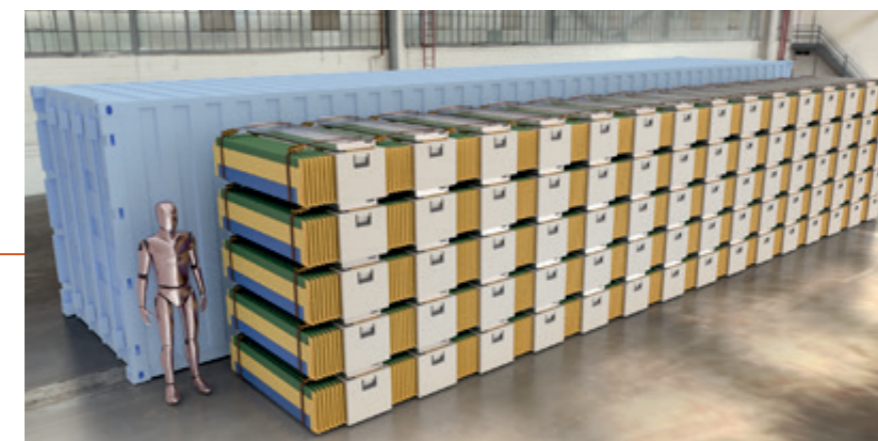


Das **Minimalsystem** basiert auf Hydrokulturen in offenen Wasserbecken. Die Aufzuchtfläche ist sieben Quadratmeter groß und bringt pro Erntezyklus einen Ertrag von 85 Salatköpfen mit rund 42 Kilogramm Gesamtgewicht. Das System ist mit einer automatisierten solarbetriebenen Unterstützungseinheit ausgestattet.

Das **Hybridsystem** hat rund 20 Quadratmeter Fläche und eignet sich für die Aufzucht von kleinen Pflanzen. Das aufblasbare Gewächshaus ist knapp einen Meter hoch und beherbergt eine Saatzuchtmatte, die mit LED-Bändern beleuchtet werden kann. Das halbgelochene System erlaubt eine Wasserrückgewinnung und wird mit Solarenergie betrieben.



Für hochwachsende oder größere Gemüsesorten wie Tomaten und Gurken wurde ein **Closed-Loop-System** konzipiert. Das begehbare Gewächshaus ist drei Meter breit und 17 Meter lang. Es bietet eine Nutzfläche von rund 30 bis 40 Quadratmetern. Bewässerung, Belüftung, Temperaturkontrolle und Energieversorgung bilden ein geschlossenes Kreislaufsystem und werden durch Unterstützungsmodule gesteuert. In einem Frachtcontainer könnten bis zu 21 Einheiten transportiert werden und somit könnte eine Erntefläche von insgesamt 350 Quadratmetern geschaffen werden.



Zusammengefasst können in einem Container bis zu 75 MEPA-Einheiten des Minimalsystems transportiert werden

Brücke in eine bessere Zukunft

„Wir bewegen uns in einem spannenden Forschungsfeld und stehen erst am Anfang, das Potenzial der Anwendungsmöglichkeiten von DLR-Technologien für humanitäre Aufgaben zu entwickeln. Es ist faszinierend zu sehen, mit wie viel Motivation und Engagement die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gemeinsam mit den Hilfsorganisationen ihre Ideen in die Initiative einbringen“, freut sich Voigt und ergänzt: „Mit unserer Forschung die humanitäre Hilfe unterstützen zu können und somit etwas für Menschen in Notlagen weltweit zu tun, ist etwas Besonderes. Das gibt der Arbeit einen noch tieferen Sinn.“

Als die Satellitendatenexperten des DLR vor 20 Jahren die ersten Notfallkartierungen erstellten, besaß kaum jemand einen Laptop und

weltweit nur jeder siebte Mensch ein Handy. Heute gibt es mehr Mobilfunkanschlüsse als Menschen auf der Erde und im Durchschnitt verfügt in Entwicklungsländern fast jeder zweite Haushalt über einen Internetzugang. Der technologische Fortschritt hat auch dort die Möglichkeiten der humanitären Hilfe verbessert. Wie die wachsende Bedarfslücke zeigt, verbessert sich die Lage trotzdem nicht schnell genug. Aktuell laufen die Planungen für die nächsten Humanitarian-Technologies-Projekte, welche im Herbst 2020 starten – damit dort geholfen werden kann, wo die Not am größten ist.

Bernadette Jung ist Redakteurin am DLR-Standort Oberpfaffenhofen.

Zwei Fragen an Dr. Thomas Zahneisen, Beauftragter für Humanitäre Hilfe und Haushalt im Auswärtigen Amt

NEUE TECHNOLOGIEN FÜR WIRKSAME HILFE

Deutschland hat in den vergangenen Jahren seine Mittel für die humanitäre Hilfe kontinuierlich erhöht und gehört inzwischen zu den größten Unterstützern weltweit. Was ist das Motiv?

Dr. Thomas Zahneisen: Der Bedarf an humanitärer Hilfe hat in den vergangenen Jahren zugenommen, mehr Menschen denn je sind auf humanitäre Hilfe angewiesen. Deutschland hat darauf reagiert und seine Leistungen für humanitäre Hilfe seit Jahren kontinuierlich erhöht: 2019 wurden insgesamt 1,64 Milliarden Euro für humanitäre Hilfe zur Verfügung gestellt, 2008 waren es noch 59,6 Millionen Euro. Trotz allem solidarischen Engagement von Geberstaaten wie Deutschland konnte die Lücke zwischen Bedarf und zur Verfügung stehenden Mitteln bisher nicht geschlossen werden. 2019 hat das zuständige Auswärtige Amt eine neue Strategie für die deutsche humanitäre Hilfe 2019–2023 veröffentlicht, sie stellt die Weichen für die Zukunft. Dazu gehört auch, dass dem Thema Innovation eine besondere Bedeutung eingeräumt wird.

Zwei Fragen an Bernhard Kowatsch vom World Food Programme der Vereinten Nationen (WFP). Er leitet den Innovation Accelerator des World Food Programme.

INNOVATIONEN UNTERSTÜTZEN MENSCHEN IN NOT

Wo nutzt das World Food Programme bereits Hightech im Kampf gegen den Hunger weltweit?

Bernhard Kowatsch: Innovation steckt in der DNA des World Food Programme, seit es 1962 die ersten humanitären Lufttransporte organisierte. Heute setzen wir auf modernste Technologie wie künstliche Intelligenz und Satellitenbeobachtung. Unsere Anwendungen „Skai“ – sie analysiert mit künstlicher Intelligenz Satellitenaufnahmen von Naturkatastrophen – und „HungerMapLive“ – ein globales Hungerbeobachtungssystem – helfen uns, Hungersnöte einzuschätzen, aufkommende Krisen vorherzusagen und humanitäre Hilfe zu planen. Bei der Nahrungsmittelhilfe des WFP nutzen wir immer mehr Bargeldtransfers, Wertgutscheine oder elektronische Zahlungsmittel, sodass die Menschen ihre Lebensmittel in Geschäften vor Ort kaufen und gleichzeitig die lokale Wirtschaft unterstützen können. Dabei kommt Blockchain-Technologie zum Einsatz. Im letzten Jahr wurden 28 Millionen Menschen in 64 Ländern dadurch über 2,1 Milliarden US-Dollar zur Verfügung gestellt.

Das globale Hungerbeobachtungssystem des WFP: hungermap.wfp.org

Wo sehen Sie denn Innovationsbedarf?

Dr. Thomas Zahneisen: Humanitäre Hilfe muss bedürftige Menschen besser und schneller erreichen und die Lücke der ungedeckten Bedarfe verkleinern. Es geht nicht nur um Innovationsschritte im technologischen Bereich, sondern auch darum, Prozesse und Abläufe zu verbessern, oder um gänzlich neue Denkansätze. So machen digitale Technologien beispielsweise Bargeld- und Voucher-Lösungen sicherer und sie erleichtern es auch, lokale Akteure und die Hilfeempfänger einzubinden. Da das Auswärtige Amt Hilfsprojekte nicht selbst umsetzt, sondern auf die partnerschaftliche Zusammenarbeit mit humanitären Organisationen der Vereinten Nationen, der Rotkreuz- und Rothalbmondbewegung sowie humanitäre Nichtregierungsorganisationen setzt, adressieren wir konkrete Innovationsbedarfe vor allem unmittelbar bei diesen Organisationen. Wir fördern aber auch Leuchtturmprojekte wie den WFP Innovation Accelerator in München.

Welche Möglichkeiten eröffnet die Humanitarian-Technologies-Initiative dem WFP und anderen humanitären Hilfsorganisationen?

Bernhard Kowatsch: Sie unterstützt mit bahnbrechenden Innovationen und Technologien: Die Forschung im Bereich autonomes Fahren hilft uns bei der Entwicklung ferngesteuerter, geländegängiger Amphibienfahrzeuge für Nahrungsmittellieferungen und Fernerkundungstechnologien unterstützen bei der Einschätzung von Lebensmittelkrisen oder Naturkatastrophen. Es geht darum, dass wir aktuelle Probleme bekämpfen und die bedürftigsten Menschen bestmöglich unterstützen können. Gemeinsam können wir aber noch viel mehr erreichen. Die Initiative ist auch eine wechselseitige Zusammenarbeit, in der etwa unsere Erfahrungen aus der Hydrokulturlandwirtschaft in die Nahrungsvorsorgung künftiger Raumfahrtmissionen einfließen können. Wir sind begeistert, dass es diesen Dialog zwischen DLR und WFP gibt, damit neue Ideen für humanitäre Hilfsmaßnahmen entwickelt werden können.

MELDUNGEN

MOBILES MESSFAHRZEUG UNTERSUCHT SCHADSTOFFE IN DER LUFT

Ein umgerüsteter Kleintransporter dient Forscherinnen und Forschern des DLR als mobiles Labor, um Ruß, Stickoxide oder CO₂ in der Luft zu messen. Das Fahrzeug wurde am DLR-Institut für Verbrennungstechnik in Stuttgart mit Messgeräten und Sensoren ausgestattet. Sie sollen Schadstoff-Hotspots wie Verkehrskreuzungen identifizieren und Emissionsquellen aufspüren. Dabei stehen vor allem ultrafeine Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 100 Nanometern im Fokus. Sie sind so klein, dass sie tief in die Atemwege eindringen und sich dort ablagern können. Reguläre Umweltmesstechnik und einfache Sensorlösungen erfassen die winzigen Teilchen meist nicht. Aktuell ist das Messfahrzeug für Untersuchungen im Bereich der Luftqualität zum Beispiel in Städten sowie im Umfeld von Flughäfen unterwegs. Möglich sind aber auch Untersuchungen im Autoverkehr und der Schifffahrt sowie Abgasanalysen von industriellen Verbrennungsprozessen.



Das mobile Messfahrzeug im Einsatz auf dem Marienplatz in Stuttgart

Quelle: Pixabay



Wachsender Wohlstand führt zu höheren Fahrleistungen

DER VERKEHR WELTWEIT WÄCHST MIT WOHLSTAND UND BEVÖLKERUNG

Aktuell haben weltweit etwa zwei Milliarden Menschen Zugang zu 1,2 Milliarden Pkw. Diese Zahl wird aus Sicht der Verkehrsforschung in Zukunft weiter deutlich steigen, denn die bis in die 2070er Jahre wachsende Bevölkerung und der wachsende Wohlstand in vielen Ländern führen zu vermehrtem Fahrzeugbesitz und höheren Pkw-Fahrleistungen. In dem vom DLR-Institut für Verkehrsforschung geleiteten Projekt Transport und Klima (TraK) arbeitet ein Verbund von acht Instituten daran, die Auswirkungen des steigenden Verkehrsaufkommens auf das globale Klima abzuschätzen. Basierend auf den Ergebnissen suchen sie nach nachhaltigen technologischen Entwicklungen und alternativen Mobilitätsangeboten. Das Team des Instituts für Verkehrsforschung simulierte hierzu den weltweiten Fahrzeugbestand und die globalen Fahrleistungen bis in das Jahr 2100 und fand heraus, dass der globale Pkw-Bestand bis 2050 auf 3,1 und bis 2100 auf 4,4 Milliarden wachsen könnte. Sollte der Schienenpersonenverkehr parallel zum Straßenverkehr stark ausgebaut werden, wäre jedoch eine Steigerung des Pkw-Bestands auf unter 3,4 Milliarden in 2100 möglich.

