

DLR magazin

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt · Nr. 153 · April 2017

SONNE PER KNOPFDRUCK

SALZ UNTER DER HAUT: Erinnerung an die MIR
100 SEKUNDEN MEHR SCHUB: Raketenbooster aus Kunststoff
RUSS IM SCHNEE: Messungen in der Antarktis



Bild: DLR/Gesine Born

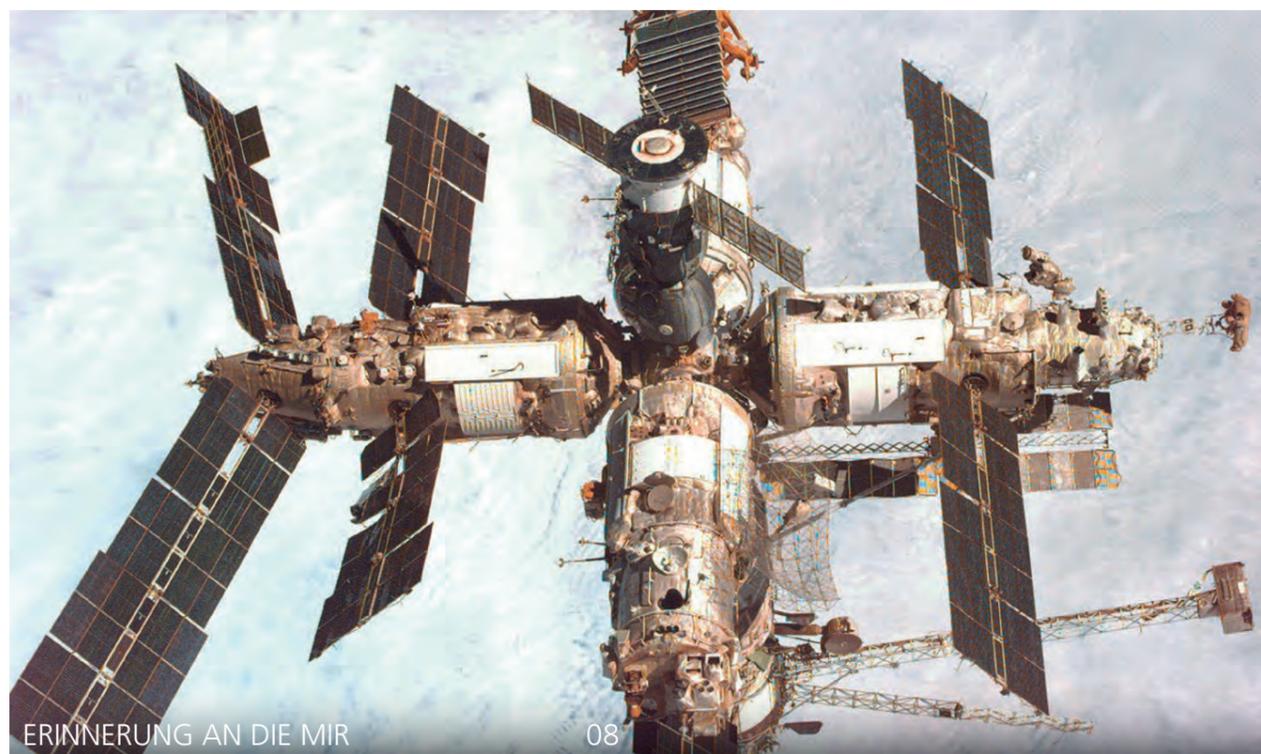
Liebe Leserinnen und Leser,

Sonne per Knopfdruck, das wärs. Licht hebt die Stimmung nach diesem Winter, der so manche Härte mit sich brachte – und damit sind nicht die Temperaturen gemeint. Die Sonne allerdings, die wir anknipsen, ist künstlich und Forschern in Jülich vorbehalten. Mit einer Art Wabenfeld aus 149 einzeln ansteuerbaren Strahlern kann eine Gesamtleistung von zehntausend Sonnen erreicht werden. Das ist mehr Leistung, als alle Hochleistungsstrahler der Welt zusammen haben. Hohe UV-Strahlung ist in der Raumfahrt ein Thema. Die im März eingeweihte Forschungsanlage Synlight dient aber vor allem der Entwicklung solarchemischer Verfahren. Sie könnten ein Weg sein, Wasserstoff für solare Antriebe zu erzeugen.

Saubere Antriebe würden keinen Ruß ausstoßen, Ruß, der sogar den Schnee in der Antarktis verdunkelt. Das Rückstrahlvermögen des Schnees wirkt sich auf das Klima aus. Ein gemeinsames Projekt des DLR mit Chile soll diese Zusammenhänge genauer ergründen. Dafür tauschten DLR-Forscher ihren Computerarbeitsplatz gegen Schaufel und Spitzhacke und machten sich auf, um am Union Glacier Schneeproben zu entnehmen. Proben, die nun in den Labors ihrer chilenischen Kollegen ausgewertet werden.

Positiven Einfluss auf das Klima in einem uns sehr viel näher liegenden Bereich, nämlich in der Stadt, hat Grün: Gesundes Stadtklima – das weiß jeder – braucht Grün. Dafür geeignete Flächen lassen sich mittels Satellitendaten gut ausmachen. Und zwar auf Dächern. Also, wenn Ihre Stimmung noch im Wintertief ist – einfach Blumen aufs Dach. Wir wissen, wo es geht.

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation



ERINNERUNG AN DIE MIR 08



RUSSSPUREN IM SCHNEE 38



STAR TREK IM MUSEUM 50



EIN SCHWARZES PULVER UND VIELE IDEEN 16



KOMMENTAR 04



LASTENTRANSPORT 24

DLRmagazin 153

KOMMENTAR	4
KURZMELDUNGEN	6
SALZ UNTER DER HAUT Erinnerung an MIR'92 und MIR'97	8
EIN SCHWARZES PULVER UND VIELE IDEEN Metallhydride als Wasserstoffspeicher	16
WÖLBEN, BIEGEN, KRAFT VERSCHIEBEN Bionische Strukturen in der Luftfahrt	20
KONTROLLIERTER FALL Simulation des Verhaltens von Fallschirmlasten	24
FRUST HINTER DEM STEUER Human Factors und die Mobilität von morgen	26
AUF STARKER GRUNDLAGE HOCH HINAUS DLR-Ausgründung nutzt Faserverbundtechnik	30
100 SEKUNDEN ZUSÄTZLICHER SCHUB Produktionsprozess für Raketenbooster aus Kunststoff	32
RUSSSPUREN IM SCHNEE Messkampagne zum Einfluss auf das Klima	38
GRÜN AUF DEM DACH Informationen aus Fernerkundungsdaten	44
SONNE PER KNOPFDRECK Teil 3 der Serie „Großgeräte“: Synlight	46
IN MUSEEN GESEHEN Star Trek – Fiktion wird Wirklichkeit	50
REZENSIONEN	52

„DAS BESTÄNDIGE IST DIE VERÄNDERUNG“

Ein Kommentar von Prof. Dr. Pascale Ehrenfreund, Vorsitzende des DLR-Vorstands

Natur und Gesellschaft verändern sich immer schneller, nicht zuletzt beeinflusst durch den Menschen. In diesem Bewusstsein müssen wir unser Handeln überdenken. Um adäquat reagieren zu können, wird der Bedarf an Wissen immer größer. Aus neuem Wissen müssen wir Maßnahmen ableiten, die uns und unseren Nachkommen eine Zukunft auf der Erde ermöglichen, egal ob in zehn oder hundert Jahren. Dafür müssen wir jetzt Sorge tragen.

Mit unseren Forschungsbereichen und deren gegenseitiger Verknüpfung sowie den Ergebnissen, die wir erzielen, können wir dazu beitragen, den Bedarf an Wissen für morgen zu decken. Intelligente Mobilität, Energieeffizienz, Klimaschutz und Big Data sind Begriffe, die annähernd beschreiben, vor welchen Herausforderungen wir heute stehen, um die Zukunft gestalten zu können.

Wir sind auf dem richtigen Weg: Mit Braunschweig wurde eine ganze Stadt zum Testfeld für die zukünftige Mobilität. Ein Weltrekord in der Datenübertragung via Laserlicht kann der Beginn sein, um auch abgelegene Gebiete an schnelles Internet zu bringen. Und die Forschung an alternativen Treibstoffen soll die Umweltbilanz des Luftverkehrs entscheidend verbessern: Das virtuelle Produkt – vom Entwurf des Flugzeugs bis zum Wartungsintervall – soll industrielle Prozessketten entscheidend verbessern.

Es wird notwendig sein, unsere Forschungsbereiche noch enger zu vernetzen, um sie am Bedarf der Gesellschaft auszurichten. Denn unsere Forschung bildet die Basis für einen attraktiven Wissenschafts- und Wirtschaftsstandort Deutschland.



Bild: DLR/Gesine Born

MEHR SICHERHEIT UND EFFIZIENZ AN FLUGHÄFEN

DLR leitet EU-geförderte Forschungsprojekte

Für ein besseres Flugverkehrsmanagement hat die Europäische Union das Single European Sky ATM Research Programme (SESAR) mit insgesamt 25 Projekten ins Leben gerufen. Zwei sind nun unter DLR-Leitung gestartet worden. Im Fokus stehen die Anwendung der Fernüberwachungstechnik, die das Flugverkehrsmanagement für einen oder mehrere Airports aus einem Kontrollzentrum (Remote Tower Center) ermöglicht, sowie der umfangreiche Testbetrieb neuer Entwicklungen im Flugverkehrsmanagement am Boden.

„Remote Tower“ beschreibt ein Konzept, bei dem Fluglotsen oder Fluginformationsdienste das Flugverkehrsmanagement vor allem für ländliche Flughäfen mit geringem Verkehrsaufkommen aus einem Tower Center bereitstellen, anstatt wie herkömmlich aus dem örtlichen Tower. 39 internationale Partner aus Industrie, Flugsicherung und Forschung suchen gemeinsam nach Wegen, wie mehrere Flughäfen mittels Videoübertragung von einem Kontrollzentrum aus sicher und effizient gemanagt werden können.

Das Projekt „Integrated Airport Operations“ soll demonstrieren, wie Innovationen, die im Vorgängerprogramm SESAR 1 entwickelt wurden und die für mehr Kapazität, Sicherheit und geringeren Treibstoffverbrauch sorgen sollen, nun praktisch zum Einsatz kommen können. Dafür sind Großfeldversuche an den Flughäfen Hamburg, Nizza und Budapest geplant. Ergänzt werden die Testläufe an den Flughäfen durch zwei Onboard-Demonstrationen, bei denen es um den Einsatz neuer Lösungen im Flugzeug geht.

s.DLR.de/8103



Im Kontrollzentrum werden mehrere Flughäfen aus der Ferne betreut. Hier kann, je nach Verkehrsaufkommen, ein einziger Controller für mehrere Flughäfen das Luftverkehrsmanagement übernehmen.

ALKOHOL ALS RAKETENTREIBSTOFF

Deutsch-brasilianisches Kooperationsprojekt setzt auf „grünen“ Antrieb

Umweltfreundlichen Raketen sind Weltraumingenieure aus Brasilien und dem DLR einen Schritt näher gekommen. Brenntests für das Oberstufen-Triebwerk eines zukünftigen brasilianischen Kleinträgers verliefen erfolgreich. Um die optimale Technik für den Antrieb für eine deutsch-brasilianische Rakete zu finden, wurden parallel zwei Einspritzköpfe entwickelt und am Prüfstand P8 des DLR-Instituts für Raumfahrtantriebe in Lampoldshausen auf die Probe gestellt. Bei 42 Zündungen an zwanzig Tagen analysierten die Wissenschaftler das Zündverhalten und die Stabilität des Systems.

Die neue Technik basiert auf Ethanol – also gewöhnlichem Alkohol – als Treibstoff. Ethanol gehört, ebenso wie Methan, zu den sogenannten „grünen“ Treibstoffen. Sie sind umweltfreundlich und weniger gesundheitsbelastend als die bisher in der Raumfahrt verwendeten Hydrazin-Verbindungen. Zudem sparen sie Kosten, da der Aufwand für die sichere Lagerung und Handhabung der Stoffe wesentlich geringer ist.

Die beiden neuen Einspritzköpfe, die das Herzstück des zukünftigen L75-Triebwerks bilden sollen, unterscheiden sich vor allem in der Art und Weise, wie der Treibstoff in die Brennkammer eingespritzt und vermischt wird. Ein System stammt vom Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) in Brasilien, das andere wurde in Deutschland im Rahmen des Projekts SALS (Systemauslegung eines Alkohol-LOX-Antriebs als Substitut für lagerfähige Antriebsstoffe) vom Raumfahrtunternehmen Airbus Safran Launchers entwickelt und gebaut.

s.DLR.de/ku18

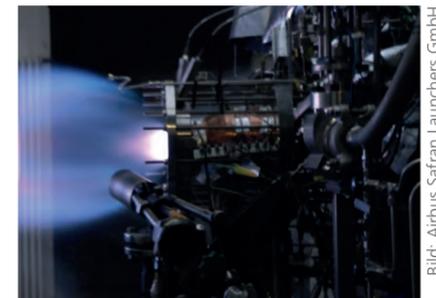
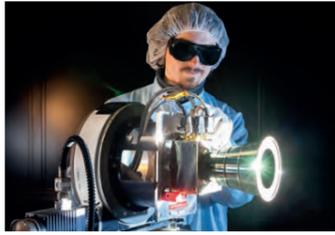


Bild: Airbus Safran Launchers GmbH

Zwei verschiedene Einspritzköpfe wurden im Brenntest erprobt: Bei dem von der Airbus Safran Launchers GmbH entwickelten System wird mit Hilfe des Einspritzkopfs Treibstoff in die Brennkammer gespritzt und dort gezündet.



ERSTER SATELLIT DER SMALLGEO-REIHE

Mit Hispasat 36W-1 startete am 28. Januar 2017 der erste Satellit einer in wesentlichen Teilen in Deutschland entwickelten und gebauten Plattform für Telekommunikations-satelliten ins All. Hispasat 36W-1 wird die Iberische Halbinsel, die Kanaren und Südamerika mit Multimediadiensten versorgen. Zur Nutzlast gehört auch ein „Ka-Band-Demonstrator“, eine Kommunikationseinheit mit einer besonders großen Bandbreite an Frequenzen. Ein neuartiges Ansteuerungsmodul und drei Leistungsverstärker werden im Weltall erprobt. Bisher waren die Kommunikationssatelliten relativ starr: Einmal im All, sendeten sie über ihre gesamte Lebensdauer von rund 15 Jahren hinweg im selben Frequenzbereich und mit einer fest eingestellten Leistung. Die Neuentwicklung soll die Satellitenkommunikation flexibler machen.

GLETSCHEREIS IN SCHEIBEN

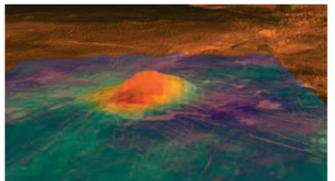
Eine im DLR entwickelte Methode zur 3D-Vermessung der Erde wurde zusammen mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) auf Gletscher und Eisflächen angewendet. Das satellitengestützte Radarkonzept ermöglicht es, Bereiche der Kryosphäre zu erfassen und scheibenweise zu analysieren. Noch nicht möglich ist es, die rasanten Veränderungen vieler Gletscher und Eisflächen flächendeckend zu erfassen. Das Zukunftsprojekt Tandem-L könnte diese Lücke schließen und Rückschlüsse auf die globalen Folgen der Veränderungen liefern.



Das Abschmelzen von Gletschern und Eis und der daraus resultierende Anstieg des globalen Meeresspiegels stellen eine Bedrohung für viele Nationen dar. Tandem-L wird derzeit vom Wissenschaftsrat begutachtet. Die Ergebnisse werden Mitte 2017 erwartet.

KARTE VOM VENUSVULKAN

Der an seiner Basis 200 Kilometer durchmessende Vulkan Idunn Mons auf der Südhalbkugel der Venus war – anders als vermutet – in geologisch jüngerer Zeit aktiv. DLR-Wissenschaftler haben mit dem Spektrometer VIRTIS Lavaströme identifiziert und sie stießen auf für die Venus-Oberfläche ungewöhnlich hohe Temperaturen. VIRTIS gehört zur europäischen Orbitermission Venus Express, die von 2006 bis 2014 Aufnahmen von der Atmosphäre und der Oberfläche des Erd-Nachbarn machte. Die Forscher kombinierten Infrarotmessungen von VIRTIS mit den räumlich höher aufgelösten topografischen Radardaten der NASA-Mission Magellan, die die Venus von 1990 bis 1992 kartierte.



Durch die Datenkombination konnte erstmals vulkanische Aktivität auf einem anderen Himmelskörper als der Erde auf einer Karte dargestellt werden.

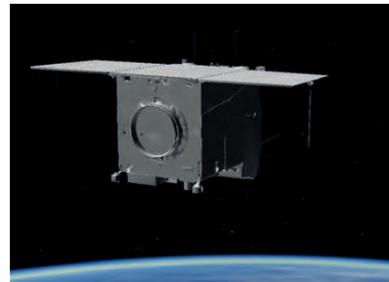
WELTREKORD IN DER LASER-TECHNOLOGIE

Bei der Datenübertragung mit Laserstrahlen stellte das DLR einen Weltrekord auf. In einer Testumgebung wurde eine Übertragungsrate von 1,72 Terabit (das entspricht etwa 45 DVDs) pro Sekunde über eine Entfernung von 10,45 Kilometern erreicht. Die Boden-Berg-Verbindung zwischen dem oberbayerischen Weilheim und dem Hohenpeißenberg weist ähnliche Störungspotenziale auf wie eine Datenübertragung ins All. Der Versuch im Rahmen des DLR-Projekts THRUST (Terabit-throughput optical satellite system technology) ist ein Schritt, um Satelliten per Laserlink an das terrestrische Internet anzubinden. So lassen sich ländliche Gebiete besser mit Breitband-Internet versorgen. Der optischen Datenübertragung im Terabit-Bereich ist man damit deutlich näher gerückt. Nun gilt es, das Übertragungssystem zu stabilisieren.



RENDEZVOUS IM ALL

Um einen passiven Flugkörper im All zu erkennen und autonom an ihn heranzufiegen, starteten DLR-Wissenschaftler das Experiment AVANTI (Autonome Visuelle Anflug-Navigation und Target Identifikation). Dazu nutzen sie den Kleinsatelliten BIROS als „Fänger“ und den von ihm ausgesetzten Nanosatelliten BEESAT-4 als ein „ungelenktes Objekt“. Voraussetzung für die Anflugnavigation ist ein relativ einfaches Sensorsystem, in diesem Fall die Sternkamera von BIROS, und die an Bord befindliche AVANTI-Technologie. Nach Aufnahme des Zielgebiets, der Bildverarbeitung und Identifizierung des Objekts kann AVANTI den Flugkörper anpeilen. Mit den Daten der Flugmanöver lassen sich dann die Relativbewegung von BEESAT-4 ermitteln und weitere Manöver planen – eine Voraussetzung für das spätere „Einfangen“ von Weltraumschrott.



UM DIE WIRBEL FLIEGEN

Wie Wirbelschleppen ausgewichen werden kann, wurde vom DLR Ende 2016 über Braunschweig erprobt. Solche von den Tragflügelspitzen ausgehenden Wirbel können nachfolgende Flugzeuge gefährden. Deshalb müssen vor allem kleine Maschinen hinter großen bis zu 15 Kilometer Abstand halten. Das neue System sagt Wirbelschleppen aus Wetterinformationen und Navigationsdaten des vorausfliegenden Flugzeugs vorher und schlägt Ausweichmanöver vor. Für den Praxistest war das DLR-Forschungsflugzeug A320 ATRA im Einsatz. Der Pilot bekam auf dem Display die Position der Schleppe angezeigt. Mit der nachfolgenden Falcon des DLR wurde ermittelt, wie die automatisch vorgeschlagenen Manöver funktionierten. Die Tests zeigten, dass der gewählte Ansatz gute Wirbelprognosen liefert und das Situationsbewusstsein des Piloten schärft.



DLR-TECHNIK RETTET MENSCHENLEBEN

Die Arbeit der Hilfsorganisation International Search and Rescue (I.S.A.R.) wird schon seit Jahren mit Satellitendaten aus dem DLR unterstützt, zuletzt nach dem Wirbelsturm „Matthew“ in der Karibik im Oktober 2016. Die Rettungskräfte gewannen so einen Lageüberblick und konnten ihren Einsatz besser koordinieren. Diese Zusammenarbeit wird im Laufe des Jahres 2017 ausgebaut. So könnten demnächst auch Kameras aus dem DLR-Institut für Optische Sensorsysteme an unbemannten Flugsystemen (Unmanned Aerial Vehicle, kurz UAV) zur Suche nach Verschütteten bei Erdbeben und Flutkatastrophen eingesetzt werden. Das DLR entwickelt für die kleinen UAV spezielle, kompakte Kameratechnik. Die Zusammenarbeit mit I.S.A.R hat den Vorteil, dass die neue Technologie von vornherein an den realen Einsatz angepasst werden kann.



KLIMAWIRKSAME GASE ERFASST

Über die Wirkung von Methan und Kohlendioxid auf das Klima ist noch immer zu wenig bekannt. Die vom DLR geführte Mission CoMet (Carbon dioxide and methane mission for HALO) soll dazu Informationen liefern. Methan gilt wegen seiner geringen Konzentration in der Atmosphäre als der „kleine Bruder“ von CO₂, ist aber 86 mal so klimawirksam. Das Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) sammelt Daten über die beiden wichtigsten sogenannten Klimagase von Nordeuropa bis Nordafrika. Der Fokus liegt auf dem oberschlesischen Kohlrevier als einer der größten europäischen Methanquellen. Weiterhin soll die Atmosphäre über Berlin, einer Großstadt inmitten eines relativ dünn besiedelten Gebiets, genauer betrachtet werden, um zu ergründen, wie sich die Treibhausgase von Metropolen in der Atmosphäre verbreiten.



3D-BILDER FÜR MAULWURF-EINSATZ

Am 5. Mai 2018 wird das DLR die Sonde HP3 (Heat Flow and Physical Properties Package), auch Maulwurf genannt, mit der amerikanischen Mission InSight zum Mars schicken. HP3 soll unter anderem klären, wie der Mars Wärme aus seinem Inneren nach außen transportiert. Vom DLR durchgeführte 3D-Simulationen im Vorfeld haben gezeigt, dass der Maulwurf vor Ort nicht auf verfälschende Anomalien stoßen wird und die Landestelle in der Ebene Elysium Planitia einen für den Planeten repräsentativen Wärmefluss aufweist. Der tierische Spitzname der Sonde wurde in Anlehnung an die Funktionsweise von HP3 gewählt, denn er wird autonom mehrere Meter tief in den Marsboden eindringen. Mit den Daten wollen die Forscher Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Roten Planeten ziehen und die beiden „Wärmekraftmaschinen“ Mars und Erde vergleichen.

REGIONALMELDUNGEN

BRAUNSCHWEIG: Eine neue Wegführung soll häufiges Kreuzen einer Start- und Landebahn am Flughafen Zürich vermeiden. Fluglotsen aus Zürich testeten den neuen Rollweg im Apron- und Tower-Simulator (ATS) des DLR Braunschweig. Die Freigaben geben die Lotsen über ein simuliertes Funksystem; „Simulationspiloten“ führen die Befehle aus. Auch den Funkverkehr führen sie wie echte Piloten und können dabei mehrere virtuelle Flugzeuge gleichzeitig steuern. So ist das DLR in der Lage, den neuen Rollweg unter verschiedenen Verkehrs- und Wetterbedingungen zu testen.