KLIMAMODELLE MIT MACHINE LEARNING VERBESSERN

In mehr als 40 Forschungszentren werden aktuell Klimamodelle weiterentwickelt. Sie sind Teil der Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) des Weltklimaforschungsprogramms, das derzeit vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre geleitet wird. Die Modelle werden genutzt, um zu berechnen, wie sich der Klimawandel auf den globalen Temperaturanstieg und regionale Trends wie die Niederschlagsstärke auswirkt. Sie sind damit ein wichtiges Instrument, um die Arbeit von Entscheidungsträgern in Regierungen, staatlicher Planung und Unternehmen zu unterstützen. Darüber hinaus zeigte ein Team aus Klimaforschenden des Imperial College London sowie der Atmosphärenforschung und den Datenwissenschaften am DLR in einer Studie, wie neue datengestützte Methoden des maschinellen Lernens genutzt werden können, um Klimamodelle zu evaluieren – und perspektivisch das Verständnis für den Klimawandel zu verbessern.



Hochleistungsrechner bilden das Kernstück für die Forschung an Simulationen in vielen Forschungsbereichen

© DLR/Thomas Ernting



SCHLAMMVULKANE AUF DEM MARS

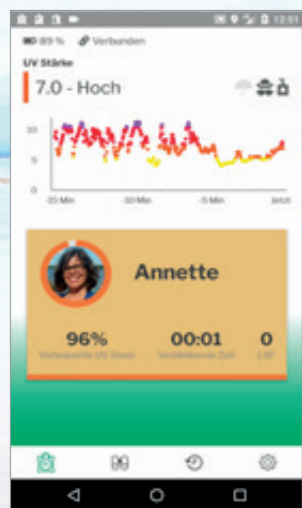
In der Tiefebene Chryse Planitia auf dem Mars, die hier zu sehen ist, wurden Dutzende vergleichsweise kleine Hügel entdeckt. Sie könnten das Ergebnis von Schlammvulkanismus sein. Auch die flachen, fast wie Pfannkuchen oder Kuhfladen aussehenden hellen Bereiche rechts im Bild könnten von Schlammströmen gebildet worden sein. Zum Vergleich: Der angeschnittene Krater links unten im Bild hat einen Durchmesser von etwa 2,9 Kilometern. Seit Jahren wird diskutiert, ob es auf dem Mars nicht nur „feuerspeiende“, also von Magma gespeiste, Vulkane gibt, sondern auch Schlammvulkane. Laborexperimente, an denen das DLR-Institut für Planetenforschung beteiligt war, zeigten, dass sich dünnflüssiger Schlamm auf dem Mars ähnlich verhält wie flüssige Lava auf der Erde. Die Forschung zum Verhalten von wasserhaltigem Schlamm an der Oberfläche von Körpern mit dünner oder fehlender Atmosphäre ist auch für manche Asteroiden (beispielsweise Ceres) und Eismonde im äußeren Sonnensystem relevant. Auf der Erde haben Geologen etwa 1.800 Schlammvulkane gezählt, viele davon am Meeresgrund.

Die Aufnahme der Region Chryse Planitia stammt von der High Resolution Stereo Camera (HRSC) des DLR an Bord der ESA-Raumsonde Mars Express. Dieses und andere Bilder vom Mars können in druckfähiger Auflösung heruntergeladen werden: [DLR.de/hrsc-marsbilder-flickr](https://www.dlr.de/hrsc-marsbilder-flickr)

CLEVERER SONNENSCHUTZ

Der UV-Bodyguard der DLR-Ausgründung ajuma warnt rechtzeitig vor zu viel Sonnenstrahlung

Von Verena Müller



Sonne ist elementar für unseren Vitamin-D-Haushalt. Zu viel ihrer UV-Strahlung kann allerdings sehr ungesund sein: Sonnenbrand oder im Extremfall Hautkrebs sind die Folgen. Wie immer ist das richtige Maß entscheidend. Aber woher weiß ich, was für mich und meinen Hauttyp das richtige Maß ist? Ein kleines Utensil kann hierbei unterstützen – der UV-Bodyguard des DLR-Spin-offs ajuma, ein handlicher UV-Messassistent, entwickelt mit DLR-Know-how.

Der UV-Bodyguard wird mit einer App auf dem Smartphone verbunden und misst kontinuierlich und in Echtzeit die tatsächliche UV-Dosis. Er sendet die Daten an das Smartphone und warnt rechtzeitig vor zu viel Sonne und Sonnenbrand. Gleichzeitig gibt er aber auch an, wie lange man mindestens in der Sonne bleiben sollte, um seinen Vitamin-D-Tank aufzufüllen. Im Interview erklärt das Gründerpaar Annette Barth und Dr. Julian Meyer-Arnek, wie das Ganze funktioniert.

Annette Barth ist Wirtschaftspsychologin, hat einen MBA und lange als Innovations- und Produktmanagerin in der Industrie gearbeitet. **Dr. Julian Meyer-Arnek** ist promovierter Physiker und Atmosphärenforscher, er arbeitet beim Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) im DLR, unter anderem im Bereich UV-Vorhersage (UV-Check). Die beiden gründeten ajuma im Juni 2019. Auch im Privatleben sind sie ein Paar und haben gemeinsam eine Tochter, die sie zu dem UV-Bodyguard inspirierte.

Wie kamen Sie auf die Idee des UV-Bodyguards?

Barth: Ich habe eine sehr empfindliche Haut und hatte schon oft Sonnenbrand. Als unsere Tochter vor drei Jahren geboren wurde, haben wir uns mit dem Thema ultraviolette Strahlung (kurz UV) und insbesondere mit ihrer Wirkung auf Kinder beschäftigt. Kleine Kinder sind besonders gefährdet vor zu langer Sonneneinstrahlung. Ohne Sonnenschutz dürfen sie mittags am Strand nur zehn Minuten in der Sonne bleiben, aber auch mit Sonnencreme ist die Zeit in der Sonne sehr beschränkt. Uns war es äußerst wichtig, unsere Tochter in jeder Situation gut vor zu viel UV-Strahlung zu schützen.

Meyer-Arnek: Ich arbeite, seitdem ich 2004 ins DLR gekommen bin, an dem Projekt UV-Check des Berufsverbands der Deutschen Dermatologen und habe mich intensiv mit dem Thema UV beschäftigt. Da UV-Strahlung von den örtlichen Gegebenheiten abhängig ist, ist es besser, sie direkt am Körper zu messen. Da es keinen UV-Sensor gab, wie wir ihn uns vorstellten, haben wir uns entschieden, den UV-Bodyguard zu entwickeln und unser eigenes Unternehmen zu gründen.

Wie funktioniert das Gerät genau?

Barth: Der UV-Bodyguard lässt sich an der Kleidung befestigen und verfügt über eine spezielle UV-Messtechnologie. Man verbindet ihn via Bluetooth mit einer App auf dem Smartphone, wählt das individuell passende Profil mit dem eigenen Hauttyp und den Lichtschutzfaktor der verwendeten Sonnencreme aus und startet die Messung. Der UV-Bodyguard misst kontinuierlich und in Echtzeit die UV-Strahlung vor Ort und sendet die Daten an das Smartphone. Die lokale Messung ist wichtig, denn zahlreiche Faktoren, wie der Untergrund – Schnee, Sand oder Wasser –, die Bewölkung, Tages- und Jahreszeit oder die Höhe, beeinflussen die UV-Intensität, die den Körper tatsächlich erreicht. Die App zeigt die Dauer an, die man noch in der Sonne bleiben kann, und

„Wissen ist der beste Sonnenschutz.“

warnt bei 50 Prozent Eigenschutzzeit der Haut. Dies ist die empfohlene Dosis für die Vitamin-D-Synthese. Nach 95 Prozent warnt das Gerät ein zweites Mal, rechtzeitig vor zu viel Sonne und Sonnenbrandgefahr. Und noch ein wichtiger Hinweis: Sämtliche Daten werden hierbei ausschließlich lokal auf dem Smartphone gespeichert und nicht in einer Cloud.

Meyer-Arnek: Darüber hinaus hält die App eine UV-Vorhersage für den jeweiligen Ort bereit. Damit kann man zum Beispiel Aktivitäten im Freien gut planen. Hierzu werden die Satellitendaten des Copernicus Programms benutzt und mit UV-Messdaten des UV-Bodyguards kombiniert. Das ist ein wichtiger Vorteil unserer Entwicklung, weil diese die tatsächliche Strahlung am Träger misst und zugleich Infos aus dem All zur genauen Vorhersage der Strahlung einsetzt. Wissen ist der beste Sonnenschutz!

Sie wurden Ende 2019 mit dem Copernicus-Masters-Preis des DLR ausgezeichnet. Was bedeutet dies für Sie?

Meyer-Arnek: Es hat uns sehr gefreut, dass wir von einer unabhängigen Fachjury als beste Anwendungs idee aus dem Bereich Erdbeobachtung ausgewählt wurden. Es ist für uns ein wichtiger Preis und eine tolle Bestätigung, dass nicht nur wir an das Thema glauben, sondern dass es auch von der Fachjury als wissenschaftlich fundiert und marktrelevant bewertet wurde. Es ist einer unserer bisher größten Erfolge und er gibt uns Auftrieb, besonders in Phasen, in denen es mal nicht rundläuft.

Was hat sich zwischenzeitlich alles ergeben und wo geht es in Zukunft hin?

Barth: Anfangs dachten wir, unser UV-Bodyguard wäre eher für Familien mit Kindern relevant, und designten das Gehäuse ausschließlich in Form einer Schildkröte. Vor allem während unserer Kampagne auf dem Crowdfunding-Portal „Kickstarter“ bekamen wir viele Anfragen von Erwachsenen, Sportlern und Outdoorfans, sodass wir das Design erweiterten und nun auch ein Design im Stil einer Uhr anbieten. Aktuell sind wir in den letzten Zügen der Gehäuseproduktion, damit der UV-Bodyguard pünktlich in diesem Sommer auf den Markt kommen kann. Aber wir planen – neben neuen Produktlinien – auch noch weitere spannende Projekte rund um das Thema Sonne.

Verena Müller ist Koordinatorin im Technologiemarketing des DLR.