STUTTGART: Das Vorhaben, ein digitales Buskonzept ohne feste Haltestellen zu entwickeln, hat mit Mercedes Benz Vans einen neuen Partner gewonnen. Der Autokonzern stellt für das „Reallabor Schorndorf“ einen Minibus des Typs „Sprinter City 35“ zur Verfügung. Er dient Tests zur Innenraumgestaltung und Barrierefreiheit.

KÖLN: Wie lassen sich Solartechnologien effizienter gestalten? Dieser Frage gingen DLR-Forscher in einer Studie über die Entwicklung von photovoltaischen und solarthermischen Kraftwerken bis 2030 nach. Das Ergebnis: Der höchste Nutzen liegt in der Kombination der beiden Kraftwerkskonzepte. Die Photovoltaik liefert den Strom direkt ins Netz, die Solarthermie speichert die Energie für den Bedarfsfall.

OSNABRÜCK: Noch bis Ende November 2017 kann im Gasometer Oberhausen die Ausstellung „Wunder der Natur“ besucht werden. 750.000 Menschen strömten im vergangenen Jahr in das 100 Meter hohe Industriedenkmal. Highlight ist die schwebende Erde. Für die Projektion erzeugten DLR-Forscher 1,5 Millionen Bilder.

OSNABRÜCK: Einmal jährlich lädt das DLR Sieger des Wettbewerbs Jugend forscht zur DLR_Talent_School ein. Thema im Februar 2017 war unter anderem die Fernerkundung der Erde per Satellit. Im Mittelpunkt standen beispielsweise die Fragen, welche Möglichkeiten die Erdbeobachtung mittels Radarsensoren bietet, und wie Satellitendaten bei Naturkatastrophen den Einsatzkräften vor Ort schnelle Orientierung geben können. Auch Atmosphärenforschung und Robotik spielten eine Rolle in den Vorträgen, Besichtigungen und Hintergrundgesprächen mit Institutsdirektoren.

GÖTTINGEN: Mit einem Lichtpfad durch die Wiege der Luftfahrtforschung hat sich das DLR an der dritten Nacht des Wissens in Göttingen beteiligt. Dabei konnten 2.950 Besucher unter anderem den Nachbau des ersten Serienflugzeugs der Welt von Otto Lilienthal sehen.

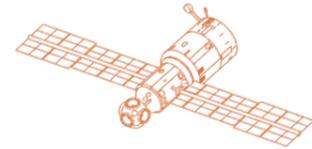
DLR.DE: MELDUNGEN AUF DER DLR-WEBSITE UND DER DLR-NEWSLETTER

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

DLR.de/meldungen

DLR.de/newsletter

ERINNERUNG AN SALZ UNTER DER HAUT



Jubiläum zweier Missionen der DLR-Forschung im All –
ein Rückblick auf die Missionen MIR'92 und MIR'97

Von Julia Heil

19. März 1992. Knapp 400 Kilometer weit weg von der Erde nähert sich der Weltraumtransporter Sojus TM-14 der russischen Raumstation MIR. Um 13:33 Uhr mitteleuropäischer Zeit koppelt das Transportmodul an die Orbitalstation an. Ungefähr eine Stunde später öffnet sich die Luke. Die Kosmonauten haben nach 50 Stunden Flugzeit ihr Ziel erreicht, die Mission MIR'92 kann beginnen. Es ist der erste Raumflug seit dem Ende der UdSSR im Dezember 1991. Und es ist der erste Flug, bei dem mit Klaus-Dietrich Flade ein deutscher Kosmonaut die Station betritt. Bis zum Ende der MIR-Station 2001 folgen ihm noch drei weitere deutsche Raumfahrer: Ulf Merbold 1994, Thomas Reiter 1995 und Reinhold Ewald mit der Mission MIR'97.

Mit der MIR (russisch: Frieden) war erstmals ein langjähriger dauerhafter Außenposten im All errichtet worden. 15 Jahre umkreiste der künstliche Trabant die Erde, bevor die Station am 23. März 2001 schließlich geplant zum Absturz gebracht wurde und ihr Rest als Feuerball südöstlich der Fidschi-Inseln im Pazifischen Ozean unterging.

Die Mission MIR'92: Erste Bekanntschaft

„MIR'92 war ein erstes vorsichtiges Annähern der Partner“, erinnert sich Hans-Ulrich Hoffmann vom DLR Raumfahrtmanagement, damals wie heute verantwortlich für die humanphysiologischen und medizinischen Experimente in der Schwerelosigkeit. „In stundenlangen Gesprächen verhandelten wir mit unseren russischen Partnern jedes Experiment der Mission im Detail. Fünf Jahre später, bei der Mission MIR'97, hatten wir uns an die Arbeitsweisen der Russen schon gewöhnt, zum Beispiel an die technischen Beschreibungen. Sie waren äußerst knapp, die notwendigen Informationen waren aber immer drin.“

Die Leitung der beiden MIR-Missionen '92 und '97 lag bei der Deutschen Agentur für Raumfahrtangelegenheiten (ehemals DARA, heute DLR Raumfahrtmanagement). Sie wählte auch die wissenschaftlichen Experimente aus einer Reihe von deutschen Universitäten und aus DLR-Forschungsinstituten mit Hilfe externer Gutachter aus. Die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt (ab 1997 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR) hatte den Auftrag, die Astronauten auszusuchen und sie auf die Mission vorzubereiten. Klaus-Dietrich Flade trainierte ab 1990 zusammen mit seinem späteren Ersatzmann Reinhold Ewald beim DLR in Köln und im Sternenstädtchen bei Moskau. Auf der MIR führte Flade insgesamt 14 Experimente aus den Bereichen Lebens- und Materialwissenschaften durch, bevor er sich nach sechs Tagen Aufenthalt von seinen russischen Mannschaftskollegen Alexander Viktorenko und Sascha Kaleri als Freund verabschiedete.

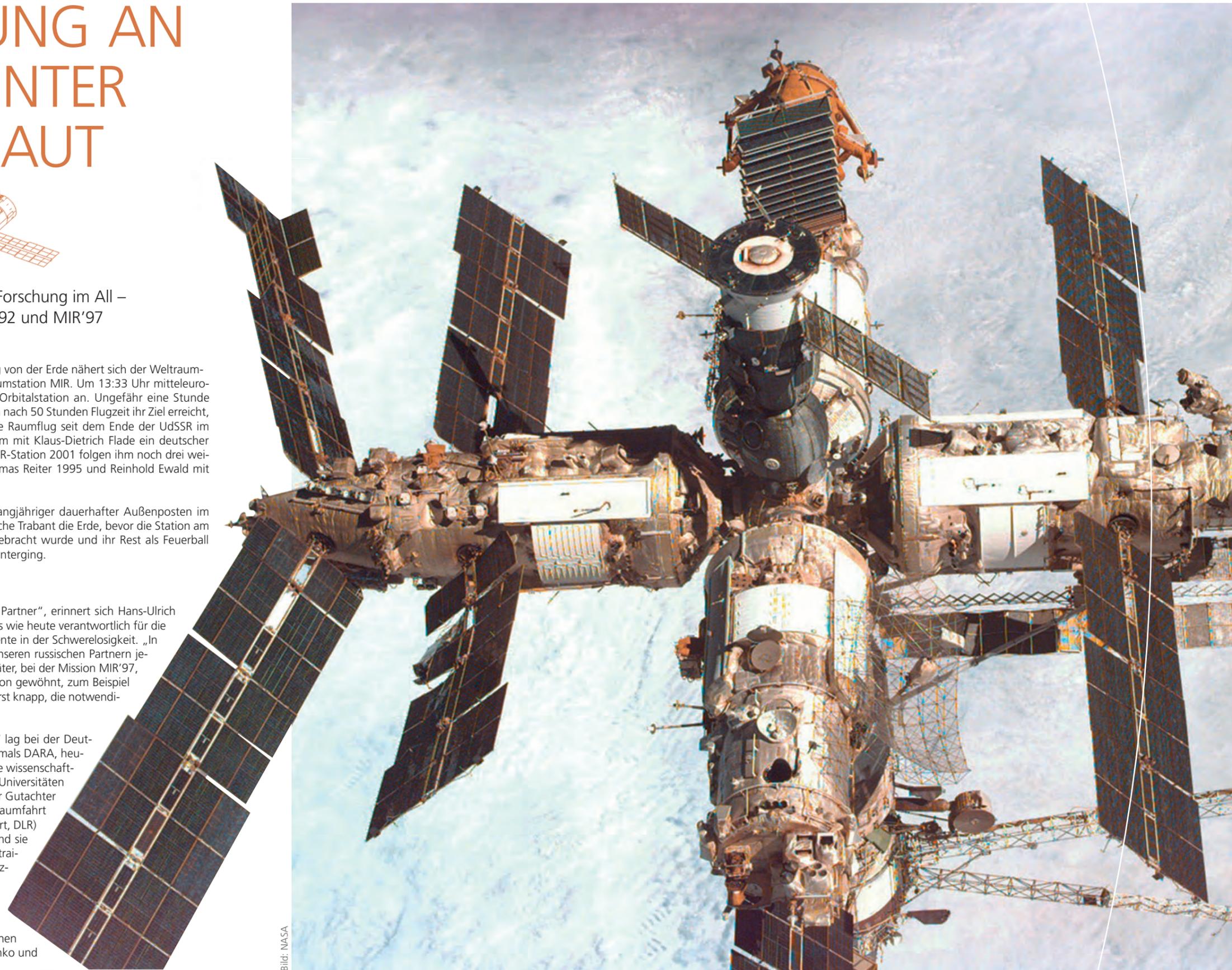


Bild: NASA

Die russische Raumstation MIR im Jahr 1998 in ihrer finalen Ausbaustufe

DIE EXPERIMENTE MISSION MIR'92

Start: 17. März 1992
Landung: 25. März 1992



Während der Mission MIR'92 führte der deutsche Wissenschaftskosmonaut Klaus-Dietrich Flade 14 Experimente durch, fünf davon kamen aus dem DLR:

Lebenswissenschaften

- Körperflüssigkeitsverteilung
- Schlaf und zirkadiane Rhythmik
- Psychologische Leistungstests

Strahlenschutz

- Dosimetrische Messungen

Materialwissenschaft

- Spezifische Wärme unterkühlter Schmelzen

DIE EXPERIMENTE MISSION MIR'97

Start: 10. Februar 1997
Landung: 2. März 1997



Das Experimentalprogramm der MIR'97 wurde unter Beteiligung von Wissenschaftlern deutscher Hochschulen und Forschungseinrichtungen durchgeführt. Zwölf der 38 Experimente kamen vom DLR:

Lebenswissenschaften

- Herz-Kreislauf-Regulation unter Schwerelosigkeit und nach der Rückkehr zur normalen Schwerkraft
- Variabilität der Herzfrequenz und Mikrozirkulation in der Haut beim Menschen unter orthostatischer Belastung bei Schwerelosigkeit
- Körperflüssigkeit und Natriumhaushalt unter Schwerelosigkeit
- Analyse kognitiver, psychomotorischer und zeitorganisatorischer Leistungen eines Astronauten während eines Raumfluges
- Bestimmung von Veränderungen in der Arbeitskapazität des Wadenmuskels vor und nach einem Raumflug
- UV-Strahlenklima auf der MIR-Station und dessen Auswirkungen auf die Vitamin-D-Synthese

Materialwissenschaft

- Mikrostrukturentstehung in nicht-mischbaren Aluminiumlegierungen

Betriebstechnische Erprobung

- Computergestütztes System für die Crew-Prozeduren
- Training im Einsatz
- Teleoperation des TITUS-Ofens
- Telemedizinische Überwachung und Beratung
- Timelining-Experiment

An sechs weiteren Experimenten waren DLR-Wissenschaftler beteiligt.



Schwerelose Schreibarbeit: Klaus-Dietrich Flade musste 1992 seine wissenschaftlichen Ergebnisse noch per Hand notieren.



Russisch für Anfänger: „Am Anfang haben wir nur das, was auf der Tafel stand, in unsere Kladden kopiert“, erzählt Reinhold Ewald, „aber meine Mannschaft hat mir viel geholfen und am Ende fühlten wir uns top vorbereitet.“



Ein Temperaturproblem: Valeri Korzun, Vassili Tsibliev und Reinhold Ewald versuchen zusammen, die Hauptaufzeichnungseinheit für die MIR'97-Experimente in Gang zu setzen. Im Team gelang ihnen schließlich die Lösung.



Der vierte Deutsche auf der MIR: 18 Tage war Reinhold Ewald mit der Mission MIR'97 auf der Raumstation. Als er am 2. März 1997 wieder auf der Erde landete, brachte er zehn Kilogramm Proben sowie jede Menge wissenschaftlicher Daten mit. Die restlichen tiefgekühlten Proben (unter anderem Blut und Speichel) kamen mit dem US Spaceshuttle zurück.



Während Klaus-Dietrich Flade bei seiner Mission 1992 die Experimentergebnisse noch handschriftlich notieren musste, benutzte Reinhold Ewald 1997 den Laptop, um seine Werte einzugeben. Damit erübrigte sich auch das Faxgerät.

Bilder: DLR-Archiv

Der Fokus der Mission MIR'92 lag auf biomedizinischen Versuchen. Neben dem Gleichgewichtssinn waren auch 1992 schon das Herz-Kreislauf-System, die Verschiebung der Körperflüssigkeiten, der Einfluss der Weltraumstrahlung sowie die psychische und physische Leistungsfähigkeit der Astronauten untersucht worden. Viele der Experimente wurden in folgenden Raumfahrtprojekten oder mit Untersuchungsreihen am Boden weitergeführt. Auf der Internationalen Raumstation ISS wurde in den Jahren von 2005 bis 2010 der Gleichgewichtssinn mit dem 3D-Eye-Tracking-Device (ETD) gemessen. Eine Diagnoseapparatur zur Messung der Augenbewegungen war schon für MIR'92 entwickelt worden. Einige Entwicklungen der Mission schafften es sogar bis zur Anwendung auf der Erde. Beispielsweise entwickelten Wissenschaftler und Ingenieure für MIR'92 und die Spacelab-Mission D2 ein Tonometer, damit die Kosmonauten während ihres Fluges in der Sojuskapsel und im Spaceshuttle ihren Augeninnendruck selbst messen konnten. Heute nutzen es Patienten mit grünem Star.

Die Mission MIR'92 hatte mit der Vertragsunterzeichnung am 18. April 1990 als sowjetisch-westdeutsches Raumfahrtvorhaben begonnen, endete aber 1992 als russisch-deutsches Projekt. „Ein wenig Stress hat es schon erzeugt, als wir mitten in der Vorbereitung das Missionslogo austauschen mussten, weil wir auf dem ersten Logo natürlich die Flagge der Sowjetunion verwendet hatten“, erinnert sich Hoffmann. MIR'92 war vor allem ein anspruchsvolles Kooperationsexperiment. Es bereitete den Weg zu einer kontinuierlichen wissenschaftlichen Zusammenarbeit in der Weltraumforschung zweier Länder, die sich noch heute in der Nutzung der Internationalen Raumstation ISS widerspiegelt.

MIR'97: Alte Bekannte

Fünf Jahre später war es dann Reinhold Ewald, der zusammen mit Kommandant Vassili Tsibliev und Bordingenieur Alexander Lasudkin am 10. Februar 1997 vom russischen Weltraumbahnhof Baikonur aufbrach, um als deutscher Kosmonaut für 18 Tage auf der MIR zu arbeiten. Mittlerweile hatte sich die Station zu einem beachtlichen Komplex entwickelt: Zusätzlich zum Basismodul wurden nach und nach sechs weitere Module angedockt. Als sich am 12. Februar 1997 die Luke des Transportraumschiffs Sojus für die drei Kosmonauten öffnete und sie in das zentrale Verteilungsmodul der russischen Raumstation schwebten, befand sich diese bereits in der finalen Ausbaustufe.

Mehr als zwei Wochen verbrachte Ewald auf der MIR. Etwa 30 Experimente führte er in dieser Zeit durch, zum größten Teil aus der Biomedizin. Fast die Hälfte der gesamten Crewzeit nahmen Versuche aus dem Bereich Lebenswissenschaften in Anspruch. Sie bezogen sich vor allem auf die Auswirkung der Schwerelosigkeit auf den menschlichen Körper. Dazu kamen materialwissenschaftliche und technologische Experimente. Außerdem testeten die Kosmonauten Technologien, die später auf der ISS verwendet werden sollten.

Weltraummedizin entdeckt den Körper neu

Für die Medizin ist die Forschung ohne den Einfluss der Schwerkraft besonders interessant. Bei Astronauten treten in der Schwerelosigkeit innerhalb kürzester Zeit körperliche Veränderungen wie Muskelschwund, Osteoporose und Herz-Kreislauf-Probleme auf. Im Gegensatz zum Alterungsprozess auf der Erde sind diese Symptome für die Weltraumreisenden nach allen vorliegenden Erfahrungen reversibel, gehen also wieder zurück. „Über die Anpassungen der Astronauten an die Schwerelosigkeit bekommen wir neue Einblicke in die Funktionen des menschlichen Körpers, mit denen wir letztlich auch den Menschen mit seinen gesundheitlichen Problemen auf der Erde helfen können“, sagt Dr. Jochen Zange, Leiter der DLR-Arbeitsgruppe Integrierte Muskelphysiologie. Ihn beschäftigte der Energiestoffwechsel des Wadenmuskels und dessen Rückgang schon vor MIR'97. Das heutige Astronautentraining auf der ISS ist viel effizienter. Auf dem Laufband sorgt ein pneumatisch getriebenes Rückhalte-Gurt-System, das die früheren gummibandgetriebenen Systeme des Laufbandes

„Als ich 1994 die MIR-Station besuchte, war diese schon acht Jahre in der Umlaufbahn unterwegs. Im Vergleich zum amerikanischen Spaceshuttle, das nach zehn Tagen wieder zur Erde zurückkehren musste, eine unfassbar lange Zeit. Aus wissenschaftlicher Sicht war ein Tag im Shuttle allerdings ergiebiger als auf der MIR, denn mit dem von der ESA gebauten Spacelab in seinem Laderaum stand der Wissenschaft im Vergleich zur MIR eine viel leistungsfähigere Plattform zur Verfügung. Eine Station auf lange Zeit zu betreiben, ist jedoch für sich genommen eine riesige Herausforderung. Es benötigt eine robuste Logistik, um die Männer und Frauen im All mit allen notwendigen Dingen zu versorgen, die sie dort zum Überleben brauchen, sei es Sauerstoff, Trinkwasser, Verpflegung, Treibstoff, Ersatzteile – oder auch Unterwäsche. Es ist wundervoll, dass es der Mensch vermag, kraft seiner schöpferischen Fähigkeiten eine künstliche Welt zu erschaffen, in der er im lebensfeindlichen All nicht nur überleben, sondern sogar darin arbeiten kann.“

Ulf Merbold

Er absolvierte als einziger Deutscher drei Raumflüge. 1983 flog er als erster Ausländer mit den Amerikanern ins All und elf Jahre später als erster ESA-Astronaut mit den Russen zur Raumstation MIR.



Bild: beiträger.de Initiative Mein Erbe tut Gutes

„Zusammen mit meinen beiden russischen Kollegen Juri Gidzenko und Sergeij Avdejev habe ich auf der MIR viele Eindrücke gesammelt, die mich ein Leben lang begleiten werden. Die hochinteressante Arbeit als Forscher und Ingenieur, der überwältigende Ausblick auf unseren Planeten und die exzellente Zusammenarbeit mit meinen beiden Kollegen im Orbit ebenso wie mit den vielen Kollegen im russischen Kontrollzentrum, den ESA-Kollegen und den europäischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern hat mich tief beeindruckt und beflügelt. Auch wenn das Leben an Bord der ISS heute etwas komfortabler ist und ohne Zweifel mit Hilfe der dort vorhandenen „State-of-the-art“-Technologien noch effizienter wissenschaftliche Forschung betrieben werden kann, denke ich doch sehr gerne an diese Anfangszeit zurück.“

Thomas Reiter

Für die Mission Euromir'95 (3. September 1995 bis 29. Februar 1996) war er als deutscher ESA-Astronaut 179 Tage im All



Bild: ESA/P. Sebirot

auf der MIR ersetzt, für ein gleichmäßiges künstliches Gewicht und ermöglicht so ein natürlicheres, erdähnlicheres Laufen. Außerdem gibt es mit ARED (Advanced Resistive Exercise Device) ein ausgefeiltes, ebenfalls pneumatisches System für ein gezieltes Krafttraining einzelner Muskelgruppen. Jochen Zange sieht den Erfolg: „Reinhold Ewald ist kurz nach seiner Rückkehr noch deutlich gebeugt durch die Gänge gelaufen und hat eine Weile gebraucht, bis er sich die Schonhaltung wieder abgewöhnt hatte. Bei Alexander Gerst war 2014 kaum ein Unterschied zu seinem normalen Gang zu sehen, als er von der ISS zurückkehrte.“

Salz geht unter die Haut

Günter Ruyters, damals Leiter der Abteilung Biowissenschaften bei der DARA, berichtet: „Die Forschung auf der Raumstation war in jener Zeit die einzige Möglichkeit für die Biomedizin, den menschlichen Körper über längere Zeit in Schwerelosigkeit zu untersuchen. Wir konnten erstmals neben Gleichgewicht und Herz-Kreislauf auch die Einwirkung der Schwerelosigkeit auf Knochen und Muskeln über längere Zeit verfolgen. Dabei gewannen wir erstaunliche Erkenntnisse.“ Eine dieser wissenschaftlichen Überraschungen brachte ein DLR-Experiment, das die Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf den Wasser- und Natriumhaushalt unter kontrollierter Nährstoffzufuhr zum Thema hatte. Dr. Martina Heer vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin fuhr 1997 kurz vor dem Start der Sojus ins Sternstädtchen bei Moskau, um Reinhold Ewald einen kontrollierten Speiseplan für die Mission zusammenzustellen. „Ich hatte alles dabei: Lebensmittel, Trinkwasser und sogar einen Mixer. Das fanden die Russen sehr witzig“, erzählt Heer. „Aber sie haben alles getan, damit ich die bestmöglichen Ergebnisse für unsere Experimente bekomme. In Moskau wurde mir sogar jemand als Einkaufshilfe zur Seite gestellt.“

Die Proben, die Reinhold Ewald nach seiner Mission mit zur Erde brachte, entpuppten sich als Sensation: Sein Körper hatte anscheinend verhältnismäßig mehr Salz eingelagert als Wasser gespeichert. Bis dahin war man davon ausgegangen, dass die Salz-Wasser-Speicherung proportional erfolgt. Diese Ergebnisse waren die Initialzündung für die irdische Salzforschung der kommenden Jahre. Am DLR wurden die Salty-Life-Studien ins Leben gerufen, die sich zunächst mit der Salzspeicherung im Körper und später mit dem Einfluss von Salz auf den Knochenstoffwechsel beschäftigten. Später entdeckte Prof. Jens Titze (Universität Erlangen), dass das überschüssige Salz unter der Haut gespeichert wird. Die DLR-Wissenschaftler des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin sind dem Thema Salz treu geblieben, statt der Speicherung betrachten sie mittlerweile den Einfluss auf den Knochenabbau. Im SOLO-Experiment auf der Internationalen Raumstation ISS

wurde von 2008 bis 2013 der Knochenstoffwechsel von neun Astronauten bei einer vorgegebenen Diät untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass ein hoher Salzkonsum den Knochenabbau beschleunigt und dass dies nicht nur für Astronauten gefährlich ist, sondern auch für die alternde Gesellschaft auf der Erde.

Alarm auf der MIR

Ein großer Teil der materialwissenschaftlichen Experimente während MIR'97 wurde mit dem TITUS-Ofen (Tubular furnace with Integrated Thermal analysis Under Space conditions) durchgeführt. Er war schon zur Mission Euromir'95 auf der Station installiert worden. Der Ofen war von den Wissenschaftlern des Nutzerzentrums für Weltraumexperimente (MUSC) des DLR in Köln entwickelt und zusammen mit tschechischen Industriepartnern gebaut worden. Bei MIR'97 sollte erstmals ein Programm implementiert werden, das es den Wissenschaftlern ermöglichen sollte, den Ofen vom Boden aus zu steuern. Dieser ehrgeizige Plan konnte allerdings nicht in die Tat umgesetzt werden, unter anderem deswegen, weil plötzlich an Bord Alarm geschlagen wurde: Auf der MIR war ein Feuer ausgebrochen.

„Ich hatte Frühschicht und als ich zum Kontrollraum kam, sah ich, dass dort etwas nicht stimmte“, erinnert sich Manfred Exner, der damals als technischer Assistent im MUSC arbeitete. In der Nacht hatte eine der Sauerstoffpatronen fehlgezündet und nach minutenlangem Feuer die ganze Station in dichten Rauch gehüllt. Mehrere Stunden verbrachte die Crew mit aufgesetzten Sauerstoffmasken und mit der Ungewissheit, ob die Klimaanlage die verrottete, giftige Luft schnell genug reinigen konnte. Als die Luft der Masken aufgebraucht war, entschied sich die Besatzung, die MIR nicht im Stich zu lassen und nicht in die beiden Sojus-Transporter zu flüchten. Stundenlang putzte die Besatzung die Wände, um die gesundheitsschädlichen Rußablagerungen vollständig zu entfernen. Nach einigen Tagen und Umplanungen der Abläufe konnte die Station wieder vollständig in Betrieb genommen werden.

„Ein großes Problem war damals die Kommunikation zur Station“, sagt Joachim Kehr. Vom Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum (GSOC) des DLR aus stand er in direktem Kontakt zu dem russischen Team im Bodenbetriebszentrum von Kaliningrad (ZUP). „Die MIR hatte damals nur eine sehr kurze Kontaktzeit, nämlich dann, wenn sie über die russischen Empfangsstationen flog. Alles in allem nur um die zehn Minuten pro Orbit.“ Nach dem Brand an Bord konnte das GSOC in Oberpfaffenhofen einen kleinen Beitrag zur Aufklärung der unsicheren Situation leisten: Es gelang mit einer Antenne auf dem Dach des Gebäudes, einen kurzen Kontakt zur MIR herzustellen, schon bevor sie von den russischen Empfangssystemen erfasst werden

konnte. Dies waren wertvolle Minuten, in denen sich das Team am Boden davon überzeugen konnte, dass mit der Crew auf der MIR alles in Ordnung war.

Die direkte Verbindung zwischen Moskau und Oberpfaffenhofen war neu. 1992 saßen alle Wissenschaftler noch im russischen Bodenbetriebszentrum. „Diese positive Erfahrung war – zusammen mit vorausgegangenen Erfahrungen mit der NASA – eine wesentliche Voraussetzung für den Betrieb des Columbus-Moduls der ISS“, erläutert Kehr. Er hatte in den Achtzigerjahren begonnen, das Columbus-Kontrollzentrum für die ESA aufzubauen und leitete es lange Jahre. Heute betreuen etwa 80 Wissenschaftler und Ingenieure vom Columbus-Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen aus die europäischen Aktivitäten auf der ISS. Anlagen und Experimente werden dezentral von Nutzerzentren an verschiedenen Standorten in Europa betrieben.

In der öffentlichen Wahrnehmung erscheint die MIR häufig als „Pannen-Station“. Das Feuer und die Kollision mit einem Progress-Raumtransporter, der ein Loch in die Außenhaut riss, sind oft präsenter als die Erfolge bei den Experimenten und im Anlagenbau. Vergessen wird dabei, dass die MIR ein Meilenstein der Raumfahrt und Wegbereiter für die spätere Internationale Raumstation war. Über politische Differenzen hinweg begann mit der MIR die Rolle der Weltraumforschung als ein Motor für gemeinschaftliches Forschen und Arbeiten über Ländergrenzen hinweg. Deutsch-russische Kontakte, die damals geknüpft wurden, tragen auch heute noch Früchte in Experimenten und Projekten auf der ISS. Die Weichen für die Zukunft des Außenpostens im Erdorbit wurden auf der ESA-Ministerratskonferenz 2016 gestellt. Dort beschlossen die Vertreter von Amerika, Russland und Europa, die Raumstation noch bis mindestens 2024 zu betreiben.

Module der Raumstation MIR

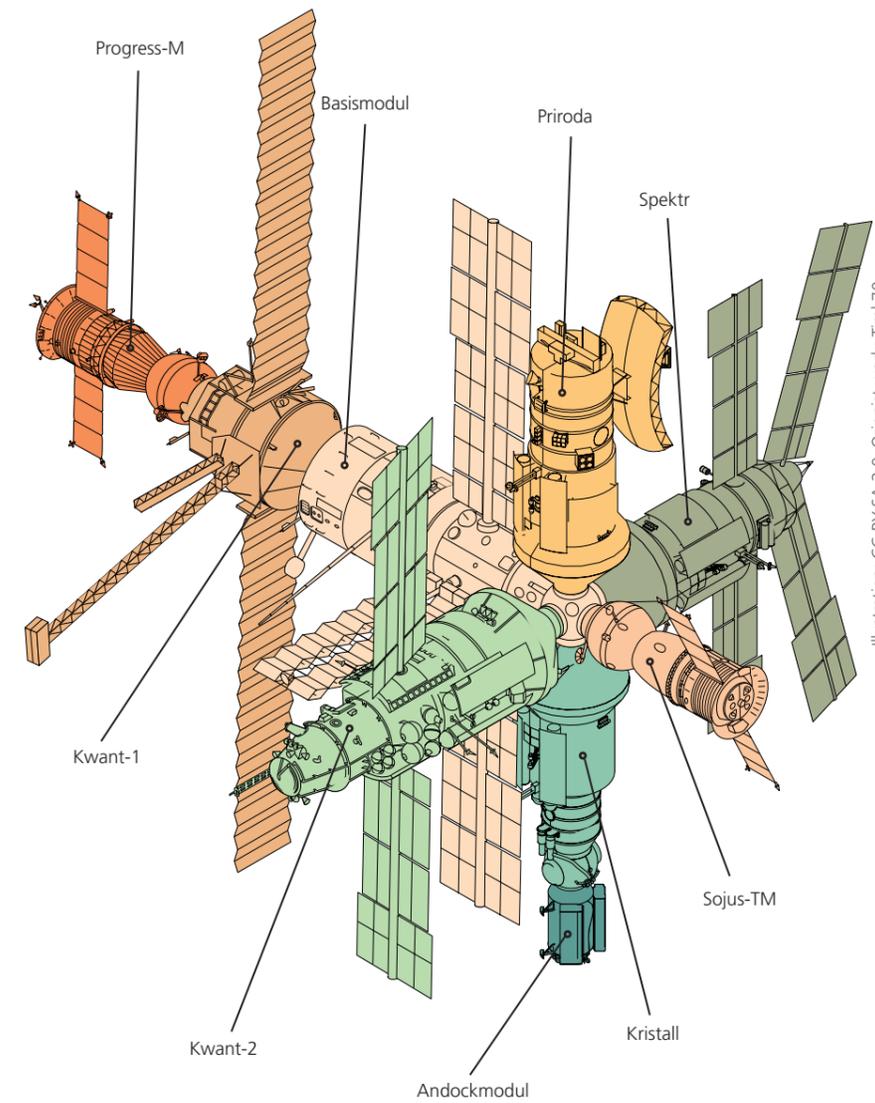
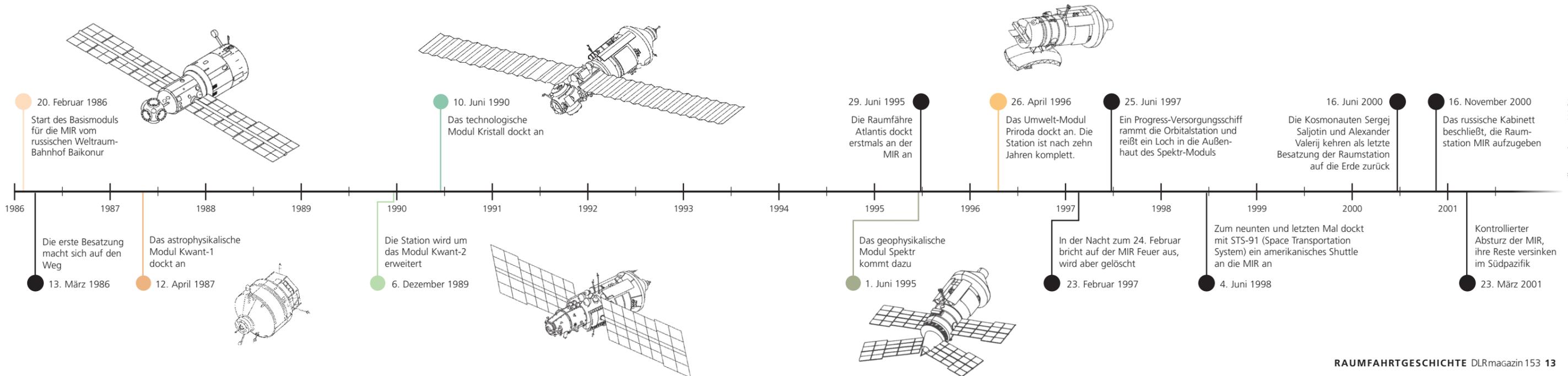


Illustration: CC BY-SA 3.0, Orionist work: Timk70



Illustrationen: NASA

WER DENKT HEUT' NOCH AN EIN FAX INS ALL



Reinhold Ewald ...

... ist der neunte deutsche Raumfahrer und flog am 10. Februar 1997 auf die russische Raumstation MIR. Für die humanphysiologischen Experimente musste er einen strengen Ernährungsplan einhalten, in dem Brokkoli eine wiederkehrende Rolle spielte, was unsere Autorin veranlasste, ihm zum Interview-Termin etwas von dem grünen Gemüse als „Gastgeschenk“ mitzubringen.

Heute unterstützt Ewald ESA-Astronauten bei der Vorbereitung auf ihre Weltraumflüge ... und Brokkoli isst er inzwischen wieder mit Genuss, besonders wenn seine Frau ihn zubereitet.

In der bemannten Raumfahrt hat sich über die Jahrzehnte viel verändert. Julia Heil sprach darüber mit dem deutschen Astronauten Reinhold Ewald.

Herr Ewald, können Sie sich noch an das Gefühl erinnern, das Sie hatten, als sich die Luke der Sojuskapsel öffnete und Sie die MIR „betreten“?

• Mich überraschte mein erweiterter Bewegungsraum. Zuvor waren wir zwei Tage lang in der Sojuskapsel unterwegs, wo wir uns zu dritt knapp zehn Kubikmeter teilen mussten. Als dann die Luke aufging, fühlte ich mich orientierungslos. In den Trainingseinheiten hatten wir die einzelnen MIR-Module genau kennengelernt, aber in dieser dreidimensionalen Konfiguration – ein Modul geht nach oben ab, eins nach unten, eins nach rechts und eins nach links – das hatte ich natürlich noch nicht erfahren. Faszinierend war aber auch, dass ich schon nach zwei bis drei Tagen immer genau in das richtige Modul schwebte und das sogar mit der richtigen Orientierung.

Mit der Mission MIR'97 hielt die Digitalisierung Einzug ins All. Die Crew-Anweisungen wurden nicht mehr Blatt für Blatt nach oben gefaxt, Sie bekamen die Abläufe auf dem Laptop mit.

• Wir haben damals automatische Prozeduren getestet, die heute auf der ISS Standard sind. Auf meinem Laptop waren zum Beispiel anklickbare Flächen in der Tagesplanung, wo wir unsere Messwerte eintragen konnten. Mit dieser Software kamen wir sehr gut zurecht. Im Vergleich zu heute haben sich zwei Dinge stark gewandelt: Das eine ist die interne Digitalisierung, also die umfassende Präsenz von Computern zu jedem Zweck und für jede Anwendung. Das andere ist die Kommunikation der Daten. Wir hatten das Pech, dass die russische Satellitenstrecke zum Zeitpunkt der Mission MIR'97 unterbrochen war und wir rein auf die Boden-Funk-Verbindungen angewiesen waren. Das ist eine Sichtverbindung: In dem Moment, in dem die MIR über den Horizont kam, erfassten die Kollegen bei der ersten russischen Bodenstelle im Westen unser Signal. Dann hatten wir maximal 15

Minuten Zeit zu funken, bevor wir über Kamtschatka wieder aus dem Funkbereich rausflogen. In der Zeit schickten wir einen Datenstrom nach unten, der heute fast lächerlich anmutet. Heute werden Datenmengen mit einer Übertragungsrate von 50 Megabit und mehr pro Sekunde nach unten geschickt. Auf der MIR musste noch ein Teil des Sprachfrequenzspektrums im Funk ausgeblendet werden, um uns Informationen mit 1.000 Bit Übertragungsrate als Fax zu schicken. Damals saßen meine Kollegen Ulf Merbold und Hans Schlegel im GSOC in Oberpfaffenhofen und haben an der Konsole versucht, möglichst viel Information durch das Gespräch zu erhalten – aber die Bundesliga-Ergebnisse hat mir Ulf immer zuerst durchgegeben ...

Viele Technologien, die heute auf der ISS verwendet werden, wurden auf der MIR erprobt. Wäre die ISS ohne die MIR überhaupt möglich gewesen?

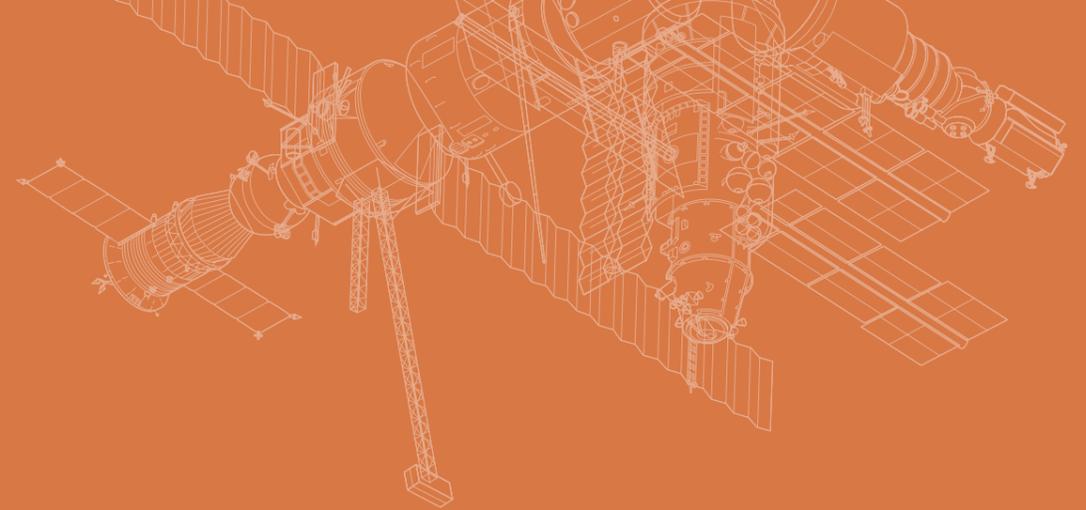
• Auch die ISS war in vielem ein Erstversuch. Besonders in der Zusammenarbeit zwischen Ost und West waren und sind Hürden zu überwinden. In der Zeit der MIR-Station wurden aber wichtige Arbeitsgrundlagen geschaffen. Wir haben vieles von dem, was heute an Bord der Internationalen Raumstation passiert, auf der MIR schon ausprobiert, seien es die besagten automatischen Prozeduren, die Zweisprachigkeit in der Dokumentation oder die Bord-Boden-Absprachen mit



Schwerelos für drei Sekunden. Reinhold Ewald beim Training für die Mission MIR'97 im russischen Sternenstädtchen.



Völlig losgelöst. Reinhold Ewald im Februar 1997 in der russischen Raumstation MIR. Der Hobbyfotograf brachte viele Film- und Bildaufnahmen zur Erde zurück.



mehreren Kontrollzentren. Ein wichtiger Schritt für die einzelnen Parteien, die sich später an der Internationalen Raumstation beteiligten, war, dass man dem Partner vertraute und dessen Kompetenzen würdigte. Anfangs standen auf der einen Seite Amerikaner, Japaner und Europäer mit dem Spaceshuttle und ihren innovativen Experimentier-techniken, auf der anderen Seite die Russen mit ihrer langjährigen Betriebserfahrung. Die Zeit, in der Amerikaner erstmals zu Gast an Bord der MIR waren, brachte viele augenöffnende Erfahrungen mit sich. Wenn diese beiden Raumfahrt-Traditionen nicht als Kooperationspartner zusammengekommen wären, hätten sich die heutigen ISS-Partner wahrscheinlich nicht durchgerungen, ein solch gewaltiges Projekt wie die ISS aufzubauen.

Welche Rolle spielt Ihrer Meinung nach die ISS im internationalen Gefüge der Staaten?

• Sie ist für meine Begriffe ein Hoffnungsträger für zukünftige internationale (Raumfahrt-)Projekte. Ich glaube schon, dass die ISS das größte und meiner Meinung nach in dieser Preisklasse das einzige noch funktionierende Ost-West-Kooperationsprojekt ist. Und trotz der politischen Entfremdung in jüngster Zeit haben wir keinen Einschnitt in der Art und Weise der Zusammenarbeit zu beklagen. Die operationellen Teams in Houston, in München, in Moskau oder im japanischen Tsukuba arbeiten einfach weiterhin kollegial zusammen, genauso wie die Astronauten und Kosmonauten auf der Raumstation. Jetzt gerade haben wir wieder eine russisch-französisch-amerikanische Crew. Und das ist ein Modell, von dem man sagen kann: So werden die Menschen zum Mars fliegen und so werden wir irgendwann wieder zum Mond aufbrechen.

Die beiden deutschen Kosmonauten für die Mission MIR'97: Reinhold Ewald (links) und sein Ersatzmann Hans Schlegel im „Sternenstädtchen“ bei Moskau.



Worin sehen Sie den größten Unterschied im Raumflug von 1997 zu 2017?

• Früher war das Training für den Raumflug in anderer Weise anspruchsvoll. Wir hatten sicherlich mehr mit dem Unbill des Lebens im post-sowjetischen Russland und den etwas „holprigen“ Reisemöglichkeiten zu kämpfen, das ist heute einfacher. Dafür sind die Astronauten von heute während ihres Trainings zweieinhalb Jahre in der Welt unterwegs. Sie bleiben nicht im beschaulichen Sternenstädtchen 40 Kilometer von Moskau, wo sich im Herbst die Bäume schön färben und dann kommt ein knackiger Winter, sie kommen vom texanischen Houston nach Köln ins EAC in den Winter und fliegen weiter nach Tsukuba, wo es tropisch warm ist. Auch hat sich der Kommunikationsauftrag der heutigen Astronauten gewandelt. Wenn ich das Social-Media-Programm sehe, das heute von den jungen Kollegen als Selbstverständlichkeit zusätzlich zu dem regulären Missionsprogramm erledigt wird, so ist das eine ganz andere Herausforderung. Ich musste nur für Fachleute dokumentieren. Heute stehen die Astronauten in einer ganz anderen Verantwortlichkeit, das zu erklären, was sie tun. Darin sind die aktuellen sechs ESA-Astronauten ganz fantastisch. Allesamt haben von ihren Missionen faszinierend und in einer Sprache erzählt, die viele Leute verstehen.

Sie haben Alexander Gerst bei seiner ersten Mission unterstützt, werden Sie ihm wieder zur Seite stehen, wenn er als Kommandant zur ISS fliegt?

• Gerne, ja. Ich war damals für 21 Tage im All und bin auch 21 Jahre danach gern noch dabei, wenn Astronauten zum Außenposten der Menschen im Weltraum aufbrechen. In diesem Job gibt es immer Momente, in denen praktische Weltraum-Erfahrungen nützlich sein können.

Reinhold Ewald beim Training auf See. Die Leuchtfackel kommt zum Einsatz, wenn das Transportraumschiff in schwer zugänglichem Gebiet landet.





Das Metallhydridpulver wird in einen Versuchsaufbau gefüllt. Dazu arbeiten die Wissenschaftler in einer sogenannten Glovebox, die Sauerstoff ausschließt.

Bild: DLR/Frank Eppler

EIN SCHWARZES PULVER – UND VIELE IDEEN

Vielseitig begabt: Metallhydride können als Wasserstoffspeicher und zum Thermomanagement eingesetzt werden

Von Denise Nüsse

Leitet man Wasserstoff über bestimmte Metalle oder Legierungen, zum Beispiel Magnesium oder Titan-Eisen-Verbindungen, so entstehen Metallhydride. Diese schwarzmetallisch glänzenden Pulver haben viele Talente: Abhängig von Druck und Temperatur können sie gasförmigen Wasserstoff speichern und sowohl für Wärme als auch für Kälte sorgen. Ein Team aus Wissenschaftlern des DLR-Instituts für Technische Thermodynamik in Stuttgart erforscht, wie sich diese Eigenschaften technologisch nutzen lassen. Besonders interessant ist das für den Bereich Mobilität.

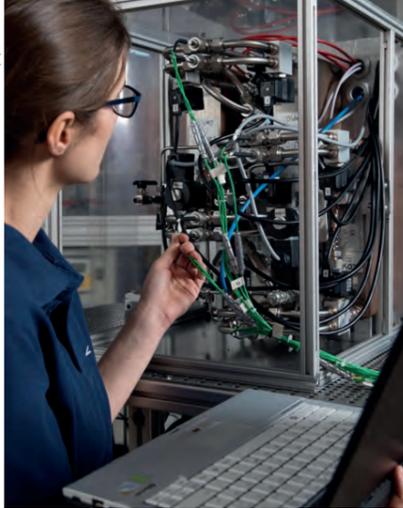
Wasserstoffspeicherung unter geringem Druck und bei normalen Temperaturen

Es ist schon länger bekannt, dass Metallhydride als Speicher für gasförmigen Wasserstoff gute Dienste leisten. Ihr Vorteil: Das Pulver nimmt Wasserstoff wie ein Schwamm auf. Metallhydrid speichert bei gleichem Volumen mehr Wasserstoff, als der Wasserstoff in flüssiger Form einnehmen würde. So kann ein Kilogramm Metallhydridpulver, das ungefähr eine große Tasse füllt, rund 20 Gramm Wasserstoff aufnehmen. „Wasserstoff kann in Metallhydridspeichern sehr sicher, kompakt und effizient gelagert und transportiert werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Druckgasflaschen genügen ein relativ geringer Speicherdruck von rund 30 Bar und normale Außentemperaturen“, fasst DLR-Forscher Dr.-Ing. Marc Linder, Gruppenleiter in der Abteilung Thermische Prozesstechnik, zusammen. „Was allerdings mitbedacht werden muss, ist das höhere Gewicht solcher Speicher wegen ihrer massiven Metallfüllung, die gleichzeitig stattfindende Wärmeabfuhr beim Einlagern des Wasserstoffs und die Abhängigkeit der Materialkosten von den jeweiligen Metallpreisen“, ergänzt Linder.