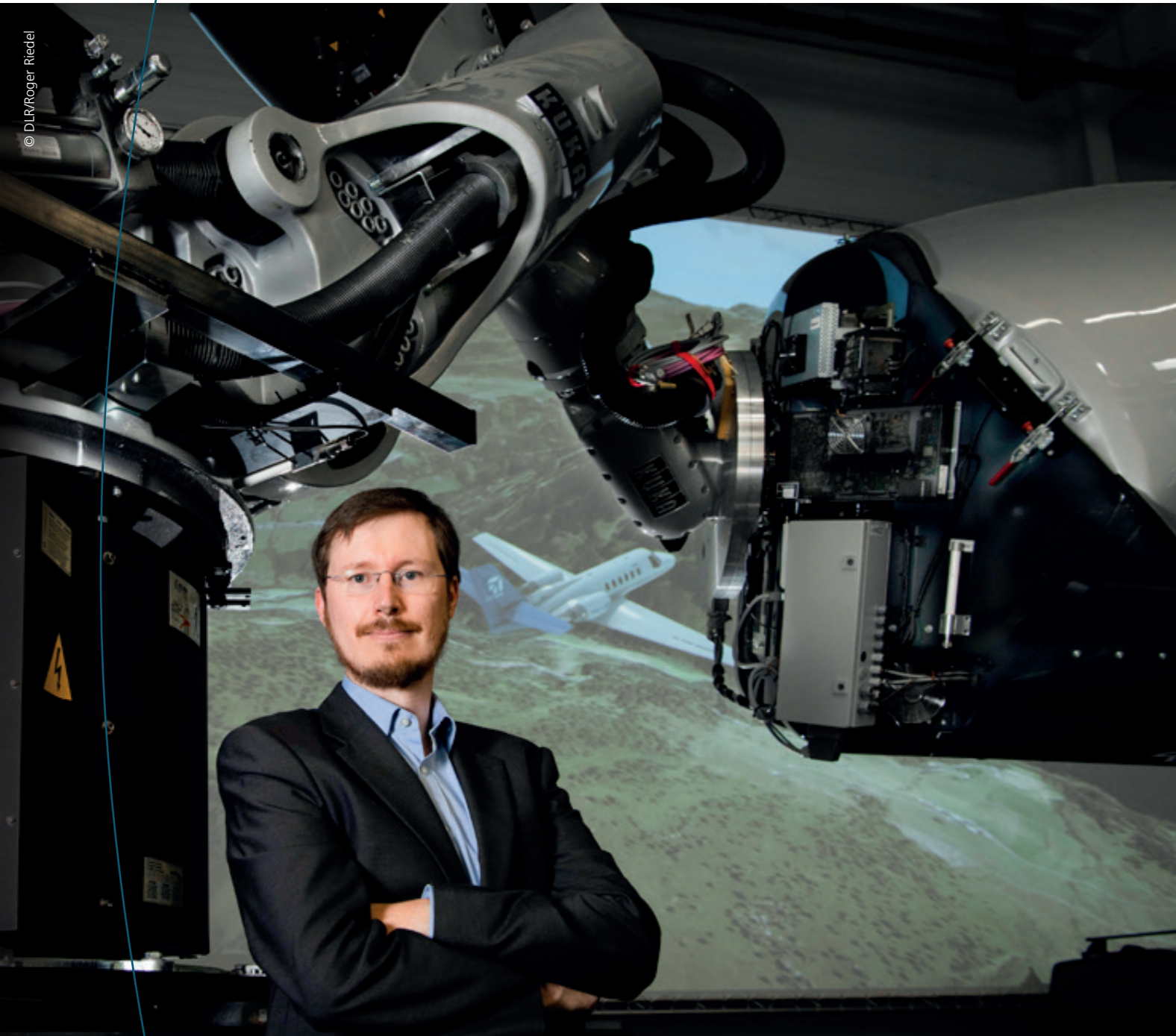
Der Sensor misst die Sonnenstrahlung und die dazugehörige App zeigt die verbleibende Zeit an, bis eine gesunde Sonnendosis erreicht ist. Mit einem Clip oder Klettband lässt sich der UV-Bodyguard an der Kleidung befestigen.

AJUMA GMBH

Der Name steht für Annette, Julian und Maya. Aufbauend auf der langjährigen DLR-Forschung zum Thema UV wurde die GmbH 2019 von Annette Barth und Dr. Julian Meyer-Arnek gegründet. Die beiden entwickelten ein am Körper tragbares Gerät in verschiedenen Designs. Es zeigt die gesunde Sonnendosis sowie die verbleibende Zeit an, bis diese Dosis erreicht ist. Außerdem warnt es rechtzeitig vor Sonnenbrand. Der UV-Bodyguard eignet sich besonders für Kinder, aber auch für Outdoorfans. ajuma ist seit November 2019 im ESA Business Incubation Centre, einem von der Europäischen Weltraumagentur ESA geförderten Startup-Inkubator der AZO Anwendungszentrum GmbH Oberpfaffenhofen.

Mehr unter uv-bodyguard.de

IM LABOR DER TAUSEND MÖGLICHKEITEN



Im Systems and Control Innovation Lab des DLR erwachen Roboter am Computer zum Leben

Von Julia Heil

Gesammelte Forschung auf 750 Quadratmetern: In der Halle des DLR-Instituts für Systemdynamik und Regelungstechnik in Oberpfaffenhofen treffen die Forschungsbereiche Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr auf Digitalisierung



Dr. Tobias Bellmann steht in der zwölf Meter hohen Halle und reckt den Kopf nach oben. „Reines Programmieren war eigentlich nie meine Sache. Ich mag es, wenn sich etwas bewegt.“ Direkt neben ihm dreht sich wie eine metallische Blume ein drei Meter langer Roboterarm, an dessen Ende wie eine Blüte eine Cockpit-Gondel hängt. Es ist der „Robotic Motion Simulator“ für Fahr- und Flugsimulationen. Einige Meter weiter parkt das DLR-Robomobil, ein futuristisches Elektrofahrzeug in Weiß und Hellblau, das autonom fahren kann – sogar diagonal und seitwärts. Neben ihm steht ein Glaskasten, in dem eine Flugzeugsteuerklappe auf ihren nächsten Testeinsatz wartet. Wenige Meter weiter reckt ein orange-schwarzer Industrieroboter hinter Plexiglas seinen kleinen Greifarm in die Luft, der für Experimente eine Last von 200 Kilogramm trägt. „Eigentlich ist das hier ein Schaufenster ins DLR, wir arbeiten in den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr. Allerdings sieht man hier nur die äußeren Hüllen der technischen Systeme, das wirklich Spannende ist im Inneren der Steuerschränke verborgen.“

Der promovierte Elektrotechniker Tobias Bellmann leitet das Systems and Control Innovation Lab, kurz SCIL, und ist verantwortlich für die Laborhalle, die diese außergewöhnliche Welt der Mechatronik beherbergt. Er und sein Team interessieren sich für die Software, die die Technik zum Leben erweckt. Sie entwickeln Modelle und Simulationen, mit denen solche komplexen Systeme gesteuert und geregelt werden können. „Wenn man einen Roboter exakt simuliert hat und genau weiß, wie er funktioniert, dann kann man ihn auch besser regeln“, erklärt Bellmann das Vorgehen. Um das deutlich zu machen, zeigt er ein Video, in dem ein Fertigungsroboter zu sehen ist. Der Arm bewegt sich auf einer programmierten Bahn. Dabei wackelt er stark hin und her. Die Forscher erstellten ein virtuelles Modell des Roboters, das die Schwingungen erkennt, die Motorleistung automatisch darauf anpasst und ausgleicht. Sobald die neue Software auf den Roboter aufgespielt ist, bewegt sich der Arm gleichmäßig und ohne Ruckeln auf der Bahn. Präzise Regelungssysteme sind von jeher ein Spezialgebiet des Instituts für Systemdynamik und Regelungstechnik – wie der Name schon sagt. Dazu arbeitet das Institut beispielsweise mit der Kuka AG zusammen, die auch den Industrieroboter in der Laborhalle hergestellt hat. Zahlreiche Algorithmen, die in den heutigen Kuka-Robotern stecken, wurden am DLR entwickelt.

Ideen mit Leben füllen

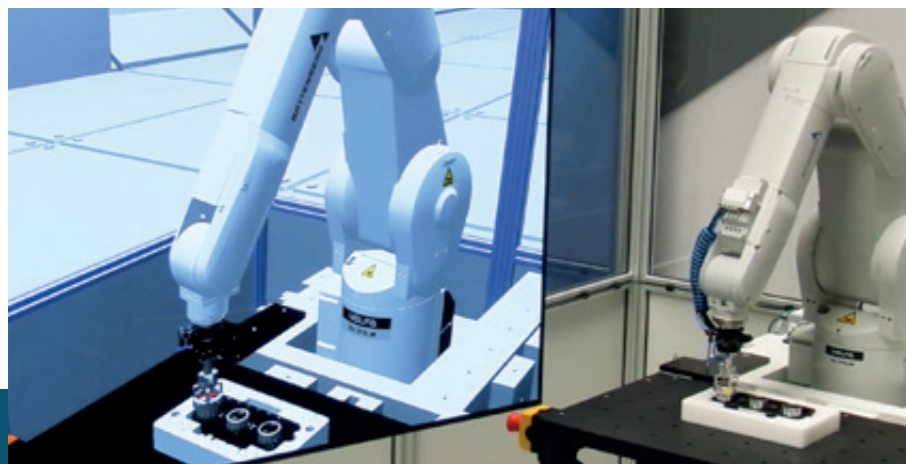
Mit der Zeit wuchs im DLR-Institut der Wunsch, dieses Wissen auch kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zugänglich zu machen. „Ich war gerade fertig mit meiner Doktorarbeit, der Umzug in diese Halle war abgeschlossen, da kam die Ausschreibung der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Großforschungseinrichtungen zum Aufbau der Science Innovation Labs“, erzählt der Projektleiter und ergänzt: „Das war für uns die ideale Möglichkeit, um das neue Labor auch mit externem Leben zu füllen.“ Ziel der Helmholtz Innovation Labs ist es, dass Industrie- und Wissenschaftspartner gemeinsam an neuen Technologien und Ideen forschen. Mit sechs anderen Laboren aus unterschiedlichen Forschungseinrichtungen wurde das SCIL 2016 für die erste Kohorte der Innovationslabore ausgewählt. 2019 kamen noch einmal neun weitere

dazu. Zwischen den einzelnen Laboren herrscht seit ihrer Gründung ein regelmäßiger Austausch. „Wir sind ja alle Pioniere und haben ähnliche Probleme“, sagt der Wissenschaftler. Diese sind meist organisatorischer Art. Viele bestehende Labore konnten sich dank der Helmholtz-Förderung vergrößern, die Stimmung ist gut. Dass die Förderung im Oktober 2021 ausläuft, sieht Tobias Bellmann gelassen. Mittlerweile kann sich das SCIL durch Drittmittelaufträge und Projekte weitestgehend selbst tragen und das Netzwerk wächst beständig. Allerdings ist die Akquise der schwierigste Teil. Hätten sich die Firmen einmal entschlossen, mit



Baukunst im Wind

Vor dem Futurium in Berlin steht dieses 15 Meter hohe, dynamische Kunstwerk. Das SCIL berechnete, wie stark die einzelnen Elemente bei Wind belastet werden können. Vor dem Aufbau überprüften die DLR-Wissenschaftler das Modell auf Plausibilität. „Der obere Teller des Kunstwerks sollte ja nicht plötzlich bei der Kanzlerin im Büro landen“, scherzt Tobias Bellmann.



© Battenberg Robotic

Knopfdruck zur Probe

Dieser Roboter drückt jeden Knopf einer Armatur. So stellt er fest, ob dieser den korrekten Druckpunkt hat und prüft so, ob sich alle Bedienelemente, auch von verschiedenen Herstellern, über den gesamten Produktionszeitraum eines Fahrzeugmodells gleich anfühlen. Das SCIL entwickelte zusammen mit der Firma Battenberg Robotic einen digitalen Prototyp dieses Testroboters, der sich genauso verhält wie sein reales Gegenstück. Der Vorteil: Mit dem digitalen Zwilling kann das Programm des Roboters schon am Computer getestet werden, ohne dass vorab ein realer Prototyp gebaut werden muss. Für den Einsatz wird dieses Programm dann auf den realen Roboter aufgespielt und muss im Idealfall kaum mehr angepasst werden.

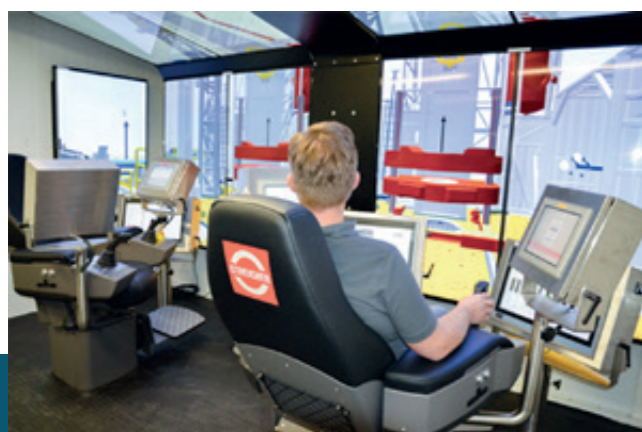
„Der gemeinsam mit dem DLR entwickelte digitale Zwilling unserer Messrobotik ermöglicht die schnelle Programmierung und das sichere Testen von Prüfabläufen. Wir können die Abläufe dann nahezu ohne Änderung auf dem realen Prüfstand ausführen – ein deutlicher Zeitvorteil gegenüber der manuellen Einrichtung.“

Dr. Jan Thiede, Battenberg Robotic

dem DLR zu arbeiten, bleibe es selten bei nur einem Auftrag. Um die Unternehmen zu unterstützen, hilft das SCIL auch bei der Auswahl der passenden Förderprogramme. Nach dem Erstkontakt schickt das Unternehmen den Forschern die Daten ihres Produkts. Die Wissenschaftler entwickeln das Modell und übertragen das Produkt in die virtuelle Welt. Konkret geht es dabei beispielsweise um digitale Zwillinge von Systemen, um verbesserte Regelungstechnik, die virtuelle Inbetriebnahme oder um optimierte Simulatortechnologie. Das Vorgehen spart Zeit und Ressourcen: Nicht zu jeder Idee muss extra ein Prototyp konstruiert werden. Die Simulation zeigt oft vorab schon, ob ein Vorhaben gelingen kann oder nicht. „Mit Hilfe von modernsten Methoden können wir verschiedenste Simulationen miteinander koppeln, von der Struktur- und Antriebs- über die Aerodynamik- und Fluidsimulation bis hin zur thermischen Simulation“, erklärt der DLR-Wissenschaftler.

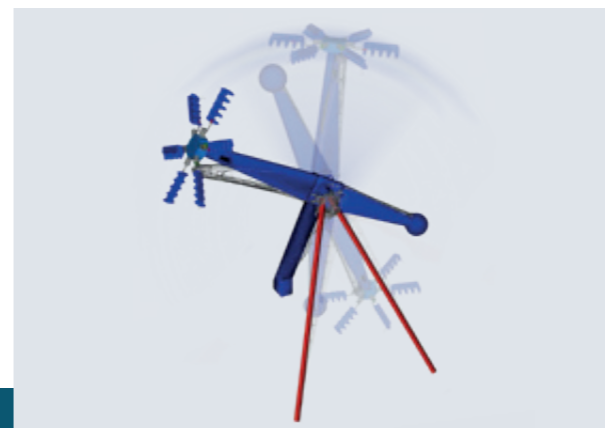
Ein Kran zeigt, wo's hingehet

Digitaler Zwilling, virtuelles Produkt – alles sehr abstrakt. Deshalb steht neben dem Empfangsbereich ein zwei Meter großer gelber Modellkran. Den realen Baukran haben die Forscher digital nachgebaut – mit 76.000 Differenzialgleichungen und in drei Monaten Arbeit. Er reagiert genauso wie sein Vorbild auf der Baustelle, kann aber bequem am Bildschirm gesteuert werden. Dargestellt wird er mit einer 3D-Visualisierungssoftware, die Informatiker im Institut entwickelt haben. Es ist ein Kran geworden, weil das DLR in diesem Bereich nicht forscht und somit die gemeinsame Datenverwendung auch kein Problem darstellt. In Workshops zeigt das SCIL-Team, wie der digitale Kran zusammengesetzt ist und wie eine derartige Simulation funktioniert. „Bei einem der Seminare war auch ein Vertreter eines großen Kranherstellers dabei. Er attestierte uns, dass unsere Schulungssimulation sehr realistisch ist.“ Während Tobias Bellmann das erzählt, lächelt er und rückt seine schmale Brille zurecht. Die Gleichungen und Modelle, die die Forscher für den Kran entwickelten, sammeln sie, wie auch die Modelle der anderen Projekte, in Modellbibliotheken. Diese können dann auch für andere Projekte genutzt werden. Die Nutzungsrechte für diese Bibliotheken werden für jede Zusammenarbeit neu ausgehandelt. Es ist klar festgelegt, welche Informationen für die Forschung genutzt werden dürfen und welche nicht. Für die DLR-Wissenschaftler ist das eine Win-win-Situation, denn mit jedem Modell und jedem Beitrag eines Partners jeder Kooperation erweitern sie ihre Kenntnisse und erschließen neue Themengebiete. Im Gegenzug erhalten die Firmen die neueste wissenschaftliche Expertise in der digitalen Modellentwicklung und Unterstützung beim Aufbau eigener Simulationsabteilung.



Schulung simultan

Das Vorbild für diesen außergewöhnlichen Schulungsraum steht in der Nordsee: die Bohrsinsel Heimdal. Jede Schulung an der Originalanlage kostet pro Person etwa 10.000 Euro pro Stunde. Deshalb entwickelte das SCIL-Team zusammen mit DrillTec diesen Schulungssimulator. Darin ist jeder Motor, jeder Sensor und jedes Antriebsselement abgebildet. Der Simulator ist dabei an die originale Anlagensteuerung gekoppelt und nutzt die gleichen Eingabegeräte. Rechts sitzt der Driller, der das Bohrgestänge bedient, und links der sogenannte Assistant-Driller, der neue Stangen aus dem Magazin nachliefert, sodass das Bohrgestänge zusammengebaut werden kann.



Fliehkrafttest zur Sicherheit

Für ein Fahrgeschäft simulierten die Forscher die Kräfte, die während der Karussellfahrt auftreten. Während der Überschläge wird das System mehr und mehr angeregt und beginnt zu schwingen. Die Simulation zeigte, dass diese Belastung abnimmt, wenn die Sitze näher an der Rotationsachse montiert werden. Das spart außerdem Material. Zusätzlich unterstützten die Wissenschaftler den Hersteller dabei, eine Software zu entwickeln, die durch eine Messfahrt den Beladungszustand des Fahrgeschäfts ermittelt und die Bewegungsbahn so anpasst, dass sie sich nicht verändert, egal wie viele Personen in der Gondel sitzen.

Zurück in die Zukunft

Zurückgekehrt in die Laborhalle lässt Tobias Bellmann seinen Blick über die technische Ausstattung schweifen: „Eigentlich ist hier für jeden Bedarf etwas dabei, ob ich Industrieanwendungen oder Assistenzsysteme testen will, Flugregler oder Tragflügelflächen erproben möchte oder Fahrsimulationen brauche.“ Je nach Anwendungsfall können die Wissenschaftler die Hardware in der Laborhalle in kürzester Zeit mit virtuellen Fahr-, Flug- oder Raumfahrzeugen koppeln. In den letzten Jahren hat das SCIL-Team bereits unter anderem eine Bohrplattform, einen Messroboter und ein Fahrgeschäft simuliert, und mit jedem Projekt lernen die SCIL-Forscher etwas dazu. Während bisher der einzelne Roboter im Fokus stand, widmen sie sich nun mehr und mehr auch den Gesamtanlagen. Wie es weitergeht, ist eine Frage, die Bellmann sich unter verschiedenen Blickwinkeln stellt: „Wir sehen gerade, wohin globale Ereignisse wie die Corona-Pandemie führen können.“ Bessere Simulationen seien in vielen Bereichen gefragt und ein höherer Grad an Automatisierung könne Produktionsstandorte in Deutschland attraktiver und Europa unabhängiger machen.

„Dank der Kooperation mit dem DLR konnten wir im Bereich Simulation und digitaler Zwilling schnell und effektiv Know-how aufbauen. Indem wir virtuelle Prototypen nutzen, konnten wir in unseren Entwicklungsprozessen sowohl Zeit als auch Kosten einsparen.“

Rupert Köckeis, Streicher Gruppe

Deshalb unterstützt das SCIL das DLR-Forschungsprojekt Factory of the Future. Darin arbeiten mehrere DLR-Institute an robotergestützten Produktionsprozessen im Rahmen der Industrie 4.0. Darüber hinaus hält Tobias Bellmann stets die Augen offen nach neuen Entwicklungen und Ideen für das Innovationslabor: „Jede Fabrikanlage, die ich besuche, bringt mich auf neue Ideen, wie man bestimmte Aspekte digitaler Zwillinge weiterentwickeln könnte. Das einzige wirkliche Problem, was ich derzeit sehe, ist, dass der Tag einfach zu wenig Stunden hat.“

Julia Heil ist Redakteurin im Bereich Kommunikation des DLR.

INNOVATION LABS 2016

KIT Innovation HUB am Karlsruher Institut für Technologie: Technologien, Dienstleistungen und Produkte für innovative Infrastrukturen und deren Bauweise

SCIL (Systems and Control Innovation Lab) am DLR Oberpfaffenhofen: ermöglicht KMU schnellen Zugang zum Digital Engineering, Unterstützung beim Aufbau von Simulationskompetenz

MicroTCA Technology Lab am Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY: vielseitige und präzise Kommunikationselektronik für die Industrieautomation oder für Teilchenbeschleuniger

MIL (Miro Innovation Lab) am DLR Oberpfaffenhofen: Forschungsinfrastruktur und Expertise im Bereich Medizinrobotik

MiBioLab (Microbial Bioprocess Lab) am Forschungszentrum Jülich: Produktionsprozesse auf der Basis von Mikroorganismen

MDCell (Max-Delbrück Center Cell Engineering Lab) am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin: neue Gentherapie-technologien

HySPRINT (Hybrid Silicon Perovskite Research, Integration & Novel Technologies) am Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB): neue Materialien und Prozesstechnologien für solare Energiewandlung und Sensorik

INNOVATION LABS 2019

BaoBab (Brain antibody-omics and B-cell Lab) am Deutschen Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen DZNE: neue Verfahren zur Erforschung von Autoantikörpern, die Hirnerkrankungen hervorrufen

ZAIT (Zentrum für Aerogele in Industrie und Technik) am DLR Köln: Forschung an Aerogelen und Aerogelverbundwerkstoffen

OPTSAL (Optical Technologies for Situational Awareness) am DLR Berlin: optische Technologien aus der Luft- und Raumfahrt für Sicherheitsanwendungen

SuFIDA (Disruptive Digital Diagnostics) am Forschungszentrum Jülich: Zählung von Marker-Molekülen für die Diagnose von schwer diagnostizierbaren Krankheiten

3D-US Lab (3D-Untertage-Seismik-Lab) am Deutschen GeoForschungszentrum GFZ: Tunnel- und Bohrlochseismik für die 3D-Erkundung untertägiger Bauwerke

FERN.Lab (Fernerkundung für nachhaltige Ressourcennutzung) am GZF: anwendungsnahe, transdisziplinäre Methoden, um Fernerkundungsdaten nutzbar zu machen

Ultratherm am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR): Blitzlampen- und Laserausheilung, bei der Materialien für kürzeste Zeit hohen Temperaturen ausgesetzt werden

CLEWATEC (Clean WATER TEChnology Lab) am HZDR: Technologien zur flexiblen, ressourcenschonenden Abwasserbehandlung

FlexiSens am HZDR: neuartige Magnetfeldsensoren im Miniaturformat auf ultradünnen flexiblen Substraten

ELEKTROMOBILITÄT AUF SWAHILI

Ein DLR-Projekt in Tansania untersucht das Potenzial von elektrisch betriebenen Motorradtaxi

Von Denise Nüsse

Motorradtaxi sind in Entwicklungsländern weit verbreitet. DLR-Forscherinnen und -Forscher aus den Bereichen Verkehr und Energie haben untersucht, ob diese oft dreirädrigen Universalfahrzeuge auch elektrisch betrieben werden könnten. Dabei begaben sie sich auf eine wissenschaftliche Expedition einer ganz anderen Art.

Daressalam ächzt. Die Küstenstadt am Indischen Ozean und mit mehr als fünf Millionen Einwohnern die größte Metropole Tansanias stöhnt unter der feuchten tropischen Hitze. Mitten im Trubel des Verkehrs, der seinen ganz eigenen Regeln folgt, agiert eine kleine Gruppe von Forscherinnen und Forschern des DLR. Wo Touristen Zwischenstopp machen auf dem Weg zum Kilimandscharo-Massiv oder dem Serengeti-Nationalpark verfolgt das DLR-Team einen ganz anderen Plan: Es will herausfinden, ob die kleinen Motorradtaxi, von denen mehr als eine Million über die Straßen und Schotterpisten des Landes flitzen, auch elektrisch angetrieben werden können. Darin sehen sie einen Lösungsansatz, um den rasant steigenden Mobilitäts- und Transportbedarf nachhaltiger zu gestalten.