Einsatzmöglichkeiten für Metallhydride als Speicher sehen die DLR-Wissenschaftler vor allem bei Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb, aber auch bei stationären Brennstoffzellen als Teil eines dezentralen Energieversorgungskonzepts. In mehreren Projekten haben sie gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie erfolgreich solche Speicher realisiert und getestet: Zum Beispiel entwickelten sie ein Hilfsaggregat, eine sogenannte Auxiliary Power Unit (APU), die in einem Kleintransporter zum Einsatz kam und im Zusammenspiel mit einer Hochtemperaturbrennstoffzelle zusätzlichen Strom für das Bordsystem erzeugte. „Das Thema hat in den letzten Jahren neuen Schub bekommen – im Zuge der Energiewende, der steigenden Nutzung erneuerbarer Energien und vor allem der wachsenden Rolle von Wasserstoff als Energieträger für Mobilität, Strom und Wärme“, erläutert Abteilungsleiterin Dr. Antje Seitz die momentane Forschungssituation. Aktuelles Ziel auf diesem Gebiet ist es deshalb, intelligente Speicherkonzepte zu entwickeln, um die verfügbaren Materialien für den jeweiligen Zweck optimal zu nutzen.

Wärme und Kälte auf Knopfdruck

Als weiteres interessantes Einsatzfeld hat das Team um Marc Linder das Thermomanagement von Fahrzeugen ausgemacht. Wenn sich Wärme- und Kälteströme optimal leiten lassen, können Energieverbrauch und Emissionen reduziert werden. Das bedeutet auch mehr Komfort im Fahrgastraum. Hier spielt eine weitere Eigenschaft von Metallhydriden eine wichtige Rolle: Die chemische Reaktion zwischen den eingesetzten Metallen und Wasserstoff ist reversibel, also



Inga Bürger konfiguriert das „HyCo-Modul“ für weitere Messungen. Die Verfahrenstechnikingenieurin will so Abwärme für eine effizientere Klimatisierung nutzbar machen.



Hilfsaggregat für Kleintransporter im Labortest



Die Röhren im Inneren des Kaltstartmoduls enthalten das Metallhydrid. Drumherum fließt das Wärmeträgerfluid.

umkehrbar (siehe Infografik rechts). In welche Richtung die Reaktion abläuft, hängt von den jeweiligen Druck- und Wärmeverhältnissen ab. Gibt man etwas Druck auf die Ausgangsprodukte Metall und Wasserstoff, reagieren sie zu einem Metallhydrid. Dabei wird Wärme frei. Gibt man weitere Wärme auf das Metallhydrid, läuft die Reaktion entgegengesetzt ab. Die Metallhydridverbindung löst sich wieder, der Wasserstoff kann dem Metall entweichen und Kälte wird frei. „Indem wir Druck und Temperatur in unseren Speichern steuern, können wir gezielt und quasi auf Knopfdruck Wärme oder Kälte erzeugen“, erklärt Dr.-Ing. Inga Bürger, die als Projektleiterin in der Gruppe von Marc Linder arbeitet.

Kaltstart ade – punktuell Wärme abrufen

Ein Anwendungsbeispiel ist das Vorwärmen von Antriebssystemen. Denn ein Kaltstart belastet ein Brennstoffzellensystem genauso wie einen klassischen Verbrennungsmotor. Bei Letzterem ist das Motoröl anfangs noch sehr zäh, sodass Lager und Schmierflächen nicht ausreichend mit Öl versorgt werden. Das erhöht den Widerstand im Motor, damit den Benzinverbrauch und infolgedessen auch den Schadstoffausstoß, bis die normale Betriebstemperatur erreicht ist. Mit einem Metallhydridsystem kann auch bei tiefen Temperaturen bis zu minus 20 Grad Celsius sehr schnell sehr viel Wärme freigesetzt werden, um das Motoröl oder das Brennstoffzellensystem vorzuwärmen. Für Brennstoffzellenfahrzeuge ist diese Technologie noch aus einem anderen Grund interessant: Das Vorwärmen verbraucht keinen Wasserstoff und verringert somit nicht die Reichweite, die ja durch das Volumen des Wasserstofftanks begrenzt ist. Denn sobald das Brennstoffzellensystem seine Betriebstemperatur erreicht hat, läuft die Reaktion im Metallhydridsystem in die andere Richtung ab. Der gespeicherte Wasserstoff wird dabei wieder frei und kann als Antriebsenergie verwendet werden.

Auf diesem Prinzip basierend haben die DLR-Forscher ein spezielles Kaltstartmodul gebaut. Es kommt in einem Lastenfahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb zum Einsatz, das die beiden DLR-Institute für Fahrzeugkonzepte und für Technische Thermodynamik mit Unterstützung des DLR-Technologiemarketings entwickeln. Der als Energiequelle für den Antrieb benötigte Wasserstoff wird in einer einfach austauschbaren Druckkartusche mitgeführt. Im Gegensatz zu batteriebetriebenen E-Bikes ermöglicht die Brennstoffzelle eine größere Reichweite auch in einem Gelände mit vielen Steigungen sowie unter schweren Lasten und erweitert so den Einsatzbereich von Lastenrädern deutlich. Das Kaltstartmodul gewährleistet den zuverlässigen Betrieb bei Minusgraden und kann bei Bedarf in den Antriebsstrang integriert werden. Ansonsten müsste ein zusätzlicher elektrischer Heizer eingesetzt werden, der Strom verbraucht und sich damit negativ auf die Reichweite auswirken würde. „Der Metallhydridreaktor, wie wir ihn nennen, hat die Form eines Zylinders, ist 25 Zentimeter lang mit einem Durchmesser von drei Zentimetern. Er wurde mittels 3D-Druck realisiert und verfügt im Inneren über mehrere Röhren, die mit Metallhydrid gefüllt sind. Außen herum fließt Wasser mit etwas Glykol, das als Trägerfluid die Wärme zum Brennstoffzellensystem transportiert“, beschreibt Inga Bürger den Aufbau des Kaltstartmoduls.

Nachhaltig kühl – Einsatz als Klimaanlage

Um bei heißen Temperaturen einen kühlen Kopf bewahren zu können, nutzen wir heutzutage standardmäßig Klimaanlagen in Fahrzeugen. Allerdings benötigen sie Strom, der zunächst erzeugt werden muss und die Reichweite verringert: bei Verbrennungsmotoren um circa 15 Prozent, bei elektrischen Antrieben um bis zu 50 Prozent, abhängig von den Außentemperaturen. „Hier sehen wir großes Potenzial für den Einsatz von Systemen auf Metallhydridbasis. Diese haben zudem den Vorteil, dass wir dabei auf klassische Kältemittel, die brennbar sind und den Treibhauseffekt verstärken, verzichten können“, beschreibt DLR-Forscherin Bürger den Zusammenhang.

Im Rahmen des DLR-Metaprojekts „Next Generation Car“ (NGC) entwickelt das Team derzeit spezielle Metallhydrid-Reaktoren, die als Hilfsaggregate (air-conditioning auxiliary power units, AC-APU) zur Klimatisierung zukunftsweisender Konzeptfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb eingesetzt werden sollen. Ein solches Hilfsaggregat besteht aus zwei Reaktoren, die jeweils die Größe eines kleinen Schuhkartons haben. In ihrem Inneren sind Edelstahlplatten übereinander geschichtet, die abwechselnd mit Metallhydrid und einem Wärmeträgerfluid gefüllt sind. „Unsere Klimaanlage ist ein offenes System. Wir mogeln uns sozusagen in die bestehende Wasserstoffinfrastruktur des Brennstoffzellenantriebs hinein, verbrauchen aber selbst keinen Wasserstoff“, erklärt Marc Linder. Abwechselnd produziert ein Reaktor Kälte für die Klimaanlage, der andere Wärme, die in die Umgebung abgeführt wird. Um den Reaktionsprozess zu starten, nutzen die DLR-Ingenieure den bestehenden Druckunterschied, der ohnehin vom Wasserstofftank mit seinen mehreren hundert Bar auf fünf Bar für die Brennstoffzelle gedrosselt werden muss. Im Labormaßstab konnten sie bereits rund 2,5 Kilowatt Kälteleistung erzeugen, die beispielsweise den Innenraum eines Autos oder die Fahrerkabine eines Busses klimatisiert. In nächsten Schritt wollen sie mit ihren Kollegen vom Institut für Fahrzeugkonzepte das System auf einem Teststand mit einer Brennstoffzelle koppeln und weitere Messungen vornehmen.



Metallhydridspeicher für eine dezentrale Energieversorgung

„Eine Herausforderung im weiteren Prozess ist es, das Design der Edelstahlplatten zu verbessern und kompakter zu machen. Außerdem wollen wir die Ausdehnung des Metallhydridpulvers während der Reaktion genauer untersuchen, um so Aussagen treffen zu können, wie viel Pulver wir verwenden können, wie fest die Platten sein müssen und welcher Abstand sich am besten eignet“, fasst Gruppenleiter Marc Linder zusammen.

Geschlossene Systeme für beide Antriebsarten

Auch für batteriebetriebene Elektro-Busse hat Linders Team eine Idee entwickelt. Wenn die Heizung mit Strom aus der Batterie läuft, wirkt sich das katastrophal auf die Reichweite aus. Es bleiben nur rund 20 oder 30 Prozent für den Antrieb übrig. Deshalb haben die meisten solcher Busse einen zusätzlichen Biodiesel-Brenner dabei, der Wärme zum Heizen erzeugt. Im Sommer könnte man diese Wärme nutzen, um mittels Metallhydridreaktoren Kälte zur Klimatisierung zu gewinnen. „In diesem Fall handelt es sich um ein geschlossenes System – es gibt keine Wasserstoffinfrastruktur, in die wir uns einklinken, und keinen Druckunterschied, den wir nutzen können. Deshalb benötigen wir vier Reaktoren: Zwei erzeugen Kälte, die beiden anderen dienen als Pufferspeicher. Das System funktioniert, weil die Reaktorenpaare mit anderen Materialien gefüllt sind und deshalb auf anderen Druckniveaus arbeiten“, beschreibt Inga Bürger den Ansatz.

Nicht zuletzt könnten auch Nutzfahrzeuge mit klassischem Verbrennungsmotor von Metallhydrid-Lösungen profitieren: Wenn beispielsweise die Fahrerkabine durch Abwärmenutzung effizienter klimatisiert wird, können so ein paar letzte Prozent an Effizienz aus konventionellen Systemen herausgeholt werden. Für diesen Anwendungszweck haben die DLR-Wissenschaftler das „HyCo-Modul“ in Form einer Blackbox vollständig entwickelt und im Labor getestet. Es beinhaltet alle erforderlichen Komponenten – von den Metallhydridreaktoren über die Steuerungsgeräte für Ventilschaltungen bis hin zu den Temperatursensoren. Das Modul wird über die Fahrzeugelektronik automatisch mitgesteuert, sodass der Anwender nicht zusätzlich aktiv werden muss.

„Wir haben sehr viele Ideen, wie wir das Potenzial von Metallhydriden vor allem für mobile Anwendungen nutzen können. Gerade im Fahrzeugbereich zeigt die Industrie reges Interesse. Was den Reifegrad dieser Technologie betrifft, haben wir das Laborstadium und den prinzipiellen Funktionsnachweis abgeschlossen. Im nächsten Schritt wollen wir in unterschiedlichen Projekten zeigen, dass sich Metallhydridsysteme in Anwendungsumgebungen bewähren“, sagt Abteilungsleiterin Dr. Antje Seitz mit Blick in die Zukunft.

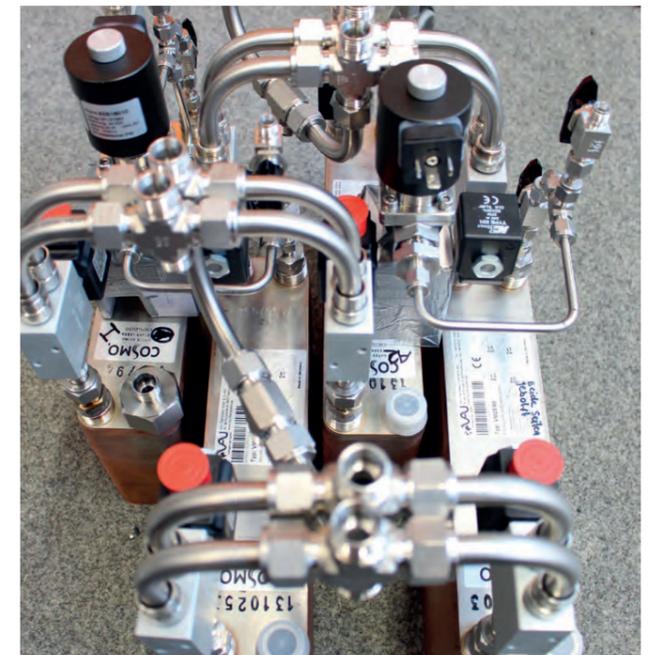
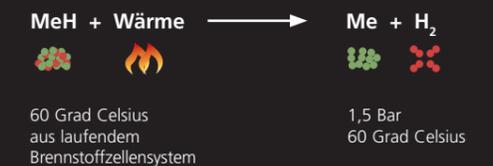
Reversible Reaktion von Metallhydriden

Welche Prozesse laufen wann ab?
Hier anhand des Beispiels „Kaltstart“ dargestellt:

HINREAKTION



RÜCKREAKTION



Klimaanlagenmodul mit vier Metallhydridreaktoren. Mit diesem geschlossenen System kann zum Beispiel in einem Elektro-Bus Kälte erzeugt werden.

Auf Tauchfahrt

Unter Wasser sind Metallhydridspeicher schon im Einsatz. Genau gesagt in den U-Booten der Klasse 212A der deutschen und italienischen Marine. Sie sind die weltweit ersten außenluftunabhängigen Tauchfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb. Der benötigte Wasserstoff kommt aus Metallhydridspeichern. Im Gegensatz zu Druckbehältern mit Kompressoren stellen sie den Wasserstoff geräuschlos zur Verfügung. Ihr höheres Gewicht ist in diesem Fall nicht ausschlaggebend.

WÖLBEN, BIEGEN, KRAFT VERSCHIEBEN



Wie biologische Vorbilder die Technik in der Luftfahrt optimieren

Von Jana Hoidis

Ihren Ursprung hat die Bionik im menschlichen Traum vom Fliegen. Vögel waren hierfür die ersten Vorbilder. Bereits im 16. Jahrhundert überlegte sich Leonardo da Vinci Flugapparate, die nach dem Vogelprinzip funktionierten. Im 20. Jahrhundert beschrieb Otto Lilienthal in seinem Werk „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegerkunst“ die Flügelwölbung als Voraussetzung für den Auftrieb und ermöglichte als Erster seiner Zeit kurze Menschenflüge. Jedoch ist es nicht möglich, die Natur 1 : 1 zu kopieren. Sie kann immer nur Anregungen und Prinzipien liefern, um hieraus neue technische Entwicklungen zu generieren. Bis zum Flugzeug, wie wir es heute kennen, war es ein weiter Weg. Bis heute arbeiten Wissenschaftler und Ingenieure daran, Luftfahrtgeräte noch sicherer und effizienter zu machen. Auch für Weiterentwicklungen stehen Vorbilder aus der Biologie Pate.

Hubschrauberblatt mit Rückstromklappe

Ein Hubschrauber hat auf den ersten Blick nichts mit einem Vogel gemein und – anders als Flugzeuge – hat er diesen generell nicht als Konstruktionsvorbild. Trotzdem haben Vögel im Landeanflug die Ingenieure zu neuartigen Hubschrauber-Rotorblättern inspiriert. Beim Landen stellen sich die Deckfedern von Vogelflügeln in einem sehr steilen Winkel auf. Dadurch wird verhindert, dass die Strömung und damit der Auftrieb abreißt. Wäre dies nicht der Fall, würde der Vogel ins Taumeln geraten und im schlimmsten Fall beim Landen abstürzen.

In besonders belastenden Flugzuständen eines Hubschraubers, wie in einer engen Kurve oder bei Wendemanövern beziehungsweise im schnellen Vorwärtsflug, kommt es am jeweils nachlaufenden Rotorblatt zu einem dynamischen Strömungsabriss. Das hat eine hohe strukturelle Belastung von Steuersystem und Rotorkopf zur Folge. Vom Landeanflug des Vogels abgeschaut, soll eine in das Rotorblatt integrierte Klappe, die sich wie Vogelfedern aufzurichten vermag, die Strömungsablösung so beeinflussen, dass die auftretenden Lasten reduziert werden. An Segelflugzeugen wurde eine solche Technologie schon erprobt, jedoch nicht am Hubschrauber. Hier ist dieses Konzept wissenschaftliches Neuland.

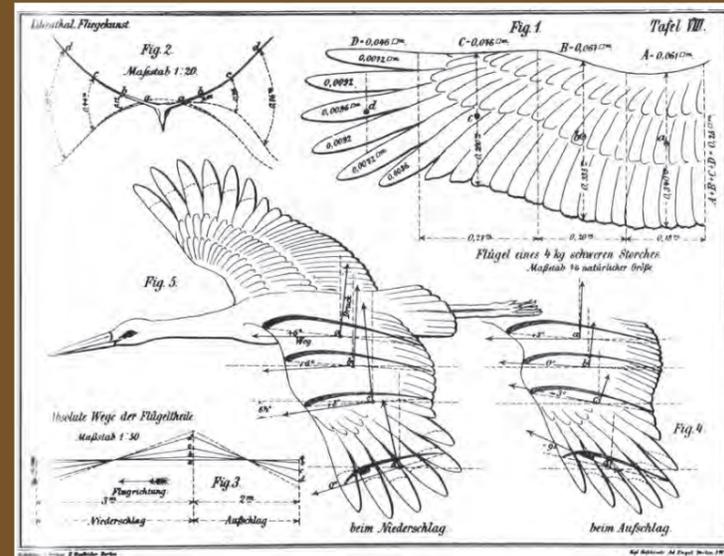
Basierend auf einem Patent des Instituts für Flugsystemtechnik formierte sich im DLR eine interdisziplinäre Forschergruppe. Das Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik übernahm es, die Struktur zu entwickeln, die dann in Zusammenarbeit mit dem Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in einem Windkanaltest untersucht werden sollte. „Besonders knifflig war es, die filigrane Klappe und deren Öffnungsmechanismus so robust und zuverlässig auszuführen, dass beide den Lasten im Windkanal ohne Schaden zu nehmen standhalten“, erklärt Ingenieur Dr. Steffen Opitz.



Systemtest eines Winglets mit formvariabler Flügelvorderkante im Windkanal der Universität Bristol: Ein bionischer, superelastischer Mechanismus im Inneren des Winglets ermöglicht eine Verformung um zwei Grad. Das soll den Luftwiderstand reduzieren und das Flugverhalten des Flugzeugs verbessern.

BIONIK

Im Begriff Bionik stecken Biologie und Technik. Ihr Gegenstand ist die technische Umsetzung von Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsmethoden biologischer Systeme. Im Laufe der Evolution haben Tiere und Pflanzen sich wandelnden Umweltbedingungen angepasst und ihre Eigenschaften durch einen natürlichen Selektionsprozess optimiert. Ob im Wasser, an Land oder in der Luft: Lebewesen sind perfekt an ihren Lebensraum angepasst. Die Natur hat sie mit Fähigkeiten ausgestattet, die ihnen das Überleben sichern. Für fast jedes Problem fand sie eine Lösung. Der Mensch bedient sich dieser: Ingenieure entwickeln technische Neuerungen, deren Prozesse, Materialien, Strukturen und Funktionen von der Natur abgeschaut sind.



Lilienthal zeigte die Merkmale einer Storchenschwinge und illustrierte den Biegetorsionsantrieb. Der Storch inspirierte ihn letztlich zum Bau seiner Flugapparate.

Bild: Otto Lilienthal, Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst, Berlin 1889 – Michael



Landende Vögel verhindern durch das Aufstellen ihrer Deckfedern den Strömungsabriss am Flügel. Eine davon inspirierte Rückstromklappe am Rotorblatt eines Hubschraubers reduziert nach diesem Vorbild die Belastungen für dessen Steuersystem.



Winglets sind den Flügelschwingen großer Vögel nachempfunden und verbessern die aerodynamischen Eigenschaften des Flugzeugs

Bild: Pixabay

Die Strömungssimulation führte zu einem neuen Design des Rotorblatts mit integrierter Klappe. Offene Fragen, etwa wie groß die Klappe sein müsste und an welcher Stelle sie angebracht werden muss, konnten mit den Berechnungen der numerischen Strömungsmechanik vom Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik beantwortet werden. Als Material für Blatt und Klappe schien ein glasfaserverstärkter Kunststoff am besten geeignet. Angebunden ist die Klappe über ein gummiartiges Elastomer, welches zusätzlich mit Glasfasern verstärkt wurde. „Die Anbindung über ein Feststoffgelenk ist der Schlüssel, um die Klappe langlebig zu machen, denn in dieser Anbindung treten weder Reibung noch Verschleiß auf“, erläutert Opitz die Vorteile des Feststoffgelenks.

Für Versuchszwecke werden die Windkanalmodelle der Rotorblätter mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet, mit denen beispielsweise die auftretenden Lasten gemessen werden. Die Klappe selbst ist in eine dünne Hülle aus Glasfasern integriert und wird einfach wie ein Handschuh über ein bestehendes Rotorblatt-Windkanalmodell gestülpt. „Für die spätere Anwendung bietet diese Lösung auch die Möglichkeit einer Nachrüstung konventioneller Rotorblätter. Dadurch würde die Einführung der Technologie in die Praxis leichter und kostengünstiger“, so Opitz.

Die Klappe wurde als passives wie auch als aktives System erprobt. Bei der passiven Variante öffnet sich die Klappe allein durch die Strömung der Luft. Das aktive System enthält einige Komponenten mehr. Sowohl in der Klappe als auch darunter im Rotorblatt sind Permanentmagnete in die Struktur integriert. Durch einen angeschlossenen Elektromagneten lassen sich die Magnete im Blatt bewegen. Die Wechselwirkung mit den Magneten in der Klappe führt dann zur Klappenöffnung. Auch

beim aktiven System soll die Klappenöffnung nur durch einen Impuls angestoßen werden. Die weitere Öffnung erfolgt dann durch die Strömung.