Motorradtaxi erfüllen eine wichtige Funktion im öffentlichen Verkehr: Die Zwei- und Dreiräder sind für einen Großteil der Bevölkerung eine flexible und günstige Möglichkeit, um öffentliche Buslinien zu erreichen oder in Gegenden schnell voranzukommen, in denen es keine anderen Transportmöglichkeiten gibt. Die Fahrzeuge tragen jedoch ihren Teil zum Lärm und zur Luftverschmutzung bei. Gleichzeitig ist das Mobilitätsgeschäft ein wichtiger Wirtschaftsfaktor in den rasant wachsenden Großstädten des afrikanischen Kontinents – und für die vielen lokalen Klein- und Kleinstunternehmer oft die einzige Existenzgrundlage. Meistens mieten die selbstständigen Fahrer das Mobil. Von dem Verdienst ist dann die ganze Familie abhängig, im Durchschnitt sind das fünf Personen.

Mittendrin vor Ort: Einsatz und Akzeptanz von E-Motorradtaxi

Zunächst galt es für das DLR-Team, den Markt und die Menschen kennenzulernen. „Am Schreibtisch allein kommt man nicht weit, wenn man ein Konzept entwickeln will, das vor Ort wirklich funktioniert und aufgegriffen wird. Bei zwei Aufenthalten haben wir uns deshalb die Situation in Daressalam genau angeschaut, die Gegebenheiten der Infrastruktur untersucht und vor allem mit den Fahrern der Motorradtaxi gesprochen“, beschreibt Daniel Ehebrect das Vorgehen. Er arbeitet am DLR-Institut für Verkehrsforschung in Berlin und brachte seine Erfahrungen und Kontakte aus vorangegangenen Projekten in Tansania ein. Ein weiterer wichtiger Teil der Aufenthalte vor Ort waren Gespräche mit Behörden, Forschungseinrichtungen, Unternehmen aus der Energie- und Recyclingbranche sowie mit Fahrzeughändlern und den Chefs der Motorradtaxianbieter.

In Gruppendiskussionen tauschten sich die Forschenden mit den Fahrern zu möglichen Vorteilen und Herausforderungen, aber auch zu Bedenken gegenüber einer Elektrifizierung aus. Der Schwerpunkt lag dabei auf den dreirädrigen Gefährten, den sogenannten Bajaj, die mehrere Personen transportieren können. Ein einheimischer Assistent unterstützte das DLR-Team bei den notwendigen Kontaktaufnahmen und übersetzte alles in die Landessprache Swahili. In einer Umfrage unter mehr als 100 Fahrern sammelten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zudem Informationen über die eingesetzten Fahrzeuge, deren Instandhaltung und Betriebskosten, die Eigentumsverhältnisse sowie die Anzahl der Fahrten und die Arbeitszeiten. Gleichzeitig stattete das Forschungsteam insgesamt 70 Fahrzeuge an vier Motorradtaxiständen für jeweils eine Woche mit GPS-Geräten aus und ließ Fahrtenbücher erstellen. Auf diese Weise erfasste es Fahrten, Distanzen, Geschwindigkeiten und abgedeckte Gebiete. Zusätzlich sammelten die Fahrer Angaben zur Zahl der Fahrgäste, zur Zuladung und zu den Treibstoffkosten. Das diesbezügliche Know-how und die Technologie stammen aus dem DLR MovingLab: eine Erhebungs- und Analyseverfahren, die Aussagen über das Mobilitätsverhalten ermöglicht und so Verkehrsmodelle und -prognosen unterstützt (Beitrag im DLRmagazin 162).



Fahrer eines zweirädrigen Motorradtaxi in Daressalam: Über eine Million dieser Fahrzeuge gibt es heute bereits im Land



Peter Makundi, Feldassistent, und Mirko Goletz, Wissenschaftler am Institut für Verkehrsforschung, diskutieren Ergebnisse der GPS-Messungen

„Die Fahrer sind untereinander gut vernetzt und insgesamt sehr aufgeschlossen gegenüber elektrisch betriebenen Motorradtaxi. Als Vorteile einer Elektrifizierung nannten sie vor allem weniger Lärm und Luftverschmutzung, eine bessere Beschleunigung, mehr Komfort durch weniger Vibrationen und Gangwechsel sowie ein potenziell höheres Einkommen durch moderne Fahrzeuge“, fasst Daniel Ehebrect die Ergebnisse zusammen. Voraussetzung ist allerdings, dass das Aufladen der Batterie zuverlässig möglich ist und dass das Fahrzeug über ausreichend Reichweite und eine Höchstgeschwindigkeit von rund 80 Stundenkilometern verfügt. Außerdem sollen sich Anschaffungs- und Instandhaltungskosten auf dem Niveau der Kosten für die jetzigen Verbrennungsfahrzeuge bewegen.

Elektrisches Antriebskonzept: Was ist technisch möglich und sinnvoll?

Mit diesen Anforderungen der Nutzer im Hinterkopf und den umfangreichen Daten aus der Umfrage und dem GPS-Tracking im Gepäck machten sich Christian Wachter und sein Abteilungsleiter Dr. Frank Rinderknecht vom Stuttgarter DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte an die Auslegung eines elektrischen Antriebsstrangs. Im Vordergrund standen dabei die Bedarfe der Nutzer und das spezielle Einsatzszenario.

MOBILITÄT IN AFRIKA: IN ZUKUNFT ELEKTRISCH?

Ob in Ruanda, Kenia oder Tansania – erste Keimzellen von Elektromobilität in Afrika gibt es bereits, vor allem in den Städten: Der VW-Konzern eröffnete im Jahr 2018 ein Werk in der ruandischen Hauptstadt Kigali. Dort sollen in nicht allzu ferner Zukunft auch Elektrofahrzeuge vom Band rollen. Dazu kommen Ideen und Initiativen für elektrisch angetriebene Autos, Motorräder, Laster und Busse sowie appbasierte Mobilitätsdienstleistungen – von kleinen afrikanischen Start-ups bis hin zu weltweit agierenden Unternehmen, in internationalen Entwicklungsprogrammen und von Nicht-regierungsorganisationen. Nachhaltigkeit als wichtiger Aspekt wird mehr und mehr ein Faktor für die weitere Entwicklung und trifft auch auf Resonanz in der Politik. Elektromobilität kann in Afrika zu

einer Schlüsseltechnologie auch für den gesellschaftlichen Fortschritt werden. Das Potenzial ist enorm, die Herausforderungen sind es ebenfalls: Mit der Kraft aus Sonne, Wasser und Wind hat der Kontinent viele erneuerbare Ressourcen, um Strom zu erzeugen. Oft fehlen jedoch Speichermöglichkeiten und eine entsprechende Infrastruktur. Immer noch leiden hunderte Millionen Menschen unter Energieknappheit. Große Gebiete, vor allem in den Staaten der Subsahara, sind nicht an das Stromnetz angeschlossen. Die Bevölkerung wächst, der Bedarf an Mobilitäts- und Transportmöglichkeiten steigt. Vor allem Jüngere sind für neue Technologien offen – bereits 800 bis 900 Millionen Afrikanerinnen und Afrikaner nutzen Smartphones.

Um den Energieverbrauch eines elektrischen Fahrzeugs zu berechnen und so dessen Reichweite beziehungsweise die benötigte Batteriekapazität zu bestimmen, braucht man einen Fahrzyklus, der die Einsatzbedingungen möglichst realistisch abbildet. „Mit den vor Ort aufgezeichneten Daten von mehr als 7.000 Einsätzen haben wir einen Fahrzyklus entwickelt, der eine durchschnittliche Fahrt mit dem Motorradtaxi in Daressalam wiedergibt“, beschreibt Christian Wachter das Vorgehen. Dieser bildet beispielsweise auch unterschiedliche Streckenprofile und Straßenverhältnisse ab. „Damit sind wir in die Simulation gegangen und haben abhängig von der Anzahl der Passagiere und der Zuladung ausgerechnet, wie groß der Energieverbrauch

ist und folglich, welche Kapazität die Batterie haben muss“, erklärt DLR-Wissenschaftler Wachter weiter. Die Batterie soll zudem möglichst robust, günstig und sicher sein. Da die Fahrer vor Ort vieles selbst reparieren, ist in diesem Fall zum Beispiel eine Batterie mit einer niedrigen Spannung besser geeignet als eine Hochvoltbatterie.

Bereits auf dem Markt erhältliche E-Motorradtaxis – meist von indischen oder chinesischen Anbietern – verwenden überwiegend Blei-Säure-Batterien. Sie sind an jeder Ecke zu bekommen und relativ leicht wiederzuerwerben. Über mögliche Recyclingprozesse informierte sich das DLR-Team bei zwei Firmen vor Ort. Der Nachteil dieser Batterien sind allerdings ihr hohes Gewicht und ihre geringe Reichweite gegenüber Lithium-Ionen-Batterien. Deshalb favorisieren die Forscher die robusten und kostengünstigen Lithium-Ionen-Technologien, die in den nächsten Jahren mehr und mehr auf den Markt kommen sollen. Allerdings ist deren Recycling noch nicht geklärt. „Wann welche Technologie schlussendlich zum Einsatz kommt, hängt im Wesentlichen von den Randbedingungen der lokalen und globalen Entwicklungen in den Bereichen Gesellschaft und Mobilität ab. Diese haben wir bei unseren Aktivitäten immer mit im Blick“, fasst Frank Rinderknecht zusammen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt: Die Produktion der elektrischen Motorradtaxis soll möglichst in Tansania erfolgen. Die meisten Hersteller der



Szenen aus Daressalam: Orte wie der auf dem unteren Bild eignen sich gut für den Aufbau einer Infrastruktur zum Laden von Elektrofahrzeugen

Motorradtaxifahrer der Fahrervereinigung MAPIMAMATA, DLR-Wissenschaftler Daniel Ehebrect (3. von links) und Feldassistent Peter Makundi (1. von rechts), der auch als Übersetzer fungierte, während einer Besprechung. Auf dem Tisch sind die Logging-Geräte des DLR-MovingLab zu sehen, die während der Feldphase zum Einsatz kamen.



konventionellen Modelle bringen ihre Fahrzeuge in Komponenten zerlegt ins Land. Mit einfachen Mitteln werden sie dann vor Ort zusammengeschrubt. „Für uns ist das Herausforderung und Anreiz zum Nachdenken: Wie lässt sich angesichts der Situation vor Ort Hightech gezielt dort einsetzen, wo sie auch sinnvoll ist und funktioniert“, beschreibt DLR-Forscher Rinderknecht die spannende Aufgabe.

Laden möglich machen: Woher kommt der Strom?

Lediglich etwa ein Drittel der tansanischen Bevölkerung ist ans Stromnetz angeschlossen. Die Versorgung in den großen Städten funktioniert meist ganz gut, generell aber variiert die Netzstabilität stark. „Die Motorradtaxis sicher und zuverlässig laden zu können, ist ein elementarer Faktor für das Gelingen eines solchen Konzepts. Deshalb haben wir zunächst das Stromsystem in Tansania genau unter die Lupe genommen“, sagt Meike Kühnel vom DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme in Oldenburg. „Mit Hilfe der vorhandenen Datensätze haben wir ausgewertet, an welchen Punkten die Fahrer der Motorradtaxis stehen, um zum Beispiel auf Kunden zu warten, Pausen einzulegen oder ihr Gefährt über Nacht abzustellen. Auf dieser Basis erarbeiten wir ein Ladestellennetz“, erläutert die Wissenschaftlerin. Sich von der Situation vor Ort selbst ein Bild zu machen, stellte sich auch für sie als großer Vorteil heraus. Denn wichtige Details wären sonst verborgen geblieben, wie beispielsweise die Tatsache, dass Ladestellen aus regulatorischen Gründen nur auf privaten Geländen stehen dürfen. Da zwei Drittel der Fahrer ihre Motorradtaxis nachts auf bewachten Parkplätzen abstellen, ergibt das Aufladen der Batterien über Nacht am meisten Sinn – tagsüber ergänzt mit Lademöglichkeiten an Punkten, die für die Fahrer zentral gelegen sind und oft angesteuert werden.

Rückblickend war für das Team vor allem der Austausch mit den Fahrern der Motorradtaxis ein sehr spannendes und interessantes Erlebnis. „Wir wurden von den Fahrern offen und herzlich aufgenommen. Sie haben uns einen oft sehr persönlichen Einblick in ihre Lebensrealität gegeben“, erinnert sich Daniel Ehebrect an die Gespräche. „Auch wenn der Alltag komplett anders ist als bei uns, funktioniert er entgegen mancher Vorurteile oder Befürchtungen überraschend gut“, ergänzen Meike Kühnel und Christian Wachter. Nicht nur wegen der gemeinsamen Erlebnisse und der engen Zusammenarbeit über drei DLR-Institute der Bereiche Verkehr und Energie hinweg ist allen Beteiligten das Projekt ans Herz gewachsen: „Vieles im Mobilitätssektor entsteht in Entwicklungsländern wie Tansania gerade erst. Neue und nachhaltige Ideen und Technologien können hier eine große Veränderung

DIE BETEILIGTEN INSTITUTE IM ÜBERBLICK

DLR-Institut für Verkehrsforschung:

Wie sich der Personen- und Wirtschaftsverkehr entwickelt, wird in diesem Institut in Berlin interdisziplinär untersucht. Das Ziel: ein modernes und zukunftsfähiges Verkehrssystem, das effizient und für Mensch und Umwelt nachhaltig funktioniert. Dazu wird das Mobilitätsverhalten von Individuen und Unternehmen untersucht und in Modelle eingearbeitet, die Auswirkungen und Perspektiven aufzeigen. Dabei liegt der Fokus auf den Faktoren Digitalisierung und Automatisierung.

DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte:

Ob für die Straße oder die Schiene – innovative Fahrzeugkonzepte und die dafür notwendigen Technologien stehen im Mittelpunkt der Forschungsarbeiten des Instituts im DLR Stuttgart. Leichtbau und hybride Bauweisen, alternative Antriebe, neuartige Energiewandler und -speicher für Fahrzeuge gehören genauso zu den Themen wie die Analyse von Techniksyste men und deren Bewertung.

DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme:

Die Forschenden im DLR Oldenburg entwickeln Technologien und Konzepte für die zukünftige Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Ressourcen. So untersuchen sie, wie sich die Sektoren Strom, Wärme und Verkehr im Energiesystem von morgen intelligent und effizient verknüpfen lassen. Sie wollen erreichen, dass trotz der oft wetterabhängigen und dezentralen Erzeugung von erneuerbarem Strom und Wärme am Ende ein stabiles und effizientes Energiesystem steht.

bewirken“, ist sich Frank Rinderknecht sicher. Deshalb soll es für das Team und das Projekt möglichst bald weitergehen: Anträge zur Förderung eines Pilotversuchs mit ersten Elektrofahrzeugen in Daressalam laufen bereits.

Denise Nüssle ist Redakteurin im Bereich Presse des DLR.



© Gettyimages / JacZhou

MIT VOLLGAS IN DIE VERKEHRSWENDE

Auf dem Weg zum autonomen Fahren

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 kurze Serie, in der der DLR Projektträger (DLR-PT) Beispiele aus seiner Arbeit rund um Nachhaltigkeit vorstellt. In Folge drei dreht sich alles um die Mobilität der Zukunft.

© DLR



Peter Wüstnienhaus

leitet beim DLR Projektträger die Abteilung Energie und Mobilität. Projekte zur Energie- und Verkehrswende liegen ihm am Herzen. Vor seiner Zeit beim DLR-PT war er als Dienstleister in der Automobilindustrie für IT-Projekte verantwortlich.

Elektronisch betriebene Shuttle-Dienste, die autonom durch die Innenstädte fahren, Menschen transportieren, bei Bedarf aber auch Medikamente ausliefern – alles überwacht von einer Leitstelle, die sich nur einschaltet, wenn das Fahrzeug nicht mehr weiterweiß. Klingt wie Science-Fiction? Ist es aber nicht, sagt Peter Wüstnienhaus, Leiter der Abteilung Energie und Mobilität im DLR Projektträger. Er ist überzeugt: Die Zukunft der Mobilität fängt früher an, als wir denken!

Wie selbstständig sind Autos heute schon unterwegs?

Was wir heute auf den Straßen sehen, sind Autos, die zum Teil automatisiert und vernetzt fahren. Das heißt, die Fahrzeuge sind zum Beispiel in der Lage, die Fahrspur oder ein vorhandenes Tempolimit einzuhalten. Ein Beispiel, das wohl jeder kennt, ist die sogenannte Parkplatzdetektion. Wo früher simpel gezählt wurde, wie oft eine Schranke im Parkhaus auf- und zugeht, gibt es heute Sensoren an Kreuzungen und Laternenmasten, die für städtische Parkleitsysteme sehr zuverlässig die tatsächliche Zahl der verfügbaren Parkplätze erfassen. Durch diese Kommunikation der Fahrzeuge untereinander, aber auch mit der vorhandenen Infrastruktur entstehen große Mengen an Daten. Eine wichtige Frage wird also sein: Wer ist für diese Daten verantwortlich? Und was passiert, wenn das Fahrzeug während der Fahrt plötzlich nicht mehr mit Daten versorgt wird?

Wie und wo testet man so etwas?

Zum Beispiel auf einem etwa drei Kilometer langen Testgelände in Düsseldorf. Hier wird ein ganzer Straßenzug mit Sensoren sozusagen ertüchtigt, Informationen an ein Fahrzeug weiterzugeben, um diesem das selbstständige Fahren ohne Fahrer zu ermöglichen. Hier zeigt sich auch: Wenn die Informationen aus der Umgebung wegfallen, muss das Auto mindestens anhalten können. Das Ganze ist ein Verbundprojekt der Landeshauptstadt Düsseldorf und wird zurzeit durch eine Maßnahme des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gefördert und von uns begleitet. Fragestellungen rund um künstliche Intelligenz und Automatisierung werden in den nächsten Jahren eine wichtige Rolle in der Forschung spielen. Unsere Aufgabe als Projektträger ist es, bei der Konzeption von entsprechenden Fördermaßnahmen, aber auch bei der Bewertung der eingereichten Ideen und der anschließenden Förderung von Projekten, vier bis fünf Jahre in die Zukunft zu schauen.

Wo muss sich noch etwas tun, damit wir die viel zitierte Verkehrswende schaffen?

Ein weiterer inhaltlicher Aspekt, den wir etwa in einer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) finanzierten Fördermaßnahme verfolgen, ist die Reduktion von Verkehr. Es kann nicht die Lösung sein, dass in 20 Jahren jeder ein autonomes Fahrzeug hat. Stellen Sie sich vor, Ihr Fahrzeug fährt Sie in die Stadt und danach wieder nach Hause, weil es vor Ort keinen Parkplatz findet. Das führt zu doppelt so viel Verkehr und hat mit der Verkehrswende nichts zu tun – egal mit welchem Antrieb Ihr Auto unterwegs ist. Fakt ist: Fahrzeuge müssen von mehreren Personen genutzt werden.

Und wie kommen wir dahin?

In der Stadt lassen die Menschen ihr Auto erst stehen, wenn entweder der Parkplatzdruck oder die Spritpreise sehr hoch sind. Der Umstieg auf ein anderes Verkehrsmittel muss also so bequem wie möglich sein. Was wir brauchen, ist eine App, in der verschiedene Verkehrsmittel nicht nur miteinander kombiniert, sondern auch direkt für den ganzen Weg durchgebucht werden können. Ich bin der Über-

„Die Zukunft der Mobilität fängt früher an, als wir denken!“

zeugung, dass jeder sein eigenes Verkehrsbedürfnis am liebsten in einen monatlichen Preis umsetzen würde, sagen wir 100 Euro. Damit kaufe ich eine Leistung, die die Nutzung von Bus und Bahn, Fahrrädern, E-Rollern beinhaltet. Wer darüber hinaus Carsharing oder Taxi- und Shuttle-Dienste in Anspruch nehmen will, legt noch 50 Euro drauf. Das ist die Vision. Und von der sind wir nicht mehr so weit entfernt. Ich schätze, sechs oder sieben Jahre.

Auf dem Land sind die Menschen häufig auf ein eigenes Auto angewiesen, um von A nach B zu kommen. Wie könnten hier Lösungen aussehen?

Hier spielt die sogenannte letzte Meile eine wichtige Rolle, also der Weg vom Bahnhof nach Hause. Wenn es uns gelingt, diesen Weg mit Shuttles abzudecken, die mich „on demand“ zu Hause oder am Bahnhof abholen, sind wir ein ganzes Stück weiter. Und wenn man dann noch darüber nachdenkt, dass diese Shuttles keinen Fahrer benötigen, sondern vollautomatisiert und elektrisch betrieben fahren, überwacht durch eine Leitstelle, wird das Ganze vielleicht sogar wirtschaftlich rentabel. Auch solche Forschungsprojekte betreuen wir bereits. Die Zukunft der Mobilität hat längst begonnen.

Das Interview führte Stefanie Huland, Unternehmenskommunikation DLR Projektträger.

Welche Rolle Bildung spielt, damit wir uns auch morgen noch nachhaltig verhalten, zeigt der Beitrag in der kommenden Ausgabe des DLRmagazins.

WUCHTIGES KLEINOD

Energie ja – Kraftwerke nein? Ein erhellender Besuch im Energie-Museum Berlin

Von Peter Zarth



Ehemals weltweit größte Batteriespeicheranlage, heute energiegeleitetes Museum in Berlin-Lankwitz

Dieses Museum macht Nachteile zu Vorteilen: Es ist (nicht nur denjenigen, die „Mitte“ für Berlin halten) unbekannt. Es liegt jottwede, also ganz weit draußen: in Lankwitz. Und es ist nur auf Anfrage offen. Auf jeden seiner Ausstellungsführer trafe das wohlmeinende Wort „Silberrücken“ zu. Bei unserem Besuch lernten wir eine Energiewende anderer Art kennen, die „Elektropolis“ Berlin, und vor allem, was hinter der Steckdose geschieht; wir erlebten die beste Führung, die wir je in einem Museum erhielten; wir trafen junges Publikum, das man aus dieser ehemaligen größten Batteriespeicheranlage kaum hinaus bekam. Das Energie-Museum Berlin ist, dies charakterisiert auch dessen Architektur: eine Wucht.

Homeland Elektropolis Berlin

Beginnen wir schlicht. Also damit, wie sich das Museum, eine großartige Bildungsstätte, darstellt: „Ziel ist es, die Entwicklung der Energieversorgung und ihrer Randgebiete darzustellen und ihre Bezüge zur ‚Elektropolis Berlin‘ deutlich zu machen. Insbesondere soll jungen Menschen die Energieversorgungstechnik nahegebracht werden. Das Energie-Museum ist in Fachbereiche gegliedert: Kraftwerkstechnik; Netztechnik/Netzbetrieb;

Neue Technologien; Messtechnik; Schutztechnik; Kommunikationstechnik; Arbeitssicherheit; Anwendungstechnik; Archiv.“ Klingt ingenieurwissenschaftlich, elektrotechnisch. Gezeigt werden mehr als 5.000 Exponate, um die sich Geschichten ranken, energiegeleiteter als Homeland.

Geschichte(n)

Die Geschichte der elektrotechnischen Revolution ist so spannend wie die der industriellen: Sie krepelte das Leben um. Berlin ist untrennbar mit ihr verbunden. Mit der Erfindung des dynamoelektrischen Prinzips durch Werner von Siemens wurde 1866 der Weg bereitet. Mit Gründung des Elektrotechnischen Vereins wurde 1879 die wissenschaftliche Durchdringung der Elektrotechnik ebenso befördert wie die Entwicklung der Anwendungstechnik und die Durchdringung potenzieller Märkte; Berlin wurde weltweit deren Vorreiterin und entwickelte sich zur Elektropolis. Im Zweiten Weltkrieg und während der Berlin-Blockade konnte die Stromversorgung mit Einschränkungen aufrechterhalten werden. 1952 wurde Westberlin „Strominsel“: Aus politischen Gründen wurden alle Verbindungen zwischen den Netzen von Westberlin und dem übergeordneten Verbundnetz unterbrochen. „Zwischen der DDR und der BRD gab es nur noch unterkühlte Gespräche auf sachlich-fachlicher Ebene“, sagt Horst D. Kreye, Vorsitzender des Fördervereins, der das Museum finanziert.