Das neue Rotorblatt bestand bereits Tests im Ein-Meter-Windkanal im DLR Göttingen. Bei einer Luftströmung von 50 Metern pro Sekunde wurde der Anstellwinkel des Rotorblatts zyklisch geändert, um die Strömungsverhältnisse am Rotorblatt während des Fluges zu simulieren. Mit Hilfe einer hochgenauen bildgebenden Messmethode (PIV: Particle Image Velocimetry) konnten Strömungsrichtung und Geschwindigkeit visualisiert werden. Bei diesem Verfahren wird in den Windkanal ein Nebel aus Ölpartikeln gesprüht und dieser mit einem Laser-Licht-Schnitt ausgeleuchtet. In zwei kurzen zeitlichen Abständen werden die Partikel im Nebel fotografiert, woraus sich dann die Strömungsrichtung bestimmen lässt. „Aus aerodynamischer Sicht war es besonders spannend, zwei unterschiedliche Strömungsverhältnisse zu untersuchen: einmal mit und einmal ohne Rückstromklappe. Die Klappe, die eine kontrollierte Störung der Strömung darstellt, wirkt sich positiv auf die Aerodynamik des Rotorblatts aus“, beschreibt Dr. Anthony Gardner vom DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik die Vorteile der Rückstromklappe.

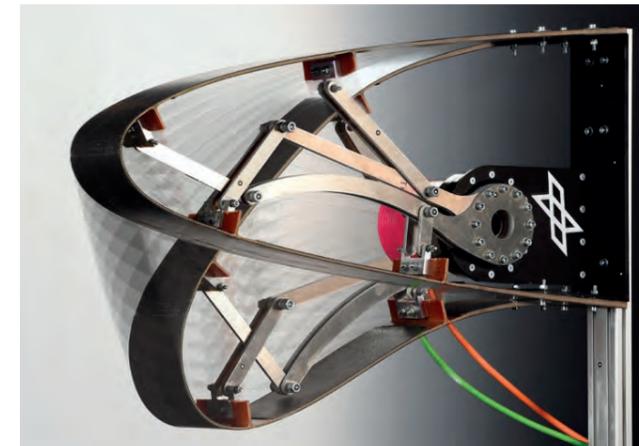
Zudem gaben über 40 Drucksensoren Auskunft über die am Rotorblatt auftretenden Lasten. „Das Ergebnis dieser Messung hat uns sehr erfreut“, erläutert Steffen Opitz, „die Klappe konnte die auftretenden Lasten um bis zu dreißig Prozent reduzieren.“ Das bedeutet, dass durch die verringerten Lasten längere Wartungsintervalle möglich werden oder auch der Rotorkopf des Hubschraubers leichter gebaut werden kann.

Formvariable Winglets

Im Gegensatz zu Hubschraubern wurden schon die allerersten Flugzeuge in ihrer Bauweise von Vögeln inspiriert. So auch die Enden der Tragflächen aktueller Passagierflugzeuge, die sogenannten Winglets. Große Vögel wie Bussard, Kondor oder Adler nutzen ihre langen Schwungfedern, um ihre aerodynamischen Eigenschaften im Langsamflug zu verbessern: Fächerförmig und gestaffelt spreizen sie diese in die Höhe. Statt eines großen Wirbels werden dadurch mehrere kleinere ausgelöst, was insgesamt weniger Energie verbraucht. Die Idee für Winglets wurde bereits 1897 von Frederick W. Lanchester zum Patent angemeldet. Seit den Achtzigerjahren werden sie in ihrer heutigen Form in Passagierflugzeugen verbaut und sparen fünf bis sechs Prozent des Treibstoffs ein. Im DLR laufen derzeit Forschungsarbeiten, um die aeroelastischen Eigenschaften der Winglets weiter zu verbessern. „Eine Änderung ihrer Gestalt, sogenanntes „Morphing“, soll für eine optimale Anpassung der Aerodynamik und des Strukturverhaltens an den jeweiligen Flugzustand sorgen und so die Flugleistung steigern“, beschreibt Dr. Srinvas Vasista aus der Abteilung Adaptronik die Idee hinter der neuen Entwicklung. „Wir haben eine Flügelspitze eines Embraer Regionalflugzeugs entwickelt, die sich aktiv um zwei Grad verformen kann. Ein derartiges Winglet ist bisher weltweit einzigartig, was das Projekt besonders spannend für uns macht.“ Durch die formvariable Struktur kommt die Flügelspitze noch näher an die Funktionalität der Adlerflügel heran.

Generell bevorzugt die Natur integrierte statt additiver Konstruktionen. Was heißt das genau? Bei der additiven Konstruktion hat jedes einzelne Element eine Hauptfunktion. Eine Schraubverbindung aus Teil A und Teil B besteht aus einer Schraube, einer Mutter, gegebenenfalls einer Unterlegscheibe und einem Federring. In der Natur sind Einzelteile in der Regel multifunktionell und gehen ineinander über. Darüber hinaus bevorzugt die Natur Strukturen, die gleichzeitig flexibel und steif sind. Lasttragende, steife Strukturen wie Baumstämme, Knochen oder Zähne werden nur genutzt, wo sie zwingend erforderlich sind. Flexible Strukturen wie Bienenflügel, Baumzweige oder die Knochen im Vogelflügel überwiegen in lebenden Organismen.

„Die Herausforderung bei morphenden, also formvariablen, Strukturen liegt darin, Steifigkeit und Flexibilität optimal zu verteilen. Die Anpassung des Materials und der Geometrie für eine präzise Formenkontrolle muss mit einem leichtbaugerechten Design und einer Systemintegration vereinbar sein“, schildert Vasista die Aufgabe. Die wesentlichen Bestandteile der neuen Flügelspitze sind eine Außenhaut und ein Mechanismus, der die Formänderung durchführt. Dazu wurde die Geometrie optimiert und der Bewegungsmechanismus über einen Algorithmus berechnet. Für das Bewegungskonzept gibt es in der Natur zahlreiche Beispiele: Sehr anschaulich ist der Flügelschlag von



Konventionelle Mechanik zur Absenkung einer Flügelvorderkante. Der Bewegungsmechanismus besteht aus vielen starren Einzelteilen, die durch Muttern und Schrauben miteinander verbunden sind.

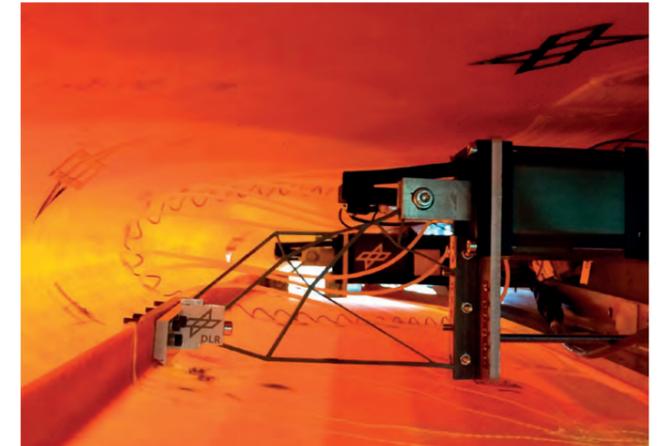
Bienen. Ihre Flügel sind über ein Festkörpergelenk mit ihrem Körper verbunden. Durch Kraftverschiebung in dem komplett elastischen Bienenkörper bewegen sich die Flügel auf und ab.

Der Validierungstest des fertigen Winglets fand im Windkanal der Universität Bristol statt. Unter niedrigen, weit unterhalb der Schallgeschwindigkeit liegenden Windgeschwindigkeiten sollten die zuvor berechneten Struktureigenschaften überprüft werden. „In der Regel wird in Windkanälen lediglich die Umströmung der Profile getestet. Das Besondere war in diesem Fall, dass wir ein komplettes System, bestehend aus Hinterkante sowie flexibler Haut der Vorderkante und dem superelastischen Mechanismus im Inneren, untersucht haben“, beschreibt Vasista die Einzigartigkeit des Experiments. In dem 2,1 mal 1,5 Meter großen Windkanal stand das Winglet auf einer Waage und war zusätzlich mit mehreren Druck-, Verschiebungs- und Dehnungssensoren verkabelt. Die Waage zeigte an, wie viele Kräfte unter der Luftlast auf die Struktur einwirkten. „Erfreulich war für uns, dass die gemessenen Werte mit den zuvor simulierten übereinstimmten“, resümiert Vasista. „Die Struktur verformt sich unter den Luftlasten genauso wie im Vorfeld berechnet.“ Der superelastische Mechanismus hält also die einwirkenden Kräfte aus und ist dabei formstabil. „Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind insofern von großer Bedeutung, als dass sie auch auf andere formvariable Strukturen, wie Flügelvorder- oder Hinterkanten, übertragbar sind und für die Weiterentwicklung und Verbesserung flexibler Festkörpergelenke genutzt werden können.“

Zukünftig noch natürlicher

So unbegrenzt wie die Artenvielfalt in der Natur sind auch die Möglichkeiten, Technik durch bionische Prinzipien zu optimieren. Bionische Algorithmen werden schon heute dazu verwendet, eine optimale Lastverteilung in Strukturen zu berechnen. Dabei lassen sie Strukturen beispielsweise wie einen Baum wachsen. In der Produktion können Strukturen durch eine additive Fertigung mittels 3D-Drucker Schicht für Schicht entstehen. Berechnungsergebnisse können so nah am Original nachgebaut werden, wie es mit konventionellen Fertigungstechnologien nicht möglich wäre. Der Übergang zwischen festen und flexiblen Strukturen kann dabei frei gestaltet werden. Eine nahezu unbegrenzte Formenvielfalt ist mittels 3D-Druck möglich. Für die Ingenieure wird es somit einfacher, ein neu entschlüsselttes Prinzip aus der Natur in eine Flugzeugstruktur zu überführen. Diese uneingeschränkte Design- und Konstruktionsfreiheit könnte zukünftig noch mit dem einen oder anderen innovativen Bauteil überraschen und so dazu beitragen, das Fliegen noch effizienter und umweltfreundlicher zu machen.

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



Bionik im Inneren des Winglets: Die Verformung der Struktur erfolgt ausschließlich durch Kraftverschiebung über den superelastischen Mechanismus.

KONTROLLIERTER FALL



Simulations-Tool sagt Absetzverhalten von Fallschirm-Lasten voraus

Von Anna Boos

Militärische Transportflugzeuge müssen Aufgaben erfüllen, die über die Anforderungen an zivile Verkehrsflugzeuge hinausgehen. Die Riesen der Lüfte kommen zum Einsatz, wenn es darum geht, Katastrophengebiete mit Hilfsgütern zu versorgen oder Material und Menschen in abgelegene Gebiete zu transportieren. Dabei müssen sie weite Strecken zurücklegen oder auf unbefestigten Bahnen starten und landen. Besonders anspruchsvoll ist das Absetzen von Hilfsgütern mit Fallschirmsystemen über die Heckrampe. Die tonnenschweren Lasten sollen – trotz extremer Luftverwirbelungen hinter dem Flugzeug – möglichst zielgenau landen und dabei auch noch unbeschädigt bleiben.

Im DLR-Projekt MiTraPor II (Einsatzorientierte Gesamtsystembetrachtung Militärischer Transporter) wurden Simulations- und Bewertungswerkzeuge entwickelt, mit denen sich die Auswirkungen neuer Technologien und Verfahren beim Lastenabsetzen virtuell erproben lassen. Am Institut für Flugsystemtechnik in Braunschweig wurde dafür das Simulations-Tool PARALAB (Parachute and Airdrop Evaluation Laboratory) entwickelt. „Mit Hilfe dieses Tools lassen sich neue Konfigurationen und Szenarien für das Absetzen von Lasten simulieren und optimieren, bevor sie im realen Flugversuch erprobt werden. Das bedeutet, dass bei der Einführung und Zulassung neuer Lastabsetzverfahren Aufwand, Zeit und Kosten eingespart werden können“, erklärt Projektleiter Dr.-Ing. Thomas Jann. Er sitzt am Simulationsrechner und gibt zahlreiche Parameter in eine Eingabemaske ein: Flugzeugtyp, Flughöhe und -geschwindigkeit, Maße und Gewicht der Last, Windstärke und Windrichtung. Auch welcher Fallschirmtyp für das Absetzverfahren genutzt wird, spielt eine Rolle bei der Berechnung der Flugbahn. Einen Knopfdruck später sieht Jann das berechnete Ergebnis auf dem Bildschirm: Ein Militärtransporter fliegt nur wenige hundert Meter über dem Boden, die Heckklappe öffnet sich, eine Palette rutscht die Laderampe herunter. In Sekundenschnelle öffnen sich mehrere Fallschirme und bremsen die tonnenschwere Last ab, sodass sie unbeschadet und zielgenau landet.

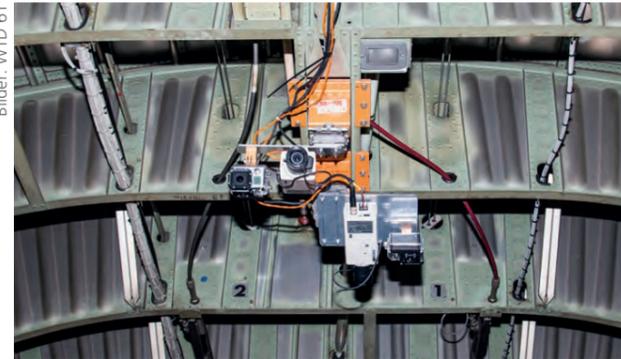
Lastabgang im Film

In der Simulation sieht das schon sehr gut aus. Aber wie nah ist die theoretische Berechnung des Lastabsetz-Szenarios an der Wirklichkeit? „Um überprüfen zu können, wie präzise und zuverlässig unsere Vorhersagen aus der Simulation wirklich sind, brauchen wir Messdaten aus echten Flugversuchen“, sagt Thomas Jann. PARAVAL (PARALAB Validation) heißt das Vorhaben, das zeigen soll, wie genau das Simulationswerkzeug bereits arbeitet. Gemeinsam mit der Wehrtechnischen Dienststelle 61 (WTD 61) der Bundeswehr hat das DLR deshalb zwei umfangreiche Flugversuchsreihen mit einer Transall C-160 durchgeführt. Ende 2016 und Anfang 2017 fanden die je zweitägigen Kampagnen auf dem Fallschirmabsetzplatz in der Nähe von Manching statt. „Die in PARAVAL durchgeführten Absetzversuche gehören mit zu den am besten instrumentierten und dokumentierten Absetzungen weltweit“, sagt Jann.

Die Forscher wollten es ganz genau wissen: Zwei Kameras verfolgten den Lastabgang aus dem Laderaum heraus. Zwei weitere Kameras waren auf der bis zu zwei Tonnen schweren Last angebracht und filmten den freien Fall. Zur optischen Flugbahnvermessung kam außerdem eine der weltweit modernsten Kinotheodoliten-Stationen der WTD 61 zum Einsatz. Das Entfernungsmessgerät ist speziell für sich schnell bewegende Ziele am Horizont entwickelt worden. Es verfolgt das Objekt mit zwei oder mehr Kameras. Anschließend wird aus den präzise gemessenen Kamerawinkeln die Position des Objekts im Raum bestimmt. „Mit diesem Messverfahren haben wir bei den Flugversuchen nicht nur wie üblich die Flugbahn der abgesetzten Last vermessen, sondern darüber hinaus auch die Bewegung der Fallschirmsysteme dokumentiert. So können wir später überprüfen, ob sich die Fallschirme genauso öffnen und schließen wie in der Simulation.“

Damit nicht genug: Auf jeder Last fliegt eine weitere kleine Messbox der DLR-Forscher mit. Das „miniature Flight Data Acquisition System“ (mFDAS) wurde ebenfalls am Institut für Flugsystemtechnik entwickelt. Die kleine Messbox zeichnet GPS-Daten,

Bilder: WTD 61



Auch im Laderaum des Transportflugzeugs haben die Forscher Kameras installiert, um das Absetzverhalten der Lasten zu dokumentieren

Beschleunigungen und Drehraten, jeweils in drei Achsen, die Komponenten des Magnetfeldvektors sowie die barometrische Höhe (Luftdruck) auf.

13 Sekunden sanftes Schweben

Zwei verschiedene Verfahren, bei denen jeweils zwei unterschiedlich schwere Lasten (eine und zwei Tonnen) abzusetzen waren, wurden bei den Flugversuchen extrem genau vermessen. Bei der ersten Flugversuchskampagne setzte die Crew die Lasten über das „Schwerkraftverfahren“ aus der Transall ab. Dafür brachten sie das Flugzeug in eine leichte Nicklage, im Laderaum wurden dann die Halteklammern der Last gelöst und den Rest erledigt die Schwerkraft, die die Last quasi nach unten aus dem Flugzeug zieht.

Bei der zweiten Kampagne führten die Testpiloten eines der wohl komplexesten Absetzverfahren, das „Ausziehverfahren niedrige Höhe“ durch: Nur knapp 150 Meter über Grund rauscht die riesige Transall mit 130 Knoten, also ungefähr 240 Kilometern pro Stunde, über den Boden hinweg und öffnet ihre Laderampe. Das an der Last befestigte Fallschirmpaket wird als Erstes aus der Ladeöffnung katapultiert und zieht die Last mit sich aus dem Flugzeug. Insgesamt sieben Fallschirme sorgen nun für den kontrollierten Fall. Als Erstes öffnet sich ein kleiner Ausziehschirm, der die drei Hauptschirme entfaltet. Ein kurzer, starker Ruck – und die Last fällt nicht mehr wie ein Stein in die Tiefe, sondern segelt sanft in Richtung Boden. Um der Pendelbewegung entgegenzuwirken, entfaltet sich ein weiterer Ausziehschirm, der seitlich zwei Hilfsschirme öffnet, die den senkrechten Fall stabilisieren sollen. Gerade einmal 13 Sekunden dauert der gesamte Vorgang.

Die gesammelten Messwerte nutzen die DLR-Wissenschaftler, um das Simulationstool PARALAB zu überprüfen und weiterzuentwickeln.

Realität trifft Simulation: Um zu überprüfen, wie präzise und zuverlässig das Simulationstool PARALAB das Absetzverhalten der Lasten und Schirme vorhersagen kann, vergleichen die DLR-Forscher ihre Simulationsergebnisse mit den realen Flugversuchsdaten. Dargestellt ist hier das simulierte Ausziehverfahren niedrige Höhe. Nachdem die Messdaten dafür ausgewertet sind, werden die Modellparameter so justiert, dass die simulierte mit der gemessenen Flugbahn von Last und Fallschirmen möglichst exakt übereinstimmt.

Bilder: Simulation: PARALAB



Drei Hauptschirme sorgen dafür, dass die tonnenschwere Last sanft zu Boden schwebt und unbeschadet landet

Wieder in Braunschweig beginnt für Thomas Jann die Aufbereitung der Messdaten. Die Aufzeichnungen der verschiedenen Instrumente müssen verglichen und synchronisiert werden. Im nächsten Schritt kann der Luftfahrtingenieur die Ausgangsdaten aus dem Flugversuch in das Simulationstool PARALAB eingeben. Anhand dieser Parameter errechnet die Software die entsprechende Flugbahn der abgesetzten Last – und kommt im Idealfall zu einer Vorhersage, die dem Ergebnis der real durchgeführten Absetzungen entspricht. Bis alle Daten aus dem Flugversuch aufbereitet und mit den Simulationsergebnissen aus PARALAB verglichen sind, werden allerdings noch viele Arbeitswochen vergehen.

Flexibles Simulationswerkzeug

„Eine Stärke unseres Simulations-Tools ist, dass es nach dem Baukasten-Prinzip funktioniert“, betont Jann. Jede beliebige Konfiguration, also jede Variation der verschiedenen Parameter kann mit dem Tool simuliert werden. Deshalb ist PARALAB in der Lage, Flugbahn und Verhalten von realen und komplexen Fallschirm-Lastkonfigurationen, wie mehrstufigen Schirmsystemen und Fallschirmtrauben inklusive ihrer Gurtsysteme, vorherzusagen.

Das Tool ist aber nicht nur auf das Absetzverhalten von Lasten aus einem Transportflugzeug anwendbar, sondern kann viele weitere Konfigurationen simulieren. „Haben wir die entsprechenden Ausgangsparameter, können wir beispielsweise auch berechnen, wie sich ein mit Rettungsfallschirmen ausgestattetes Ultraleichtflugzeug bei einem Absturz verhält“, erklärt Jann.

Anna Boos ist am DLR-Institut für Flugsystemtechnik unter anderem mit der Öffentlichkeitsarbeit betraut.





Frust am Steuer ist eine Gefahr. DLR-Forscher arbeiten an Assistenzsystemen, die Zeichen von Frust beim Fahrer erkennen und ihm gegebenenfalls Informationen geben, die ihm helfen, sich wieder unter Kontrolle zu bekommen. Ein Hinweis auf die sich entspannende Verkehrslage nach der nächsten Ampel beispielsweise könnte ihn beruhigen.

Bild: Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V., Bonn

FRUST HINTER DEM STEUER



Human Factors und die Mobilität von morgen

Von Dr. Meike Jipp

Berufsverkehr und ein Termin im Nacken. Eine neue Baustelle und Ampeln, die immer knapp vor dem Erreichen auf Rot schalten. Und dann noch ein „Sonntagsfahrer“ voraus, der mit einer Geschwindigkeit unterhalb der gültigen Begrenzung die linke Spur blockiert. Nervöser Blick auf die Uhr. Näher ranfahren. Gas und rechts raus, links wieder rein. Geschafft. – Diesmal ist es gut gegangen ...

Solch eine Situation ist leider im Alltag oft zu erleben. Frustrierte Autofahrer und -fahrerinnen neigen dazu, Sicherheitsrisiken einzugehen. Wie gut wäre es, wenn in solchen Momenten ein Assistenzsystem im Fahrzeug warnend auf den Erregungszustand des Fahrers oder der Fahrerin hinweisen würde oder – beispielsweise im Fall eines größeren Staus – sogar eine alternative Route mit öffentlichen Verkehrsmitteln vorschlagen könnte. Noch existiert ein derartiges Szenario nur als Wunschvorstellung. Doch am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik arbeitet ein Team aus Psychologen, Ingenieuren, Kognitionswissenschaftlern und Physikern daran, dass diese Vision Realität wird. Ihr Fachgebiet: Human Factors.

Gefahr durch genervte Fahrzeugführer

„Frustrierte Autofahrer fahren riskanter und können mit ihrem Verhalten sicherheitskritische Situationen hervorrufen“, erklärt der Kognitionswissenschaftler Dr. Klas Ihme. „Ausgelöst wird Frust, wenn das zielführende Verhalten des Fahrers blockiert wird, beispielsweise durch eine Häufung roter Ampelphasen.“ Besonders deutlich wurde dieser Zusammenhang in einer Fahrstudie, die im gekoppelten Fahrsimulator des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig im Rahmen des Projekts URBAN durchgeführt wurde. Der Projektname steht für „Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement“. Drei Personen durchfuhren für die Studie hintereinander ein innerstädtisches Verkehrsszenario. Der erste Fahrer nutzte eine sogenannte Ampelassistentz. Sie informiert ihn, wann Ampeln umschalten und wie schnell er – unter Berücksichtigung der Geschwindigkeitsvorgaben – fahren sollte, sodass er entweder bei Grün über die Ampelkreuzung kommen oder aber schon weit vor der Haltelinie die Geschwindigkeit verringern kann. Letzteres hat den Vorteil, dass die Haltelinie genau beim Umschalten der Ampel von Rot auf Grün erreicht wird und sie ohne Stopp überfahren werden kann. Der zweite Fahrer hatte diese Assistenz nicht und war auch nicht über die zusätzliche Funktionalität informiert. Er wunderte sich über die Fahrweise des ersten Fahrers, die für ihn nicht als vorausschauend erkennbar war, und reagierte zunehmend frustriert. Schließlich fuhr er mit einem geringeren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug – ein typisches Verhalten von Personen, die sich beim Erreichen ihres Ziels behindert fühlen. Sie verhalten sich öfter sicherheitskritisch. Einer der Fahrer in der Fahrsimulation verursachte sogar eine Kollision mit dem vorausfahrenden Fahrzeug. Für den Kognitionswissenschaftler ein deutlicher Beleg dafür, dass frustrierte Autofahrer eine riskantere Fahrweise zeigen. Ein Assistenzsystem im Auto, welches erkennt, wenn der Fahrer frustriert wird, und dann eine entspannte Atmosphäre schafft, kann die Situation entschärfen und sicherheitskritischen Effekten vorbeugen.

Blick auf das Gesicht und ins Gehirn

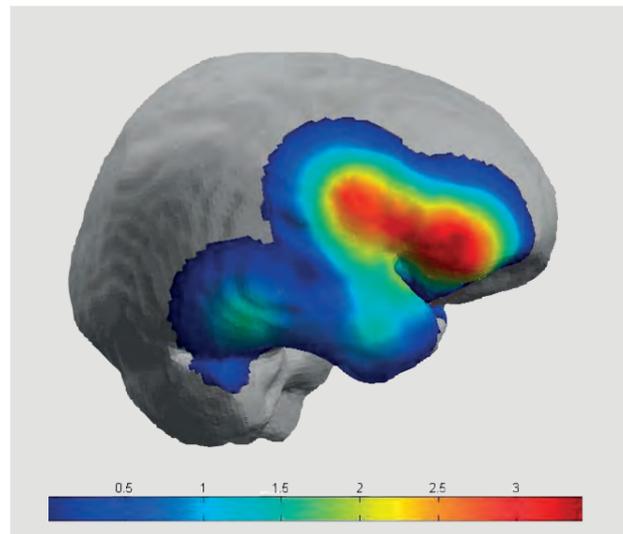
Doch wie kann ein Assistenzsystem feststellen, dass der Fahrer frustriert ist? Im Rahmen des Projekts Critical Systems Engineering (CSE) untersuchten die DLR-Experten für Human Factors des Instituts für Verkehrssystemtechnik, wie ein Assistenzsystem erkennt, dass der Fahrer sich erregt. Ihr Ziel: Die Zeichen wahrnehmen, möglichst bevor das Verhalten sicherheitskritisch wird. Hierfür nutzten die Forscher das Virtual-Reality-Labor des Instituts. Sie luden 30 Probanden ein und gaben ihnen die Aufgabe, Pakete an wichtige Kunden zeitgerecht auszuliefern. Sie sollten hierfür mit dem Fahrzeug im Virtual-Reality-Labor durch eine simulierte Stadt fahren. Um den Druck zu erhöhen, wurde ihnen mitgeteilt, dass sie pro ausgeliefertem Paket zwei Euro Belohnung bekämen. Mehr wussten die Probanden nicht. Im Hintergrund spielten die Forscher ein „Frustr-Programm“ ab: Ampeln schalteten immer wieder auf Rot, Personen überquerten sehr langsam den Fußgängerüberweg, Fahrzeuge parkten direkt auf der Fahrbahn und der Gegenverkehr ließ kein Überholen zu. Es war leider nicht möglich, die Pakete rechtzeitig auszuliefern, und den Autofahrern wurde das zunehmend auch bewusst.

Während die Fahrer also mit den Hindernissen kämpften, wurden sie von den Wissenschaftlern über Kameras beobachtet. „Uns interessieren besonders die Gesichtsmuskeln des Probanden“, erklärt Klas Ihme. „Denn sie kommunizieren Gefühle, unwillkürlich.“ Die Ergebnisse sind recht eindeutig: Wenn Fahrer die Lippen stärker zusammenpressen, wenn sich Grübchen in den Wangen bilden, wenn sie die Augenbrauen zusammenziehen, dann sind sie frustriert.

Neben der Aktivität der Gesichtsmuskeln beobachteten die Forscher bei den Probanden zusätzlich mit Nahinfrarotspektroskopie, kurz NIRS, die Sauerstoffsättigung im Blut des Gehirns. „Dieser Blick ins Gehirn gibt uns zusätzliche Informationen über den Zustand des Fahrers“, erklärt Klas Ihme. Wissenschaftler der Universität Oldenburg haben das Verfahren für die Studie angepasst und gemeinsam mit den DLR-Wissenschaftlern die Daten ausgewertet. „Wir haben herausgefunden, dass sich die Sauerstoffsättigung im Blut bei frustrierten und nichtfrustrierten Autofahrern in bestimmten Bereichen des Vorderhirns unterscheidet, und zwar in denen, die an der Regulation von Emotionen beteiligt sind“, weiß Klas Ihme. „Je frustrierter die Probanden sind, desto höher ist die Sauerstoffsättigung in diesen Arealen.“

Auf dem Bildschirm wird den Wissenschaftlern die erhöhte Sauerstoffsättigung als großes rotes Areal im Gehirn angezeigt. Das deutet

Abbildung des menschlichen Gehirns. Farblich codiert ist die Differenz der Hirn-Aktivität bei frustrierten und nicht frustrierten Personen. Die roten Regionen sind aktivere Hirn-Areale und ein Zeichen von Frust.



auf eine verstärkte Aktivierung der Nervenzellen hin. Viel Rot bedeutet, dass der Proband in der entsprechenden Situation angestrengt ein impulsives Verhalten unterdrückt. „Dieses Verhalten ist sehr typisch für frustrierte Autofahrer“, erklärt Ihme. Basierend auf diesen Ergebnissen haben die Forscher intelligente Algorithmen entwickelt, die Veränderungen im Gesicht identifizieren und mit Frustration in Verbindung bringen können. Und genau damit kann dann ein Fahrzeug erkennen, in welchem emotionalen Zustand sein Fahrer ist.

Die Gegenmaßnahme: Duft und schöne Bilder?

Alein die Erkenntnis, dass der Fahrer jetzt frustriert ist, hilft noch nicht. Jetzt müssen die Wissenschaftler die Software noch dazu bringen, den Fahrer zu beruhigen. „Sie könnte den Umstieg auf ein anderes Verkehrsmittel oder eine alternative Route vorschlagen“, sagt Klas Ihme. Die Voraussetzung dafür wäre natürlich, dass dem Fahrzeug vernetztes Wissen über die Möglichkeiten alternativer Verkehrsträger zur Verfügung steht und diese eine schnelle Zielerreichung auch tatsächlich ermöglichen. Auch könnte das Fahrzeug den Fahrer darüber informieren, dass er objektiv betrachtet beispielsweise nur zwei Minuten verliert und noch pünktlich ankommen wird. Eine andere Möglichkeit ist, dass er jetzt zwar gerade in seiner Zielerreichung behindert wird, aber ab der nächsten Kreuzung eine grüne Welle kommt und wenig Verkehr ist, sodass die verlorene Zeit gleich wieder aufgeholt wird. Solche Informationen helfen dem Autofahrer, sich selbst wieder unter Kontrolle zu bekommen und die Zielblockade richtig einzuschätzen.

Stehen solche kognitiven Möglichkeiten nicht zur Verfügung, dann bleibt noch die Beruhigung über die Sinnesorgane. Vorstellbar sind Düfte mit beruhigender Wirkung, wie zum Beispiel Vanille. Auch beruhigende Musik oder Urlaubsbilder in der Windschutzscheibe könnten helfen, wobei die Bilder natürlich nicht ablenken sollen, denn dann ist nicht mehr die Frustration das Problem für die Sicherheit, sondern die mangelnde Aufmerksamkeit gegenüber dem Straßenverkehr. Aber auch da haben die Forscher des DLR-Instituts erste Lösungsansätze. Hauptziel aber ist: Das Fahrzeug von morgen soll sich individuell auf seinen Fahrer abstimmen, ihn weder unter- noch überfordern, sondern den Menschen bei der Erfüllung der Mobilität optimal unterstützen. Genau hier setzt Human Factors an.

Dr. Meike Jipp leitet die Abteilung Human Factors am Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR in Braunschweig.

Im Virtual-Reality-Labor des DLR schalteten die Ampeln auf Rot und Fußgänger überquerten betont langsam die Straße, bis der Fahrzeugführer nervös wurde und schließlich frustriert war



DIE AMPELN DENKEN MIT

Zwei neuartige Steuerungsverfahren für Ampeln sollen unnötiges Warten an roten Ampeln verhindern, den Verkehr flüssiger machen und den Schadstoffausstoß verringern. Wissenschaftler des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik haben dafür zwei intelligente Steuerungsverfahren für Lichtsignalanlagen (LSA), also Ampeln, entwickelt und am Tostmannplatz in Braunschweig getestet. Die Forscher verglichen ihr VITAL genanntes verlustzeitbasiertes und kooperatives Steuerungsverfahren mit der bisherigen Ampelsteuerung und stellten Erstaunliches fest: Bei einer Ampelregelung von insgesamt 16 Stunden pro Tag und 800 Fahrzeugen, die die Kreuzung in dieser Zeit pro Stunde passieren, konnten insgesamt bis zu fünf, beziehungsweise bis zu 15 Stunden Wartezeit eingespart werden, je nach Verkehrslage und Steuerungsart. Das verlustzeitbasierte Steuerungsverfahren verlängert eine laufende Grünphase unter Beachtung einer minimal und maximal zulässigen Phasendauer so lange, bis dort alle Fahrzeuge, die bereits Verlustzeit angesammelt haben, weitergefahren sind. Die verkehrsabhängige Steuerung wird mit einem Ampelassistenten verknüpft.

Das Neue an den VITAL-Verfahren ist, dass als Kenngrößen für die Verkehrssteuerung die Verlustzeiten und Ankunftszeitpunkte genutzt werden. Bisherige Verfahren werden meist über feste Zeiten oder durch Überfahren von Detektionspunkten gesteuert. Bei VITAL erfassen die Fahrzeuge die Verkehrslage per Car2X selbst und liefern der Ampel beispielsweise Informationen über Position, Richtung und Geschwindigkeit. Die VITAL-Verfahren können in Form von vorgefertigten Modulen in viele der bestehenden LSA-Steuerungen integriert werden, die von Aufbau und Ablauf grundsätzlich unangetastet bleiben. Nur die Kriterien für die Anpassung der Freigabezeiten werden entsprechend dem verlustzeitbasierten oder kooperativen Verfahren modifiziert.

Die Kreuzung am Tostmannplatz ist eine von insgesamt 36 Ampelkreuzungen in Braunschweig, die im Rahmen der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) mit Car2X-Kommunikationstechnik ausgestattet wurden. AIM ist mit Unterstützung des Bundes, des Landes Niedersachsen und der Stadt Braunschweig eine deutschlandweit einzigartige Großforschungsanlage, die das komplette Spektrum der Verkehrsforschung abbilden kann.

s.DLR.de/8b08



Weniger Wartezeit dank intelligenter Ampeln – zwei neue Steuerungsverfahren machen es möglich: Die Wartezeit an der Ampel kann um bis zu 15 Stunden pro Tag reduziert werden.

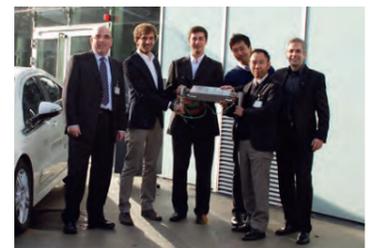
BORDSTROM AUS ABWÄRME

Gemeinsam mit der japanischen Firma Yamaha Corporation entwickelt das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte spezielle Fahrzeugsysteme auf Basis thermoelektrischer Effekte. Ziel sind neuartige Module für den Einsatz in der Restenergienutzung von Straßen- und Schienenfahrzeugen. Die japanische Firma bringt vor allem ihr Know-how bei der Materialbeschaffung und Fertigung der aus Halbleitermaterialien bestehenden thermoelektrischen Module ein, das DLR sein breites Wissen über Entwurf, Fahrzeugkonzepte sowie Auslegung und Optimierung von Fahrzeugenergiesystemen.

Verbrennungsmotoren beispielsweise von Fahrzeugen nutzen nur rund ein Drittel der im Kraftstoff gebundenen Energie für den Antrieb, die restlichen zwei Drittel gehen als Abwärme verloren. Thermoelektrische Generatoren nutzen diese Wärme und wandeln sie in Strom um. Der Strom kann dann im Fahrzeug für Steuergeräte oder Komfortelektronik eingesetzt werden und entlastet so die Lichtmaschine, die sonst diesen Strom eigens generieren muss. In Hybrid- und Range-Extender-Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor kann der mit einem thermoelektrischen Generator gewonnene Strom direkt in die Batterie eingespeist werden. Zielsetzung der DLR-Wissenschaftler ist es, mit Hilfe thermoelektrischer Generatoren den Kraftstoffverbrauch um drei bis fünf Prozent zu verringern.

Erste Systemintegrationen auf Basis thermoelektrischer Generatoren haben die DLR-Forscher gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung schon entwickelt und erfolgreich im Auto getestet. Bisher waren industriell hergestellte thermoelektrische Module nur sehr begrenzt verfügbar. Die Ingenieure mussten deshalb bisher auf Module zurückgreifen, die nicht speziell für diesen Einsatzzweck konzipiert waren. Mit dem japanischen Partner sollen nun fahrzeuggerechte Module für die nächste Generation von thermoelektrischen Generatoren entwickelt werden.

s.DLR.de/0xjw



DLR-Wissenschaftler und ihre Kooperationspartner aus Japan halten die erste Version des thermoelektrischen Generators in ihren Händen. Er soll den Kraftstoffverbrauch verringern.

AUF STARKER GRUNDLAGE HOCH HINAUS

INVENT GmbH nutzt Potenziale der Faserverbundtechnik für innovative Produkte

Von Jasmin Begli

Ein Raketenantrieb aus dem 3D-Drucker – das hört sich nach Zukunftstechnologie an. Ist es auch. 2016 übergab das Land Niedersachsen der INVENT GmbH einen Förderbescheid für ein technologisches Leuchtturmprojekt: Gemeinsam mit der Technischen Universität Braunschweig und dem DLR soll ein solcher wiederverwendbarer Raketenantrieb im 3D-Druck entwickelt werden. Damit bekäme auch der Teststand für Weltraumraketen am DLR-Standort Trauen neuen Schub. Der neue Raketenantrieb ist nur eines von mehreren Leuchtturmprojekten der INVENT GmbH, die vor 20 Jahren als Spin-off des DLR gegründet wurde.

Im Jahr 1996 hatten drei Professoren des DLR in Braunschweig beschlossen, eine Firma zu gründen. Aus den Ideen des Instituts für Strukturmechanik (heute Faserverbundleichtbau und Adaptionik) sollten Produkte werden. Prof. Dr. Elmar Breitbach, Prof. Dr. Axel Herrmann und Prof. Dr. Holger Hanselka hatten früh erkannt, dass die Faserverbundtechnik, die sie am DLR-Institut erforschten, eine Zukunftstechnologie ist. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. war weder von seinem Auftrag her noch mit seinen räumlichen Gegebenheiten auf die industrielle Umsetzung der Forschungsergebnisse ausgerichtet. Um die neue Technik zu produzieren, am besten noch in Serie, musste ein „Ventil“ geschaffen werden, das die Grundlagenforschung des DLR nach außen transportieren kann.

„Zur damaligen Zeit wollte Dornier ein Bauteil aus dem am DLR erforschten Faserverbundwerkstoff haben“, erinnert sich Henning Wichmann, der Geschäftsführer der INVENT GmbH. Mit Hilfe des Technologiemarketings, das die Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie bildet und dabei hilft, die im DLR erarbeiteten Forschungsergebnisse zu anwendungs-

fähigen Technologien weiterzuentwickeln, gründeten Breitbach, Herrmann und Hanselka als Gesellschafter das Unternehmen INVENT GmbH.

„Dass die drei Wissenschaftler die Firma leiten, war von Anfang an nicht vorgesehen“, erzählt Wichmann. „Und so wurde ich quasi von einem Tag zum anderen mit meinen 27 Jahren vom ‚HiWi‘ zum Geschäftsführer einer Firma“. Heute ist er froh darüber, dass dieses Angebot direkt nach Abschluss seines Studiums kam. „Mit 27 ist man jung und das Berufsleben fängt erst an, da bin ich das Risiko eingegangen. Später, mit Familie und Kindern, hätte ich wahrscheinlich anders entschieden“. Und so startete die INVENT GmbH 1996 mit zwei Mitarbeitern. Wichmann und sein Kollege Carsten Schöppinger, der von damals bis heute die technische Leitung der INVENT GmbH innehat, teilten sich anfangs ein 160-Quadratmeter-Büro in der Braunschweiger Innenstadt. Für ihre Aufträge zur Fertigung nutzten sie die Anlagen des DLR, die sie für diesen Zweck anmieteten. Als Bindeglied zwischen INVENT und dem DLR sieht Wichmann bis heute die Entwicklung. Während das DLR für die Forschung und gemeinsam mit INVENT auch für die Entwicklung zuständig war, war die Aufgabe von INVENT die Serienfertigung.

Die ganze Prozesskette unter dem eigenen Dach

„Die Zusammenarbeit mit dem DLR war von Anfang an sehr stark, sie ist es auch heute noch“, freut sich Wichmann. Größer ist die Firma in den letzten 20 Jahren definitiv geworden. Waren es einst zwei Leute, so sind es mittlerweile fast 100. Aus dem Büro in der Innenstadt ist die Firma in einen eigenen Bürokomplex mit Fertigungshallen im Braunschweiger Gewerbegebiet Hansestraße



Blick in eine der Fertigungshallen: Zu den diversen Projekten, an denen hier gearbeitet wird, gehört auch eine Hubschrauberkabine in Faserverbundbauweise.



Das Fachgespräch mit den Mitarbeitern ist für den technischen Leiter Carsten Schöppinger Teil des Arbeitsalltags

Bild: Marek Kruszewski



Im Team am stärksten und von Anfang an dabei: INVENT-Geschäftsführer Henning Wichmann (links), Susanne Braun (Personalmanagement) und der technische Leiter Carsten Schöppinger

gezogen. Und die Serienfertigung von Bauteilen war nur der Anfang. Zum Portfolio von INVENT kamen immer mehr und neue Technologien, sodass das Unternehmen heute die gesamte Prozesskette zur Erstellung eines Faserverbundbauteils unter dem eigenen Dach hat. Von der Auslegung über die Anfertigung und Qualitätssicherung bis hin zur Montage machen Wichmann und seine Mitarbeiter alles selbst. Geblieben ist die Kooperation mit dem DLR. Noch heute arbeiten DLR und INVENT eng zusammen, sei es beim Austausch von Mitarbeitern, Aufträgen oder als Forschungspartner in den Luftfahrtforschungsprogrammen.

Der Nachwuchs kommt aus dem eigenen Haus

Hauptaugenmerk des Geschäftsführers Wichmann liegt auf den Aufträgen, dem Personal und den Banken. „Man muss regelmäßig schauen, wo der Markt der Firma ist und wo man hin will“, weiß er. „Aufträge müssen gesucht werden und wenn die Qualität stimmt, kommen die Firmen mit ihrem nächsten Auftrag wieder.“ Wichmann ist aber auch klar, dass ohne gutes, engagiertes und zufriedenes Personal nichts läuft. Er kennt alle seine Mitarbeiter mit Namen, sie sind ihm wichtig. „Wir gehen hier alle gut miteinander um. Die Leute werden für ihre gute Arbeit entsprechend bezahlt, Mindestlohn ist bei uns kein Thema.“ Er wolle Arbeitsplätze schaffen und nicht das große Geld scheffeln, erklärt er weiter. Die Bankkontakte sind natürlich dennoch wichtiger Bestandteil seiner Arbeit. Serienproduktion benötigt Geld, die Fertigung muss – je nach Auftrag – stetig erweitert werden. Deswegen steht 2017 auch erneut ein Umzug in größere Gebäude an.

Henning Wichmann hat seine Entscheidung nie bereut. War sein Traumberuf als Kind noch Chef, so wollte er das nach dem Studium eigentlich auf keinen Fall werden. Sein Job ist nicht stressfrei, trotzdem möchte er die Selbstständigkeit und die Unabhängigkeit heute nicht mehr missen. „Um vieles kümmere ich mich selber, das war von Anfang an so und ist bis heute so geblieben“. Als die Firma immer größer wurde, war es schwer, Arbeit auch mal abzugeben. Das musste Wichmann erst lernen. Trotzdem sind viele Aufgaben und

Verantwortlichkeiten bei ihm geblieben. Das Wissenschaftlerdasein hat er nie vermisst. „Ich war ja eigentlich nur als Student wissenschaftlich tätig, danach ging es ja gleich als Geschäftsführer weiter“. Wer Wichmann kennt, weiß, dass ihm die betriebswirtschaftliche Arbeit lieber ist als die Arbeit im Labor.

Für die nächsten vier Jahre sind alle Aufträge im Haus. 20 Ingenieure, 60 Facharbeiter, von denen 15 bei INVENT selbst ausgebildet wurden, sechs Azubis, sechs Diplomanden und acht Hilfswissenschaftler kümmern sich um deren Erfüllung. „Selbstverständlich hat man als Unternehmer mehr schlaflose Nächte“, sagt Wichmann. „Gerade als Dornier als Auftraggeber für die erste große Serienfertigung kurz nach dem Umzug in ein größeres Gebäude insolvent ging, war das schon ein Schreck.“ Es wurden aber immer wieder schnell neue und andere Auftraggeber gefunden. „Angst hatte ich nie. Wenn ein Tief kam, kam auch unmittelbar wieder ein Hoch“, sagt er dankbar. Heute ist INVENT nicht nur ein begehrter Zulieferer für die Luftfahrt, sondern auch für die Raumfahrt. Hier kommen mittlerweile die meisten Aufträge her. „Wir hatten von Anfang an immer mindestens ein Leuchtturmprojekt. Heute haben wir sogar fünf gleichzeitig“. Dass dies so ist, verdankt er unter anderem einem seiner früheren Leuchtturmprojekte, der Fertigstellung des Kernmoduls für die Marssonde ExoMars im Jahr 2014. Eins der aktuellen Projekte ist die komplette Fertigung einer Hubschrauberkabine für edm aerotec.

Zur Entspannung zieht es den Privatmenschen Wichmann ans Meer oder auf den Tennisplatz. Dort verbringt er seine Freizeit am liebsten. Mit dabei: seine Frau und seine beiden Töchter. Denn die Familie ist ihm genauso wichtig wie seine Firma. Auf die Frage, wo er seine Firma und sich in zehn Jahren sieht, sagt er voller Zuversicht: „Mich sehe ich der Rente näher als heute, die INVENT wird eines der führenden Unternehmen im Bau von CFK-Strukturen für Satelliten sein.“



Die einzigartige Anlage im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) in Augsburg verbindet zwei Produktionsprozesse miteinander: Bei der Produktion des Raketenboosters aus CFK können sowohl Faserbündel (Rovings) auf den Kern gewickelt (im Bild) als auch breitere Tapes abgelegt werden.