Berlin-Diagonale; weltweit größte Batteriespeicheranlage

Die Insellage Westberlins führte zu kreativen, aufwendigen Lösungen: Da die weltweit übliche Versorgung von Städten aus einem peripheren Höchstspannungs-Freileitungsring hier politisch bedingt unmöglich war, mussten neue Wege beschritten werden. So entstand 1978 die international erste große 380-Kilovolt-Kabelverbindung, die nach der „elektrischen Wiedervereinigung“ – eine Energiewende anderer Art – unter Einsatz modernster VPE-Kabeltechnik zur sogenannten „Berlin-Diagonale“ entwickelt wurde. Die Beherrschung spontaner Kraftwerksausfälle führte zur Errichtung der weltweit größten Batteriespeicheranlage im damaligen Heizkraftwerk Steglitz – heute Domizil des Energie-Museums Berlin.

Das lebende Museum

In dem wuchtigen Lankwitzer Bau wird die Entwicklung der Elektropolis Berlin nachgezeichnet; das Haus vermittelt einen Eindruck bedeutender Innovationen, die seit der Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips erfolgten. Wesentlich dafür: Kooperation von elektrotechnischer Industrie, Energieversorgern, Energieanwendern und Wissenschaft. Hans-Heinrich Müller, stellvertretender Vereinsvorsitzender, erläutert uns die Hochspannung, erklärt, warum es „nach Strom riechen“ kann (es ist das Isolationsmaterial), freut sich darüber, dass sich die Physik „nicht beirren“ lasse und führt uns bis zur Kraft-Wärme-Kopplung. Bevor er Führungen beginnt, schaut er sich die Gruppe an, richtet für sie den Rundgang aus: „Wir wollen ein lebendes Museum sein, in dem immer Neues entdeckt werden kann“, sagt er. Problematisch heute: „Alle wollen Energie, nur will nicht jeder Kraftwerke.“

Auf höchstens 30 Gäste kommen drei ehrenamtlich tätige Profis, die Praktiker der Elektrotechnik waren oder noch sind: „Wir wollen, dass



In Berlin waren über Jahrzehnte alle wesentlichen Kabelhersteller ansässig. Das Energie-Museum zeigt eine Vielzahl von Kabelmodellen und Garnituren aller Spannungsebenen. Fast alle diese Kabel waren in Berlin im Einsatz.

jeder Besucher und jede Besucherin mindestens einmal angesprochen wird und Fragen stellen kann“, sagt Ferdinand Menke-Zumbrägel, ein ehemaliger Lehrer. Er baut schon mal Exponate zu Demonstrationszwecken nach, in Grundzügen. Ein Haus zum Anfassen, interaktiv. FAQ bedeutet hier: Frequently Answered Questions.

Die Spannung des Neuen

Selbstverständliches wird oft für selbstverständlich gehalten. Dabei ist es, Generation für Generation, beinhart erarbeitet. In Lankwitz wird das besonders Jugendlichen vermittelt. „Technik erfährt Wertschätzung“, so Menke-Zumbrägel, „aber richtig anstrengen dafür möchte sich nicht jeder Schüler, oder gar dafür kämpfen.“ Elektrotechnik prägt das Leben der Menschen, heute fast unmerklich. Im Energie-Museum Berlin tragen Vertreter einer in den 60er Jahren aufgewachsenen Generation Wissen um Energie und Elektrotechnik auf faszinierende Weise weiter. Dienstag ist übrigens „Tag der (Mit)Arbeit“: Es wird gewerkelt, im Museum summt und brummt es: very good old school. Horst D. Kreye: „Dank der ehrenamtlichen Mitarbeiter befindet sich das Energie-Museum Berlin permanent im dynamischen Wechsel der Exponate, um die Spannung des Neuen zu erhalten.“

Dieses Museum macht selbst von seinem größten Vorteil kein Aufhebens: dem Bau als solchem (Architekt: Hans Heinrich Müller): Wir sind nämlich nicht in einem Museumsbau, sondern exakt dort, wo „der Strom herkam“. Das riecht, schmeckt, fühlt und sieht man überall, bis hin zu den Büroräumen. Oder, flapsig berlinerisch: jottwede, aber 'ne Wucht, wa.

Peter Zarth arbeitet im Bereich Politikbeziehungen und Kommunikation des DLR.

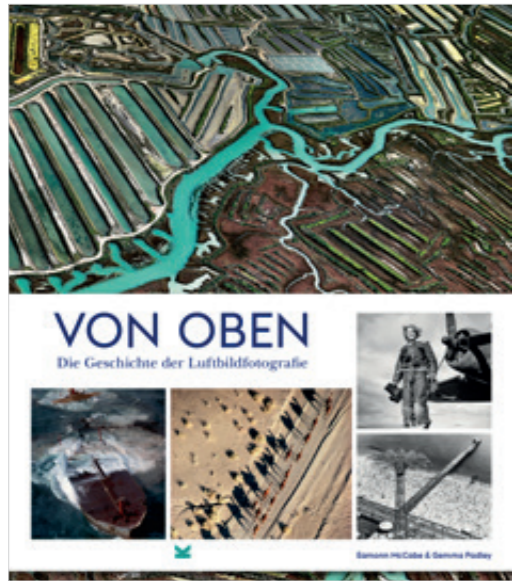
Energie-Museum Berlin e.V.

Mitglied der ERIH – European Route of Industrial Heritage
Teltowkanalstraße 9
12247 Berlin

Telefon: 030 70177755/56 (nicht durchgehend)

Eintritt frei
Besuch nach Terminabsprache

 energie-museum.de



MIT ERFINDUNGSGEIST ZU NEUEN AUS- UND EINSICHTEN

Die Sehnsucht, das Geschehen auf der Erde aus der Vogelperspektive sehen zu können, ist so alt wie die Menschheit. Der Bildband **Von Oben. Die Geschichte der Luftbildfotografie** von Eamonn McCabe, erschienen im **Laurence King Verlag**, kommt diesem Wunsch nach. Im 21. Jahrhundert, in dem es einfach möglich ist, sich per Flugzeug in große Höhen zu schwingen, können auch routinierte Flugpassagiere dem Reiz der Aussicht aus dem Fenster kaum widerstehen. Ein Blick auf das zurückgelassene eigene Haus, auf die pulsierende Stadt oder die Landschaft in ihren verschiedenen Erscheinungsformen fasziniert stets aufs Neue, vielleicht auch, weil die Momentaufnahme aus der Luft einen unmittelbaren Bezug zur irdischen Umgebung herstellt, als es beispielsweise eine Satellitenaufnahme aus dem Orbit vermag.

Eben diese Faszination ließ schon früh in der Luftfahrtgeschichte Fotografinnen und Fotografen in den Himmel aufsteigen – oder zumindest ihre Kameras – und das mit teils beeindruckendem Erfindergeist. So gab es bereits seit 1846 unbemannte Flugdrachen, die, mit früher Fototechnik ausgestattet, die Welt unter sich abbilden sollten. Gut ein Jahrzehnt danach machte der Franzose Nadar von einem Fesselballon aus das erste Foto aus der Luft. Die Bilder zeigten Paris und den Arc de Triomphe, wie sie bis dato noch niemand gesehen hatte. Im Laufe der Zeit kamen neben den heute üblichen Flugzeugen, Gleitern und Drohnen auch Miniluftschiffe oder gar Tauben zum Einsatz, um Kameras jeglicher Art in die Luft zu bringen. Über die pure Faszination vom Anblick der Erde aus der Vogelperspektive entwickelten sich stets weitere Einsatzgebiete für die Luftbildfotografie. Nach dem verheerenden Erdbeben, das 1906 San Francisco in Trümmer legte, halfen die Panoramabilder von George R. Lawrence, den entstandenen Schäden einzuschätzen und die Bergungsarbeiten zu koordinieren. In den darauffolgenden Kriegen brachte die Perspektive aus der Luft oftmals den entscheidenden taktischen Vorteil, zeigte aber auch das schier unfassbare Ausmaß der Zerstörung.

Noch heute sind Luftaufnahmen ein unerlässliches Hilfsmittel für den Schutz vor und der Bewältigung von Katastrophen. Aber auch die gravierenden Veränderungen der Landschaft durch den Menschen werden manchmal erst aus der Luft sichtbar und begreifbar. So täuscht manche malerische, kunstvolle Aufnahme über die eigentliche Zerstörung und Ausbeutung der Natur hinweg. Doch nicht alle Bilder offenbaren beim genaueren Betrachten eine tiefere Botschaft. Oft genug laden die weiten, detailreichen Panoramen und beinahe surrealen Perspektiven zum unbeschwertem Genießen und Bewundern ein. Wie ein sorgfältig kuratiertes Museum hält das Portfolio aus 200 Fotografien nicht nur dem Betrachtenden den Spiegel vor oder übt subtile Gesellschaftskritik, sondern begeistert mit einer faszinierenden Zeitreise durch die Geschichte der Luftbildfotografie und die Welt, die sie abbildet. Der Bildband zeigt die Kreativität und Anpassungsfähigkeit des Menschen, seine Skrupellosigkeit und Gier, aber auch seine Rücksichtnahme und Wertschätzung der Natur. Häufig hilft es, den Blickwinkel zu ändern, um zu sehen, wie schön und erhaltenswert die Welt ist, auf der wir leben.

Daniel Beckmann

GESCHICHTE AUF DEN KOPF GESTELLT

Die Sowjetunion landet zuerst auf dem Mond, Amerika schaut in die Röhre. Im Fernsehen verfolgt das NASA-Astronautencorps um Neil Armstrong, wie ein russischer Kosmonaut die Flagge des Klassenfeinds auf dem Erdtrabanten hisst. Doch die Resignation währt nur kurz, dann flammt der Wettkampf um die Eroberung des Alls neu auf. Die US-amerikanische Dramaserie **For All Mankind** spielt gekonnt und unterhaltsam mit dem Motiv des „Was wäre gewesen, wenn ...“ und zeigt eine alternative Geschichte des Space-Race der beiden Supermächte.

Nach dem ersten Schock starten die USA mit dem Apollo-Programm durch, bauen eine Mondstation und finden Wasser. Eine rein weibliche Astronautenklasse bringt weiteren Schwung in die Handlung und erweitert die Perspektive der Serie um Einblicke in das Gesellschaftsbild und Geschlechterverhältnis der Sechziger- und Siebzigerjahre des 20. Jahrhunderts. Zunächst als Publicity-Stunt des US-Präsidenten gedacht, entwickeln sich die Astronautinnen zu mehr als ebenbürtigen Counterparts ihrer männlichen Kollegen.

Die Rollen von Gut und Böse sind im Wettkampf der beiden Supermächte vordergründig klar verteilt. Das Gros der Handlung zeigt die amerikanische Seite und lässt das Publikum mit den Helden der NASA fiebern und leiden. Doch steht das US-Engagement im All wirklich für die ganze Menschheit, wie der Titel der Serie verkündet? Bei den Protagonisten melden sich erste Zweifel.

„For All Mankind“ vereint eine originelle Idee mit spannenden Charakteren sowie einer gehörigen Portion Action unterlegt mit dem passenden Soundtrack zu gelungener Popcorn-Unterhaltung. Die erste Staffel der Serie mit zehn Folgen ist auf **Apple TV+** erhältlich. Eine zweite Staffel ist angekündigt.

Denise Nüssle



DUNKELHEIT UND POESIE

Das im Romanformat bei **Piper** erschienene Buch **Die Magie der Nacht** ist eine Überraschung. Autor Trinh Xuan Thuan kündigt eine wissenschaftliche Reise von der Abenddämmerung bis zum Morgengrauen an und beginnt sie mit Guy de Maupassants „La Nuit“, dessen Liebeserklärung an die Nacht. Wir lesen Zeilen von Rilke und entdecken Bilder wie van Goghs „Sternennacht über der Rhone“. Dann Aufnahmen vom Weltraumteleskop Hubble. Natürlich auch und vor allem Texte über Lichtspektren, Elementarteilchen und Neutrinos, über dunkle Materie oder das anthropische Prinzip, welches besagt, dass wir das Universum nur beobachten können, weil es alle Eigenschaften hat, die uns als Beobachtern ein Leben ermöglichen.