... trois, deux, un, feu ! Beim Start einer Rakete ins All sorgen Hilfsraketen, sogenannte Booster, für zusätzlichen Schub. Sie sind dabei hohen thermischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt. Dafür müssen sie stabil, aber gleichzeitig möglichst leicht sein. Ingenieure des DLR Augsburg haben einen automatisierten Produktionsprozess für die Herstellung eines Raketenmotorgehäuses aus carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK) entwickelt. Ziel des gemeinsamen Projekts mit der MT Aerospace AG ist es, das Gewicht sowie die Produktionskosten der Booster und damit die Startkosten zukünftiger Trägerraketen wie der Ariane 6 deutlich zu senken. Beim Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) des DLR in Augsburg wurde ein Demonstrator gefertigt, der in einem Berst-Test seine Qualitäten und damit auch die technologische Reife unter Beweis stellen soll.

100 SEKUNDEN ZUSÄTZLICHER SCHUB

DLR und MT Aerospace entwickeln einen Produktionsprozess für Raketenbooster aus carbonfaserverstärktem Kunststoff

Von Nicole Waibel

Kohlefasern und Kunststoff statt Stahl

Von der Empore der Technologiehalle des DLR-Zentrums für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) in Augsburg hat man einen guten Überblick über das Geschehen. Seit dem Einzug der inzwischen fast 50 Mitarbeiter im Mai 2013 hat sich hier eine Menge getan. In der Multifunktionalen Zelle (MFZ), deren sechs kooperierende Roboter von der Decke aus arbeiten und sich flexibel für unterschiedliche Projekte einsetzen lassen, herrscht Hochbetrieb. Viele Monate tüftelten Wissenschaftler und Techniker des DLR und der MT Aerospace AG hier gemeinsam an der Entwicklung eines CFK-Boosters und des entsprechenden Produktionsprozesses. „Unser Ziel ist es, einen effizienten und stabilen Produktionsprozess zur Industrialisierungsreife zu führen“, erklärt Prof. Dr.-Ing. Michael Kupke, Leiter des ZLP. Die Kosten für den Start einer Rakete seien entscheidend, um im Sektor der zivilen Trägersysteme im internationalen Wettbewerb bestehen zu können. „Ersetzt man die bisherigen Stahl-Booster, wie sie beispielsweise bei der Trägerrakete Ariane 5 im Einsatz sind, durch CFK-Booster, lassen sich die Leermasse verringern und die Nutzlast erhöhen. Mit der richtigen Technologie können wir gleichzeitig die Kosten reduzieren“, erläutert Kupke die Vorteile des Einsatzes von carbonfaserverstärktem Kunststoff.

Zwei Prozesse auf einer Anlage

Bei dem nun entwickelten Booster handelt es sich um einen Feststoffraketenmotor: Der Treibstoff liegt in fester Form vor, das Innere der Hilfsrakete wirkt als Brennkammer. „Damit der Booster nicht abbrennt, muss als Erstes eine Schicht auf den Kern aufgebracht werden, die zur thermischen Isolation zwischen Treibstoff und CFK-Gehäuse dient. Das geschieht derzeit noch manuell“, beschreibt Kupke die Vorbereitungen, die nötig sind, um den Wickelprozess zu automatisieren.

Im nächsten Schritt werden die Kohlenstofffasern abgelegt und fixiert. Dieser „Preforming“ genannte Prozess erfolgt auf einer einzigen Anlage. Diese besteht aus einem rotierenden Kern auf einer Drehvorrichtung und zwei Robotern. „Eine zentrale Innovation ist, dass wir zwei

grundsätzlich verschiedene Technologien in einer Anlage zusammenführen“, so Kupke. Kombiniert werden zwei Prozesse: Wickeln und Legen, „Dry-Fibre-Winding“ und „Dry-Fibre-Placement“. Wie „dry“ im englischen Namen schon verrät, werden trockene Fasern verwendet. Im Vergleich zum traditionellen Prepreg-Verfahren, bei dem mit Harz vorimprägniertes Gewebe auf eine mit Trennmittel beschichtete Form drapiert wird, sind diese noch nicht in Harz vorgetränkt.

Der Booster besteht aus drei Teilen, dem Druckkörper und den sogenannten Schürzen, breiten Ringen an den Enden des Druckkörpers, die dort etwas überstehen und zur Befestigung des Boosters an der Trägerrakete dienen. Sie müssen die gesamte Schubkraft des Boosters auf die Trägerrakete übertragen. Der Druckkörper entsteht durch Wickeln von Faserbündeln (Rovings) auf den sich drehenden, sechs Meter langen Kern. Der Roboter fährt dabei immer wieder von links nach rechts am Kern entlang und wieder zurück, hin und her, und wickelt kontinuierlich Reihe um Reihe feine schwarze Kohlenstoffaseroovings auf. Die Winkel, in denen gewickelt wird, sind dabei variabel und richten sich nach den im Booster wirkenden Belastungen.

Andrücken, heizen und schneiden

Beim Start der Rakete wirken sehr hohe Kräfte auf den Booster, bei der Verbrennung des Treibstoffs treten im Inneren sehr hohe Drücke auf. „Wichtig ist, dabei sehr genau das richtige Maß zu finden und die Wände nicht zu dick und damit zu schwer zu machen, aber dennoch die nötige Stabilität zu gewährleisten“, erklärt Kupke die Kunst des Leichtbaus. Die Schürzen entstehen durch das Ablegen von 50 Millimeter breiten Tapes aus Kohlefaser und werden zusätzlich durch einzelne Wickellagen verstärkt. Diese werden mittels einer thermoplastischen Bänderoberfläche, einer Andrückrolle und einer Infrarotheizung fixiert und automatisch geschnitten.

„Ist die Preform erstellt, erfolgt der Vakuumaufbau – derzeit größtenteils manuell“, erläutert Kupke den nächsten Schritt. Mit Hilfe des Infusionsverfahrens wird im Ofen das Harz infiltriert. Um sicherzustellen, dass das gesamte Bauteil gut mit dem speziell für den Prozess gewählten Harz durchtränkt wird, wurden auch die Rovings modifiziert. Die Drehvorrichtung verhindert durch Rotieren, dass sich

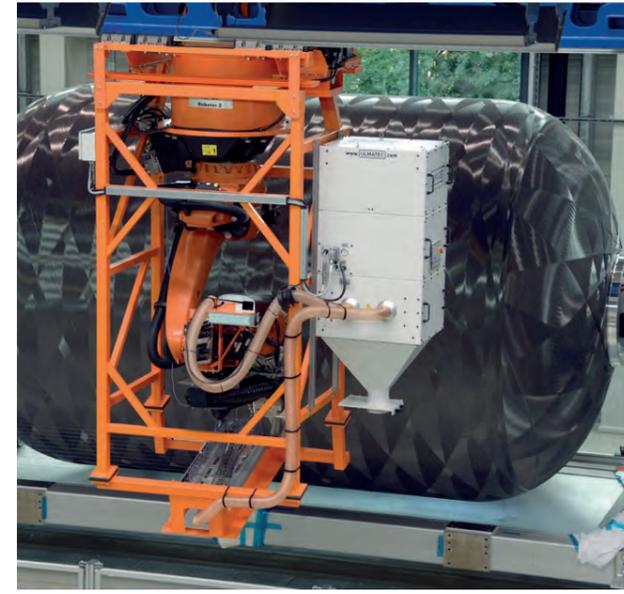
das während der Infiltration dünnflüssige Harz – der Schwerkraft folgend – im unteren Strukturbereich sammelt. Durch die Rotation werden die zur Verfügung stehenden Fließwege für das Harz optimal genutzt, bis das Harzsystem erstarrt und aushärtet.

Dieser neue Prozess erzielt zum einen eine hohe Materialstabilität und bietet zum anderen großes Potenzial, Kosten einzusparen. Im Vergleich zum klassischen Prepreg-Verfahren, bei dem Fasern verwendet werden, die bereits in Harz vorgetränkt sind, lassen sich die Kosten um 30 Prozent reduzieren. Trockene Fasern haben Vorteile bei den Materialkosten und in der Logistik, da keine Tiefkühlräume wie für Prepregs erforderlich sind. Beim hier verwendeten Infusionsverfahren erfolgen die Infiltration des Harzes und das Aushärten in einem Spezial-Ofen. Der Prozess kommt ohne kostenintensiven Autoklav aus, in dem Bauteile sonst unter hohem Druck ausgehärtet werden. Damit sinken auch die Investitionskosten.

Zerstörungsfreies Prüfen und ein Berst-Test

Sind solche Bauteile gefertigt, müssen sie umfassend geprüft werden. „Wir arbeiten mit luftgekoppeltem Ultraschall. Dieses Verfahren ist so ausgelegt, dass die Zugänglichkeit von einer Seite – der Außenseite des Bauteils, genügt. Stellt man die Ultraschallquelle und den Sensor schräg – werden von der Außenseite sogenannte Lambwellen im Bauteil angeregt. Diese zeigen eine hohe Sensitivität gegenüber Schäden und können ebenfalls von der Außenseite detektiert werden. Berührungsfrei und ohne zusätzliche Ankopplungsmedien wie Wasser oder Gel, das jeder von Arztbesuchen kennt“, erklärt Kupke.

Geprüft werden solche Bauteile automatisiert. Roboter führen die Prüfsensoren und ziehen dabei rasch ihre Bahnen: Die Geschwindigkeit beträgt bis zu 230 Millimeter pro Sekunde. Die resultierenden Ultraschallkarten bilden das geprüfte Bauteil geometrisch korrekt zwei- und dreidimensional ab. Das gesamte Prüfkonzept ist auf Flexibilität, hohe Geschwindigkeit und Reproduzierbarkeit ausgelegt und kann den ständig steigenden Anforderungen an die Qualitätssicherung und Digitalisierung in der Industrie gerecht werden. „Wir stoßen hier mit luftgekoppeltem Ultraschall in Bereiche vor, die dem Verfahren noch vor Kurzem nicht zugetraut wurden“, so Kupke.



Mit einem Durchmesser von 3,5 Metern ist das Bauteil repräsentativ für Booster der zukünftigen Ariane 6



Ein Roboter wickelt die trockenen Fasern auf den Druckkörper. In der Entwicklungsphase prüft noch der Mensch den ordnungsgemäßen Ablauf des Prozesses.



Zwei Kollegen von MT Aerospace besprechen die Messergebnisse. Über Monitore sind sie jederzeit im Bilde darüber, wie der Wickelprozess für das innovative Verfahren zur Boosterherstellung verläuft.



Prof. Dr.-Ing. Kupke (rechts) im Gespräch mit Mona Eckardt und Dr. rer. nat. Roland Glück. Mit Hilfe einer Klinge (Bildmitte) werden die Kohlenstoffasern geschnitten – eine der vielen technischen Herausforderungen bei der automatisierten Booster-Produktion.

DIE WELTRAUMRAKETE ARIANE 6

Der Bau der Ariane 6 wurde im Dezember 2014 auf der ESA-Ministerratskonferenz in Luxemburg beschlossen. Flexibler in der Nutzung als ihr Vorgängermodell, die Ariane 5, soll die Ariane 6 Nutzlasten zwischen fünf und zehn Tonnen ins All bringen. Vorgesehen sind zwei Varianten, die nach dem Baukastenprinzip produziert werden: die kleinere, leichtere Ariane 62 mit zwei Boostern für Starts mit einem Satelliten (institutioneller Bereich) und die größere, schwerere Ariane 64 mit vier Boostern für Starts mit zwei Satelliten (kommerzieller Bereich).

Die Ariane 6 soll Europa im Sektor der zivilen Trägersysteme wettbewerbsfähiger und flexibler machen und einen unabhängigen Zugang Europas zum All sichern. Erstmals starten soll sie im Jahr 2020.



Bild: ESA-David Ducros, 2016

Künstlerische Darstellung der Ariane 6 mit vier Boostern (A64)

Im Mai 2016 konnte der Druckkörper erfolgreich fertiggestellt werden, im August 2016 folgten die Schürzen. Die Bauteile werden bei der MT Aerospace AG bearbeitet und gefügt. Anschließend wird das Bauteil ebenfalls durch die MT Aerospace AG einem weiteren Struktur- und Berst-Test unterzogen.

Booster repräsentativ für Ariane 6

Das fertige Demonstratorbauteil hat einen Durchmesser von dreieinhalb Metern und eine Gesamtlänge von sechs Metern. Damit ist es repräsentativ für zukünftige Booster der Ariane 6. „Deren Booster werden zwar knapp doppelt so lang sein, aber aufgrund der vergleichbaren Lastflüsse und adäquaten technologischen Herausforderungen können wir einen Teil des mittleren Stücks weglassen. Dadurch sparen wir Zeit und Geld in der Entwicklung und haben dennoch ein repräsentatives Bauteil zur Absicherung der technologischen Risiken“, erklärt Kupke.

Und was passiert nach dem Start mit den Boostern? Sind die Booster nach etwa 100 Sekunden ausgebrannt, werden sie abgetrennt und stürzen ins Meer. Sie können geborgen und untersucht werden, eine Wiederverwendung ist aber nicht fest vorgesehen.

„Im Vergleich zur Entwicklungs- und Produktionsdauer wird der Booster also einen recht kurzen, aber dafür umso kraftvolleren Auftritt haben ...“, resümiert Professor Michael Kupke abschließend.

Nicole Waibel ist im Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) des DLR in Augsburg für Öffentlichkeitsarbeit verantwortlich.



Prof. Dr. Heinz Voggenreiter

AUS AUGSBURG INS ALL

DLR-Institutsdirektor Prof. Dr. Heinz Voggenreiter über die CFK-Kompetenz in Augsburg, die Besonderheiten des Zentrums für Leichtbauproduktionstechnologie (ZLP) und die Zusammenarbeit mit der Industrie

Premium AEROTEC, MT Aerospace, Airbus Group – Herr Voggenreiter, was macht das DLR-ZLP zum attraktiven Kooperationspartner für so viele namhafte Unternehmen aus der Luft- und Raumfahrtbranche?

Der Weg von Innovationen in die industrielle Umsetzung ist zeit- und kostenintensiv und oft risikoreich. Unsere Aufgabe ist, unsere Partner aus der Industrie dabei zu unterstützen, Zeit, Kosten und Risiken bis zur Produktionsreife zu reduzieren. Bei uns am ZLP finden sie eine perfekt auf die Serienproduktion abgestimmte Entwicklungs-umgebung, in der sämtliche Prozessschritte untersucht und validiert werden können. Auf einer einzigartigen Anlage mit kooperierenden Robotern entwickeln und erproben wir gemeinsam bedarfsorientiert Produktionsprozesse. So finden Innovationen leichter ihren Weg in die industrielle Anwendung.

Gemeinsam mit MT Aerospace entwickeln die Wissenschaftler im ZLP einen automatisierten Produktionsprozess für Raketenbooster aus CFK. Wie sieht diese Zusammenarbeit konkret aus?

Wir arbeiten bereits seit vielen Jahren gemeinsam mit der MT Aerospace AG und anderen Partnern an der Entwicklung von Faserverbundtechnologien zur Produktion von Raumfahrtstrukturen. 2013 begann ein schrittweises Entwicklungs- und Testprogramm im kleinen Maßstab. Im Rahmen einer Prozessanalyse haben wir damals schon etablierte und innovative Fertigungstechnologien anhand technischer und kommerzieller Kriterien miteinander verglichen. 2014 fertigten wir Demonstratoren im Maßstab 1 : 4. Seit 2015 nutzen wir dafür Demonstratoren in Originalgröße. Wichtig ist, dass am Ende MT Aerospace fähig ist, eine Produktionslinie in Augsburg aufzubauen und zu betreiben. Um den Terminplan zu straffen und das Risiko zu minimieren, gibt es dafür eine Arbeitsteilung mit MT Aerospace: Sie übernimmt im Auftrag der ESA das Engineering und die Fertigung der Demonstratoren und Testkörper, das DLR entwickelt im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie den automatisierten Produktionsprozess sowie die Produktionsmittel und bringt beides in die Technologieentwicklung ein. Die großen Demonstratoren und Testkörper wurden und werden gemeinsam mit MT Aerospace beim DLR produziert. Im Mai 2016 wurde der mehrere Tonnen schwere Druckkörper von MT Aerospace beim DLR Augsburg erfolgreich produziert, im August 2016 die zugehörigen Schürzen.

Wie wichtig ist das für die Ariane 6 und für Augsburg?

Wir haben einen automatisierten Produktionsprozess entwickelt, der großes Potenzial hat, Kosten einzusparen, eine hohe Stabilität gewährleistet und gleichzeitig ein leistungsfähiges Design ermöglicht. Damit tragen wir wesentlich zur Entwicklung der zukünftigen Ariane 6 bei. Wir haben es uns gemeinsam zum Ziel gesetzt, die technologische Reife und Industrialisierungsfähigkeit der automatisierten Faserverbundtechnologie zu demonstrieren und damit die Produktion der CFK-Booster nach Augsburg zu holen. Mit diesem bayerischen Bauanteil an der Ariane 6 wird die führende Rolle des Standorts Augsburg in der CFK-Technologie weiter ausgebaut. Das macht die Region auch attraktiv für technische Nachwuchskräfte.

MESSEN UND VERANSTALTUNGEN



Bild: Space Foundation

SPACE SYMPOSIUM IN COLORADO SPRINGS

3. bis 6. April 2017

Um die Zukunft der Raumfahrt geht es auf dem Space Symposium in Colorado Springs/USA. Im Ausstellungszentrum des Space Symposiums zeigen 160 Aussteller, darunter auch das DLR, Raumfahrtinnovationen – von der Nanotechnologie bis hin zum Raumfahrzeug in Originalgröße. Seit 1984 führt die Veranstaltung Experten aus dem Raumfahrtsektor der ganzen Welt zusammen. Das Space Symposium ist weithin bekannt als wichtigstes Forum für Raumfahrtpolitik und -programm in den Vereinigten Staaten. Die Teilnehmer kommen aus allen Bereichen des Raumfahrtsektors und den meisten Raumfahrtationen.

spacesymposium.org



DLR-BAUTEILE-KONFERENZ 2017

4. und 5. April 2017

Die DLR-Bauteilekonferenz ist Informations- und Austauschplattform für Experten im Bereich der elektrischen, elektronischen und elektromechanischen (EEE) Bauteile für Raumfahrtanwendungen. Die in diesem Jahr bei der Jena-Optronic GmbH stattfindende Veranstaltung dient dazu, den zukünftigen Bedarf an raumfahrttauglichen Bauteilen und Bauteiltypen zu ermitteln. Dies ist Grundlage für das nationale Technologieentwicklungs- und Qualifikationsprogramm.

DLR.de/qp/btk



Bild: HANNOVER MESSE © 2017 Deutsche Messe AG

HANNOVER MESSE

24. bis 28. April 2017

Die Industriemesse in Hannover gilt als Leitmesse im Bereich der Industrie 4.0 und Energie. Das DLR zeigt im Rahmen des Metathemas „Energie“ Exponate seiner aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Auch das Zentrale Personalmarketing des DLR ist vor Ort. Unter dem Dach der HANNOVER MESSE versammeln sich zehn internationale Leitmessen aus verschiedenen Industrie-Sektoren. Aktuelle Themen werden in Foren und direkt an den Ausstellerständen branchenübergreifend diskutiert.

bit.ly/2luFCr9



4SMARTS® – SYMPOSIUM FÜR SMARTE STRUKTUREN UND SYSTEME

21. bis 22. Juni 2017

Im Fokus steht das interdisziplinäre Themenfeld der aktiven, intelligenten und adaptiven – kurz: smarten – Strukturen und Systeme. Ausgehend vom Material über die Auslegung von Bauteilen und die Integration von Funktionen bis hin zur Absicherung der Zuverlässigkeit komplexer Systeme umfasst das Symposium alle relevanten Technologiefelder. Neben den klassischen Anwendungen der aktiven Schwingungs-, Schall- und Gestaltkontrolle sind Anwendungen wie Structural Health Monitoring (SHM) oder Energy Harvesting Thema. Die zweite 4SMARTS® soll den Transfer neuer Ideen von der Forschung in die industrielle Anwendung im Bereich der Mechatronik und Adaptronik weiter vorantreiben und als Keimzelle für Kooperationen und Innovationen im Themenfeld der smarten Strukturen und Systeme wachsen.

<https://4smarts2017.inventum.de/home/>



DIE LANGE NACHT DER WISSENSCHAFTEN 2017

24. Juni 2017, 17 Uhr, bis 25. Juni 2017, 0 Uhr

Am 24. Juni 2017 öffnet das DLR wieder die Tür zur Langen Nacht der Wissenschaften in Berlin. Ein umfangreiches Programm für Groß und Klein wird auch dieses Mal wissenshungrige Nachtschwärmer einen Abend lang in die Forschungswelt des DLR in Berlin entführen, um zu zeigen, wie man Wissen für morgen schafft. Wie bewegen wir uns in Zukunft? Was ist los im All? Was gibt es Neues zu entdecken und wie geht es unserer Erde? Ob durch interessante Vorträge, spektakuläre Shows oder spannende Experimente, auf all diese und andere Fragen geben die Wissenschaftler der DLR-Institute und Forschungseinrichtungen in Berlin-Adlershof Antworten. Durch eine Vielzahl abwechslungsreicher Programmpunkte kommen erwachsene Neugierige, vor allem aber auch die kleinen Forscher im DLR_School_Lab auf ihre Kosten.

s.dlr.de/7793



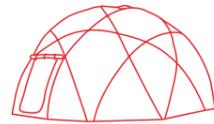
DLR BREMEN BEIM OPEN CAMPUS

17. Juni 2017, 14 bis 19 Uhr

Das DLR Bremen präsentiert seine Forschungen im Rahmen des OPEN CAMPUS. In Ausstellern auf dem Campus werden Exponate wie Satelliten und ein Lagetisch gezeigt, auf dem der Schiffsverkehr zu sehen ist. Außerdem gibt es nach Anmeldung Führungen durch das DLR-Institut für Raumfahrtssysteme und ein Programm mit Schüler-Experimenten im DLR_School_Lab.

s.dlr.de/1423

RUSSSPUREN IM SCHNEE



Mit Schaufel und Brecheisen am Union Glacier: Messkampagne zum Einfluss von Black Carbon auf das Klima

Von Bernadette Jung

Auf unserer Weltkarte finden sich auch heute, im 21. Jahrhundert, noch weiße Flecken – im doppelten Wortsinn: kaum erforscht und augenscheinlich weiß. Wissenschaftlich belastbare Daten sind begehrt, vor allem solche, die vor Ort gewonnen wurden. Die widrigen Messbedingungen machen In-situ-Daten der Polarregionen besonders wertvoll. Für die Südpolarregion gilt das im Besonderen. Aufgrund der enormen Abgeschiedenheit und der extremen Wetterverhältnisse können Menschen und Technologien nicht beliebig weit in den antarktischen Kontinent vordringen. Die Landschaft aus Schnee und Eis birgt daher noch viele Geheimnisse. Doch trotz der scheinbaren Unberührtheit zeichnet sich dort bereits unser ökologischer Fußabdruck ab. Wie deutlich und mit welchen Konsequenzen, das sind Fragen, denen Polarforscher mit zunehmendem Engagement nachgehen. Denn auf der Erde ist kaum ein Gebiet so empfindlich und dabei so entscheidend für das globale Klima- und Ökosystem wie die Antarktis.