Es ist die Kombination von Wissenschaft und Kunst, die durch das Buch trägt. Sie lässt uns das Dunkel neu sehen. Die Texte berichten aus eigenem Erleben oder erklären fachliche Zusammenhänge. Und immer wieder schlägt der Autor die Brücke zum Alltäglichen, besser gesagt Allnächtlichen. Es ist, als führe man wie der kleine Häwelmännchen aus dem Märchen von Theodor Storm in seinem Rollenbett durch Zeit und Raum, erstaunt angesichts der Bilder, berührt von Poesie und dann wieder still konzentriert auf gut verständliche Erklärungen. Kein Zweifel: Die Nacht hat etwas Magisches.

*Der Himmel, groß, voll herrlicher Verhaltung,
ein Vorrat Raum, ein Übermaß von Welt.
Und wir, zu ferne für die Angestaltung,
zu nahe für die Abkehr hingestellt.*

Rainer Maria Rilke

Cordula Tegen





WEGE ZUR GRÜNEN ENERGIEWIRTSCHAFT

In seinem im **oekom Verlag** erschienenen Buch **Energiewende einfach durchsetzen** erläutert Autor Dr. Axel Berg, Rechtsanwalt und Politologe, wie die Energiewirtschaft in zehn Jahren erfolgreich frei von Kern- und fossiler Energie werden könnte. Er beschäftigt sich nicht nur mit dem „Wie“ der Energiewende, sondern setzt sich dafür in der Politik auch stark ein.

Berg definiert in einer Roadmap drei Grundregeln als Gesetze der Energiewende: Ausbau der Anlagen, Dezentralität fördern und kurzfristig wirksame Technologien einsetzen. Energieautonomie durch erneuerbare Ressourcen sieht er als Kern der nachhaltigen Energiewirtschaft. Die mit dem Verkehrs-, Agrar- und Wärmesektor gekoppelten Energiestrategien stellt er fundiert und mutig dar, obwohl – oder gerade weil – diese im Widerspruch zum aktuellen Wirtschaftsgebaren stehen. Was er vorschlägt könnte durchaus Hoffnung auf mehr Weltfrieden machen, weil es der Ölabhängigkeit und der Rohstoffausbeutung entgegenwirkt. Bergs Appell geht hauptsächlich an die Politik, die in der Lage ist, für die Energiewende Hemmnisse aus dem Weg zu räumen, Mittel zu mobilisieren und den Abbau von nicht nachhaltigen Alternativen zu beschleunigen.

Das Sachbuch präsentiert zahlreiche Fakten und Nachweise, die für den Laien bei aller Informationsdichte trotzdem verständlich sind. Es stellt dar, wie vielschichtig der Wandel zu betrachten ist. Als „Anleitung für die nächsten zehn Jahre“ ist der thematische rote Faden nicht immer sichtbar, Handlungsempfehlungen wiederholen sich und sind nicht gut strukturiert. Dennoch eine klare Empfehlung für Leserinnen und Leser, die sich an der anhaltenden Klimadiskussion beteiligen möchten.

Melisa Seyrek Intas



WISSENSCHAFTLICHE SCHÖPFUNGSGESCHICHTE

Die Astrobiologie ist schon eine seltsame Disziplin. Sie versucht, Aussagen über mögliche Lebensformen und -räume im Universum zu treffen, und kann sich dabei letztlich doch nur an einem einzigen Ort im Universum orientieren: unserer Erde. Dabei beherrschen Astrobiologen ein beeindruckendes Arsenal interdisziplinärer Methoden: Geologie und Chemie, Evolutionstheorie und Astronomie. So gelingt ihnen eine derart umfassende Sicht auf das Leben auf der Erde, dass sogar Rückschlüsse auf exoplanetare Existenzformen zulässig werden. Was dabei herauskommen kann, wenn diesem ohnehin interessanten Disziplinenmix auch noch die Geschichte menschlicher Zivilisation hinzugefügt wird, zeigt der Autor und Astrobiologe Prof. Dr. Lewis Dartnell in seinem Buch **Ursprünge – wie die Erde uns erschaffen hat (Hanser)**.

Geschichte ist oft geprägt von zufälligen Entwicklungen: politischen Entscheidungen herrschender Klassen, dem Schlachtenglück eines einzelnen Generals oder Naturkatastrophen, die ganze Landschaften verwüsten. Wenn man sich jedoch darauf einlässt, die Welt und die sie antreibenden, sie stetig verändernden Prozesse über gigantische Zeitspannen verstehen zu wollen, dann weicht die Idee des Zufalls der Erkenntnis, dass es eine faszinierende Konstanz und einen stetigen Trend geben muss. Zivilisationen benötigen für ihre Entwicklung Rohstoffe. Wieso gibt es davon an einigen Orten mehr als an anderen? Nautik und Schiffbau entwickeln sich vornehmlich dort, wo zunächst geringe Distanzen zwischen Küsten zu überbrücken sind. Handelszentren verbinden sich entlang dauerhaft passierbarer Routen: Warum liegen sie seit Jahrtausenden an denselben Orten? In Zeiten des sogenannten Anthropozäns wird der Einfluss des Menschen auf den Planeten Erde überdeutlich. Prof. Dr. Lewis Dartnell lädt ein zu einer Reise durch die Schöpfungsgeschichte auf naturwissenschaftliche Art. In den Kapiteln des Buchs beleuchtet er historische Wendepunkte und zeigt, wie der Planet den Menschen und die Menschheit geformt hat. Ein Leckerbissen für gleichermaßen Geschichts- wie Wissenschaftsfans!

Thorsten Haag

WIE EIN SPIEGEL



erscheinen sollte, öffentlich war und in gewissem Maße literarisch wirken konnte. Herrndorf suizidierte sich mit einem Revolver am früheren Hohenzollernkanal in Berlin.

Die Umstände seines Todes, die etwas von einer Inszenierung hatten, und die Tatsache einer 2010 diagnostizierten, unheilbaren Erkrankung, sollte kennen, wer sich dem Hörbuch **Diesseits des Van-Allen-Gürtels (Roof Music)** nähert. Herrndorf selbst hat es eingelesen, veröffentlicht wurde es aber erst 2019. Der entsprechende Erzählband stammt von 2007. Das Hörbuch enthält daraus nur drei von sechs Erzählungen: „Der Weg des Soldaten“, „Diesseits des Van-Allen-Gürtels“ sowie „Zentrale Intelligenz Agentur“. Dass der Verlag diese Erzählungen, von Herrndorf selbst vorgelesen, veröffentlicht, mag mit dem Schicksal des Autors zusammenhängen – der Rezeption nutzt dies nach Meinung des Rezensenten nicht: Herrndorfs Stimme war dafür nicht ausgebildet; der Autor liest fast unbeeiligt, nur in den etwas abgesetzten Dialogen hebt und senkt er die Stimme. Das verlangt vom Zuhörenden hohe Konzentration.

Der 13. Mensch auf dem Mond: ein Junge

Die Titelgeschichte erzählt den Konflikt eines Mannes, den dieser mit einem Jungen austrägt, der als 13. Mensch auf dem Mond landen möchte. Der Mann versucht mit der Theorie, auf dem Mond habe es nie eine astronautische Landung gegeben, über den Jungen, dessen Vater in der Raumfahrt arbeitet und der von seiner Mutter allein erzogen wird, Macht auszuüben. Es ist kein Spiel, das nur die üblichen Argumente aufnimmt, es entwickelt sich zu einem ersten Generationenkampf, dessen poetisches Schlussbild die Einsamkeit eindringlich aufzeigt. Die Erzählung „Der Weg des Soldaten“ ist wie ein Roadmovie erwachsener Männer im Wettstreit um die Liebe einer nur partiell anwesenden Frau: auch hier ein Ende in poetisierender Einsamkeit. „Zentrale Intelligenz Agentur“ schließlich ironisiert eine vor knapp 20 Jahren gegründete Gesellschaft der sogenannten Digital Boheme. Heute ein aus Sicht des Rezensenten eher aus literaturhistorischen Gründen erwähnenswerter Text voller Insider-Name-Droppings von geringem Belang, teilweise latent frauenfeindlich. Fazit: nur für Herrndorf-Freunde ein Muss; für alle anderen leider ein Werk, das mehr verspricht, als es hält.

Der .357 Magnum Revolver von Smith & Wesson, mit dem Wolfgang Herrndorf sich erschoss, bevor der Tumor ihm die Herrschaft über seinen freien Willen hätte gänzlich nehmen können, eine Waffe und eine Tat, über die er in seinem Blog „Arbeit und Struktur“ ausführlich geschrieben hatte, dieser Revolver liegt heute im Marbacher Literaturarchiv, nicht aber Herrndorfs Manuskripte.

„Ich habe jemanden getroffen, der ist wie ich: wie ein Spiegel“, sagt Mara in „Der Weg des Soldaten“. „Dieser Spiegel ist düster und schwarz.“

Peter Zarth

Erhältlich als käuflicher Stream unter tacheles.lnk.to/vanallenguertel

LINKTIPPS

SCHICKER RETRO-FLAIR mustardchannel.com

Fliegende Flugzeugträger, der gewagte Start von Airbus oder jettriebene Züge sind nur ein paar der vielfältigen Themen, zu denen Mustard seinen Senf dazugibt. In retrospektiv anmutenden Videos werden anhand historischer Aufnahmen und eleganter 3D-Modelle Höhen- und Sturzflüge aus der Welt der Verkehrstechnik präsentiert. (Englisch)

LERNEN AUF DISTANZ

t1p.de/vvyb

Eine digitale Unterrichtsstunde aus dem DLR_School_Lab Berlin. Tobias Bohnhardt nimmt das Publikum mit auf eine virtuelle Reise durch das Sonnensystem und zur Internationalen Raumstation ISS. Er zeigt, wo dort gearbeitet, gegessen und geschlafen wird, und nimmt die Zuschauer mit zu einem virtuellen Spacewalk. Die Sendung richtet sich an Kinder und Jugendliche, aber natürlich sind auch interessierte Erwachsene herzlich eingeladen.

GIGANTISCHER KULTURKOSMOS

artsandculture.google.com

Eine Audienz bei Nofretete oder eine Online-Ausstellung über die Frage, warum das Zebra Streifen hat? Kein Problem! Die App Google Arts & Culture versammelt virtuelle Rundgänge durch mehr als 2.000 Museen und Ausstellungen aus aller Welt. Mit dabei sind auch das Berliner Naturkundemuseum, das Deutsche Meeresmuseum oder das Senckenberg Forschungsinstitut. Aber Vorsicht: Wer sich einmal in den Kulturkosmos begeben hat, findet nur schwer wieder heraus.

RAUMFAHRT-PODCAST

hr-inforadio.de/podcast/weltraumwagner

Für Spacefans, die lieber hören als lesen oder schauen möchten, liefern Dirk Wagner und Oliver Günther in ihrem Podcast „WeltraumWagner“ einmal monatlich Wissenswertes zum Thema Raumfahrt und Weltraumforschung. Wagner ist Weltraumexperte und Günther Redakteur beim Hessischen Rundfunk. Die Folgen sind zwischen 20 und 40 Minuten lang und orientieren sich immer an einer Leitfrage. Das können Themen sein wie Asteroidenabwehr, Raumfahrtantriebe oder auch die Frage, ob sich ein neuer Nationalismus im All entwickelt.

QUIZ ZUM KLIMAWANDEL

t1p.de/j8pa

Beim Thema Klimawandel geht es um mehr als Meinungen und Appelle. Die Basis bildet naturwissenschaftliches Wissen – nicht nur in Forschung und Politik. NASA Climate bietet im englischen Onlinequiz die Möglichkeit, die eigenen Kenntnisse über das System Erde und den Einfluss des Menschen zu testen. Ein paar harte Nüsse sind darunter.

Titelbild

Wasserstoff lässt sich leicht transportieren und relativ einfach speichern. Und das Einsatzspektrum des Allrounders ist groß: Er ist Grundlage für alternative Treibstoffe genauso wie Speicher für überschüssige Wind- oder Solarenergie. Auch in der Verkehrs- oder Energietechnik kommt er zum Einsatz: Die abgebildeten Tanks versorgen den Gasturbinenprüfstand des DLR-Instituts für Antriebstechnik in Köln mit Wasserstoff. Dort entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue, sparsame und leistungsstarke Gasturbinen.