In einer geschwungenen Linie teilt das Transantarktische Gebirge den eisigen Kontinent in zwei ungleiche Hälften. Während die Ostantarktis eine schier unendliche Ebene in Form eines geschlossenen, polaren Eispanzers bildet und Kälterekorde aufstellt, ragt auf der anderen Seite die Antarktische Halbinsel weit in das Südpolarmeer hinein. Sie ist geprägt durch ein milderes Küstenklima und raue Gebirgswelten. Am südlichen Ende der Halbinsel, inmitten des mächtigen Ellsworthgebirges, behauptet sich der Union Glacier. Mit einer Kulisse, die Forscher und Abenteurer gleichermaßen beeindruckt. Mehr als ein halbes Dutzend Gletscher vereinen sich hier zwischen schroffen Bergspitzen zu einem ausgedehnten Gletscherstrom, der nach etwa 65 Kilometern in das mächtige Filchner-Ronne-Eisschelf übergeht.

Am breiten Auslauf des Gletschers dann zaghaft Zeichen von Zivilisation: Hier sind bei 79,76 Grad Süd und 82,87 Grad West ein privates Basislager und ein chilenisches Forschungscamp errichtet worden. Sie bilden einen wichtigen Anknüpf- und Ausgangspunkt für Expeditionen sowohl von Forschern als auch von Abenteurern. Denn von hier aus geht es zur höchsten Erhebung der Antarktis, dem knapp 5.000 Meter hohen Mount Vinson, zum Mount Sidley, dem höchsten Vulkan der Antarktis oder ins Reich der Kaiserpinguine. Der Union Glacier markiert für manchen Abenteurer auch eine Zwischentappe auf dem Weg zum Südpol, der nach rund 1.100 weiteren Kilometern erreicht wird.

POLARFORSCHUNG AM EOC

Die Polarforschung am Earth Observation Center (EOC) wird in der Polaren Arbeitsgruppe zusammengeführt und ist jüngst im Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum durch die Gründung des Teams „Polare und kalte Regionen“ in der Abteilung Landoberfläche weiter profiliert worden.



Diplom-Geograf Paul Wachter untersucht in seiner Doktorarbeit den Zusammenhang von Temperaturtrends und der atmosphärischen Zirkulation im Gebiet der Antarktischen Halbinsel

Schwarz auf Weiß

Während der antarktischen Sommermonate öffnen die Camps ihre Zelte – dann wird es betriebsam in der sonst absolut menschenleeren Region. Das durfte Paul Wachter von der DLR-Nachwuchsgruppe „Antarktis“ des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) im November 2016 miterleben. Der Wissenschaftler unterstützte am Union Glacier eine Messkampagne der Universidad de Santiago de Chile (USACH). Ein seltener hochpolarer Einsatz, der auf Einladung der USACH zustande kam und von weiteren chilenischen Partnern vor Ort unterstützt wurde. Die Kontakte zu Kollegen an der USACH wurden dabei in den letzten Jahren mit Hilfe von Mitteln für die „Projektförderung in der internationalen Zusammenarbeit“ (PIZ) des DLR aufgebaut.

Elf Tage Messkampagne in der Antarktis bedeuten, einen Datenschatz für viele Forschungsjahre zu heben. Denn spezifische In-situ-Datensätze zur Beantwortung bestimmter Fragestellungen sind bisher nur sehr begrenzt verfügbar. Der logistische Aufwand – selbst im Vergleich zur Arktis – ist so hoch, dass in der Antarktis nur wenige Forschungsstationen betrieben und kaum Messkampagnen durchgeführt werden. Ziel des Langzeitprojekts am Union Glacier ist es, den klimarelevanten Einfluss von Ruß, sogenanntem „Black Carbon“, sowie die Folgen des Klimawandels für die optischen Eigenschaften von Schnee genauer zu bestimmen.

Schwarzer Kohlenstoff, ausgestoßen durch Industrie und Verkehr, gelangt in die Atmosphäre und wird sprichwörtlich in alle Winde verstreut – bis auf die Schneefelder der entlegenen Antarktis. Mit bloßem Auge ist die Verschmutzung nicht zu erkennen. Doch selbst in geringen Konzentrationen können die dunklen Partikel den Effekt haben, dass der Schnee das Sonnenlicht stärker absorbiert und damit in geringerem Maße reflektiert. Mit einer Gesamtfläche von etwa 13,5 Millionen Quadratkilometern ist die Antarktis rund anderthalbmal so groß wie Europa – viel Weiß, das vielleicht schwärzer ist, als es scheint. Die Polregionen mit ihrem starken Rückstrahlvermögen stellen einen wesentlichen Faktor im globalen Strahlungshaushalt dar. Wie sich nun die menschengemachte Veränderung des antarktischen Schnee- und Eispansers auf das Weltklima auswirkt, wollen die Wissenschaftler am Union Glacier mit Hilfe gezielter Messungen und Entnahme von Schneeproben herausfinden.

Landung auf blankem Eis

Zunächst steht Paul Wachter aber eine langwierige Anreise bevor. Von München aus geht es zuerst zur Partneruniversität nach Santiago de Chile. An der USACH trifft er seine südamerikanischen Kollegen zu letzten Vorbereitungen: Einweisung in die einzelnen Messinstrumente und Kalibrierung der Systeme. In der antarktischen Kälte muss später jeder Handgriff sitzen. „Unser Ziel ist es, künftig eigene Messkampagnen in der Antarktis durchzuführen. Die Zusammenarbeit mit Chile

ermöglicht es uns, die speziellen logistischen Anforderungen vor Ort kennenzulernen und unser internationales Forschungsnetzwerk zu erweitern“, erklärt Dr. Kathrin Höppner, Leiterin des Teams „Polare und kalte Regionen“ im Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum. Wachters Teilnahme an der chilenischen Messkampagne gewährt den Polarexperten aus Oberpfaffenhofen nun auch Einblicke in die Aktivitäten am Union Glacier. Für den jungen Wissenschaftler geht es also acht Tage später weiter – nach Punta Arenas, das Tor zur Antarktis und letzter Zwischenstopp auf dem Weg zum Gletscher.

In der südlichsten Großstadt der Welt erwarten die Wissenschaftler am chilenischen Antarktisinstitut (Instituto Antártico Chileno, INACH) noch die wichtigsten Regeln und Gebote für einen sicheren und verantwortungsvollen Aufenthalt in der Antarktis. Nichts darf auf dem weißen Kontinent zurückgelassen werden. Jedwede Verschmutzung der Umwelt – und sei es nur das Entleeren einer Wasserflasche – ist tadellos zu vermeiden. Außerdem werden am INACH die letzten benötigten Ausrüstungsgegenstände ausgeliehen und für den Transport dem chilenischen Militär, Camp-Betreiber und eigentlichem Gastgeber vor Ort, übergeben. Nach vier weiteren Tagen des Wartens ist es so weit: Ein Transportflugzeug bringt den vierköpfigen Forschertrupp, zusammen mit 20 Angehörigen des chilenischen Militärs, von Punta Arenas in den eisigen Süden. Fünfeinhalb Stunden später steuert die C-130 Hercules die „Blaueis“-Landebahn am Union Glacier an – eine Fläche aus blankem Eis, etwa drei Kilometer lang und 100 Meter breit. Gefrorenes Wasser in seiner reinsten Form. „Als ich auf der Längsbank dieser Propellermaschine hin- und hergerüttelt wurde und durch das Fenster die blaue Eisfläche sah, da wusste ich: ‚Jetzt bist Du wirklich an einem anderen Ort angekommen‘“, erzählt der 31-Jährige.

Keine Zeit zum Frieren

Nach der rauen Landung heißt es für alle: anpacken. Keine Zeit, sich zu akklimatisieren. Das vom chilenischen Militär betriebene Camp lag die vergangenen Wintermonate still – jetzt muss erst einmal der Eingang freigeschaufelt werden, der sich unter einer meterdicken Schneeschicht versteckt. So vergehen die ersten beiden Tage am Union Glacier mit Schneeschippen und dem Aufbau der zusätzlichen Arbeitszelte bei minus 20 Grad Celsius klirrender Kälte. „Wenn ich

DIE ANTARKTIS-STATION DES DLR

Das DLR betreibt eine eigene Antarktisstation: die German Antarctic Receiving Station GARS O'Higgins auf der Antarktischen Halbinsel. Sie dient in erster Linie dem Empfang von satellitengestützten Erdbbeobachtungsdaten und ist mit einem entsprechend antarktis-tauglichen Neun-Meter-Antennensystem ausgestattet. Im November 2016 feierte die Station ihr 25-jähriges Jubiläum (DLR-Magazin 152 vom November 2016).



Auch weit nach Mitternacht steht die Sonne hell über dem weißen Messzelt des chilenischen Union-Glacier-Camps



Die bunten Zelte dienen den Wissenschaftlern als Schlafunterkünfte. Mit den roten Containern im Hintergrund, die auf Schlitten stehen, wurde sogar schon eine wissenschaftliche Expeditionsfahrt vom Union Glacier bis zum Südpol durchgeführt.

2,4 Meter tief ist das Schneeprofil, das freigelegt wird, um Proben daraus zu entnehmen und sie für den Transport nach Chile zu verpacken. Ob Rußrückstände tatsächlich in einer so hohen Konzentration vorhanden sind, dass sie das Reflexionsverhalten des Schnees nachhaltig verändern und auf diese Weise das Klima beeinflussen können, werden erst die Laboruntersuchungen der Proben zeigen.



mir jetzt vorstelle, unter welchen Bedingungen die Expeditionen in früheren Zeiten durchgeführt wurden – unfassbar, was die ersten Polarforscher geleistet haben“, wirft Wachter ein. In seinem frisch errichteten „Büro“ kann sich der Antarktis-Neuling alsbald über plus 15 Grad Innentemperatur freuen. Bereits am zweiten Tag liefert ein Generator Strom, sodass die Wissenschaftler mit dem Aufbau der Messinstrumente beginnen können.

Ein Pyranometer und ein Spektrometer werden einen Meter über dem weißen Grund montiert. Ihre Sensoren messen rund um die Uhr die dort einfallende und reflektierte Sonneneinstrahlung. Aus dem Verhältnis zwischen diesen beiden Werten können die Wissenschaftler die „Albedo“ berechnen – einen Index zum Rückstreuvermögen von beliebigen Oberflächen, in diesem Fall die Albedo des antarktischen Schnees. Die weißen Polkappen der Erde reflektieren Sonnenstrahlung sehr effektiv in die Atmosphäre und wirken im globalen Klimasystem wie ein Kühlaggregat. Die In-situ-Messungen liefern unverzichtbare Datensätze für die Beschreibung der Albedo im Tagesverlauf und bei unterschiedlichen meteorologischen Konstellationen. Die Ergebnisse sind wichtige Eingangsgrößen für die globale Klimamodellierung. Das ist den Wissenschaftlern jedoch nicht genug. Im nächsten Schritt sollen zusätzlich Schneeproben entnommen und ihre Inhaltsstoffe im Labor analysiert werden. Das bedeutet: Schneeschichten, mal wieder. Pro Jahr fallen am Union Glacier etwa 80 Zentimeter Neuschnee. Um die Entwicklung mehrerer Jahre verfolgen zu können, müssen die Feldforscher also entsprechend tief schaufeln. Zwei Tage lang graben sich Wachter und ein Kollege abwechselnd durch den Schneemantel des Gletschers – eine rund 2,40 Meter tiefe und drei mal drei Meter breite Grube entsteht, inklusive Treppe. „Wir

waren beide blutige Anfänger, aber das Anlegen von Schneestufen haben wir schnell gelernt“, lacht der Doktorand rückblickend. Alle 40 Zentimeter entnimmt das Team eine Probe. Teilweise ist die Schneedecke so fest, dass die Forscher sich mit dem Brechisen durcharbeiten müssen. Schweißtreibend. Als Kälteschutz reicht dann sogar manchmal der Fleecepulli.

Camp-Alltag und ein Prestigeduell

Der Sommer der Antarktischen Halbinsel hält, was er verspricht, mit Höchsttemperaturen im einstelligen Minusbereich und weitgehend messfreundlicher Witterung. Nur die unentwegt scheinende Sonne des Polartags bringt Paul Wachter aus dem Rhythmus: „Man ist da ganz anders wach und geneigt, ständig weiterzuarbeiten“. Elf Tage ohne irgendeine Lampe anzuschalten. Der Gletscher und das umliegende Ellsworthgebirge präsentieren zu jeder Zeit ihr spektakuläres Panorama. Der Takt im Camp wird im Wesentlichen durch die gemeinsamen Mahlzeiten vorgegeben – einem einfachen Frühstück folgen zwei kalorienreiche Hauptmahlzeiten. Ein hauptamtlicher Koch der chilenischen Marine leistet auf einem kleinen Klapptisch, der als Arbeitsplatte dient, und einem Gasherdd vorzügliche Arbeit. Zwischen den Mahlzeiten versorgen sich die Camp-Bewohner zusätzlich mit Schokolade und anderen Süßigkeiten. Während der polaren Feldforschung können nicht genug Kalorien konsumiert werden!

Mit dem benachbarten Camp des Unternehmens Antarctic Logistics and Expeditions (ALE) pflegt das chilenische Forschungscamp eine freundschaftliche Beziehung. An lebensfeindlichen Orten wie der Antarktis ist man auf gegenseitige Unterstützung angewiesen. Doch

an einem bewölkten Donnerstag in der Adventszeit weichen für 60 Minuten scheinbar alle Freundschaften und Sympathien. Das Fußballspiel des Jahres steht auf dem Programm: ALE gegen EPCCGU (Estación Polar Científica Conjunta Glaciar Unión) – das antarktische Derby schlechthin. Ein Prestigeduell! Ist sonst von „englischem Rasen“ und „Flutlichtstimmung“ die Rede, ebnet hier ein Pistenbulldozer das Spielfeld. Flutlichter? Während des Polartags überflüssig. Ein hitziges, aber über weite Strecken faires Spiel endet schließlich 8 : 2 für das chilenische Team, dem auch Wachter angehört. Die sportliche Vormachtstellung auf dem Gletscher ist für die nächsten zwölf Monate wieder klar geregelt. Der Triumph und die Verteidigung des Union-Glacier-Cups wird beim Emporstrecken des Pokals in den antarktischen Himmel von einem inbrünstigen „Chi-Chi-Chi, le-le-le: Viva Chile!“ begleitet. Anschließend tauen bei Glühwein und frischen Empanadas die unterkühlten Gliedmaßen und die alten Freundschaften wieder auf.

Viel Zeit bleibt dann auch nicht mehr – Anfang Dezember geht die elftägige Kampagne am Union Glacier zu Ende. Mit Abschluss der Messreihe können Wachter und seine chilenischen Kollegen sich dann aber nicht nur über einen sportlichen Erfolg freuen. Die neuen Daten und Schneeproben werden den Polarforschern helfen, der Antarktis ihr verrußtes Geheimnis zu entlocken und dessen Auswirkungen für das globale Klima genauer zu bestimmen. Für die Forscher von Santiago bis Oberpfaffenhofen geht die Arbeit damit in gemauerten Laboren und warmen Büros weiter. Doch zuerst gilt es, die mitgebrachten Zelte und Messinstrumente wieder abzubauen, für den holprigen Rücktransport bereit zu machen und das zur Heimat gewordene Camp vor dem nächsten antarktischen Winter zu sichern – ohne Spuren zu hinterlassen.



Begehrte Trophäe: Wenn in Deutschland der Fußball in die Winterpause geht, findet in der Antarktis-Station das Spiel der Spiele statt. Der aus Stahlseilen, Muttern und Unterlegscheiben zusammengesetzte Union-Glacier-Cup ist unter den Bewohnern der beiden Gletscher-Camps hart umkämpft. Den Holzsockel zieren die bisherigen siegreichen Mannschaften.

DIE MESSTECHNIK

Mit einem Pyranometer und einem Doppelspektrometer-Aufbau werden hochgenaue Messungen der Schneealbedo durchgeführt. Hierbei kann das spektrale sowie das integrierte Reflexionsvermögen in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussgrößen wie Wolkenbedeckung, Sonnenstand und Temperatur untersucht werden.

Der reflektierte Anteil des Sonnenlichts – die Albedo – bestimmt, wie viel Energie an der Oberfläche zu deren Erwärmung zur Verfügung steht.



Nach zehn Tagen Kampagne werden Material und Instrumente wieder auf zwei Transportmaschinen C-130 „Hercules“ aufgeteilt. Sie fliegen die Fracht zusammen mit den Expeditionsteilnehmern zurück nach Punta Arenas.

Gleißend hell glitzert die weite Ebene des Union Glacier an einem sonnigen Tag. Tatsächlich wirkt die Antarktis im globalen Klimasystem wie ein sehr effektiver Sonnenspiegel.



GRÜN STATT GRAU



Informationssystem auf der Basis von Fernerkundungsdaten hilft, Dächer zu begrünen

Von Elisabeth Schreier

Das Grünflächen in Städten einen hohen Stellenwert haben, ist schon lange klar. Für die Stadtbewohner sind sie ein Ort des Rückzugs vor der Hektik der Stadt und Stätte zahlreicher Freizeitbeschäftigungen. Für die Umweltbilanz einer Stadt sind sie zudem essenzieller Bestandteil geworden, da sie ökologische Nischen bieten, die Luft filtern, Wasser zurückhalten und das Klima positiv beeinflussen. Doch gerade im dichten Baubestand gibt es kaum mehr Raum, um ausreichend Grünanlagen anzulegen. Wo also solche Grünflächen schaffen? Eine Möglichkeit bieten Dächer. Viele Städte und Gemeinden weisen einen hohen Bestand an flachen Dächern auf. Sie werden aber bisher nur sporadisch genutzt. Doch wie viele Flachdächer gibt es in deutschen Städten und welche davon sind bereits begrünt oder ließen sich für eine entsprechende Nutzung erschließen? Diese Fragen zu beantworten und das ungenutzte Potenzial auf Deutschlands Dächern in Zukunft als grüne Lunge der Städte zu nutzen, dafür setzt sich schon seit Jahren der Deutsche Dachgärtner Verband e.V. (DDV) ein. Zusammen mit dem DLR hat der DDV nun eine Methode entwickelt, um Dächer mit bereits bestehender Bepflanzung sowie solche, die für eine Begrünung in Frage kommen, zu kartieren.

Die Idee zu einem gemeinsamen Projekt entstand auf einer Konferenz, bei der Mitarbeiter des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) des DLR Bilder präsentierten, die unter anderem städtische Vegetation darstellten. Dabei wurden jedoch nicht nur die normalen Grünflächen erfasst, sondern auch die Bepflanzungen von Dächern. Diese Information ist für viele Kommunen von großer Bedeutung, denn die genaue Anzahl von begrüntem Dächern ist in den meisten Gemeinden nicht bekannt. Eine Wissenslücke, welche die DLR-Wissenschaftler Dr. Thomas Esch und Julian Zeidler mit ihren Geoinformationsprodukten schließen können. Deshalb entwickelten sie in enger Zusammenarbeit mit dem Dachgärtnerverband unter dem Projektnamen „Fernerkundliche Inventarisierung und Potenzialanalyse von Dachbegrünung“ eine Softwarelösung. Mit ihr lassen sich die bestehenden Gründächer kartieren und mögliche Flächen für zusätzliches Dachgrün aufzeigen.

Ausgezeichnet als „Gründach-Pioniere“

Das Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) als eines ihrer innovativen Forschungsvorhaben für ressourcenschonendes und energieeffizientes Bauen gefördert und



Wohnhäuser werden immer öfter mit Flachdächern gebaut. So lassen sich verloren gegangene Vegetationsflächen zumindest teilweise wieder schaffen.

Bild: Deutscher Dachgärtner Verband

darüber hinaus im Zuge der „Woche der Umwelt 2016“ im Park vom Schloss Bellevue vorgestellt. Bereits 2015 war das Projekt im Rahmen des 4. Internationalen Gründach-Kongresses in Istanbul mit dem „Green Roof Leadership Award“ in der Kategorie „Gründach-Pioniere“ ausgezeichnet worden. Zu den weiteren Kooperationspartnern in dem Pilotvorhaben gehören die Städte Hamburg, Karlsruhe, Stuttgart, München und Nürtingen sowie die HafenCity Universität Hamburg, die Firma ZinCo GmbH, die Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz und das Geoinformationsunternehmen EFTAS.

Für die Entwicklung des Verfahrens stellten die Partnerstädte Luftbildaufnahmen sowie Geodaten zum Gebäudebestand zur Verfügung. Thomas Esch und Julian Zeidler wählten für ihre Entwicklung eine Kombination aus Infrarot-Luftbildern, Gebäudekatasterdaten und digitalen Gebäudemodellen. Diese Informationen liegen bei den Kommunen vor und müssen nicht erst aufwändig beschafft werden. Das für den Menschen nicht sichtbare Infrarot erlaubt es, Vegetation besser von ähnlich farbigen Flächen zu unterscheiden. Die Wissenschaftler nutzen den Rot- und Infrarot-Kanal der Luftbildaufnahmen, um den NDVI, den Normalized Differenced Vegetation Index, zu berechnen. In ihm hebt sich die vitale Vegetation deutlich vom leblosen Untergrund ab.

Das von den beiden DLR-Wissenschaftlern entwickelte Informationssystem identifiziert anhand der Luftbild- und Katasterdaten begrünte Dachflächen und stellt diese zur Qualitätskontrolle bereit. Zugleich kann durch den Vegetationsindex auch auf die Art und Intensität der Dachbepflanzung geschlossen werden.

Identifikation geeigneter Gebäudeflächen

Bei der Analyse der potenziellen Flächen für neue Gründächer werden zusätzlich Höhendaten und Parameter zur Dachneigung herangezogen. Da die Bepflanzung von Steildächern deutlich aufwändiger ist, werden hauptsächlich Gebäude mit flachen oder höchstens leicht geneigten Dächern berücksichtigt. Zudem muss die Gebäudestatik beachtet werden. Gerade Dächer von Werkshallen haben aufgrund ihrer Bauweise nur eine geringe Belastbarkeit. Dächer, die bereits mit einer Kiesschicht bedeckt sind, haben hingegen eine höhere statische Reserve für eine Begrünung. Hier kann der Kies durch eine Gründachauflage ersetzt werden. Die Erfassung kiesbedeckter Dächer gibt jedoch nur einen ersten Anhaltspunkt, welche Dächer in Zukunft als Vegetationsfläche genutzt werden könnten. Eine genaue Überprüfung der Gebäudestatik ersetzt sie nicht.

Schon die rege Beteiligung zahlreicher Städte an diesem Projekt zeigt, wie wichtig Gründächer für die Kommunen sind. Als erste deutsche Großstadt hat Hamburg eine Gründachstrategie entwickelt – mit dem Ziel, insgesamt 100 Hektar Dachfläche im Stadtgebiet zu bepflanzen. Und das zu Recht: Gründächer wirken in vielen stadtoökologischen Einzelbereichen und sind zudem Rückzugs- und Erholungsgebiete nicht nur für die Menschen, sondern auch für eine Vielzahl von Tieren, vor allem Vögel und Insekten. Der Kooperationspartner EFTAS hat die Methode vertraglich lizenziert und gemeinsam mit dem Dachgärtnerverband bereits 2016 eine umfassende Analyse für die Stadt Frankfurt am Main durchgeführt. Weitere Städte haben schon ihr Interesse bekundet.



Echtfarben- und Falschfarben-Luftbildaufnahmen: Auf dem rechten Bild sind die Indikatoren für Vegetationsflächen herausgearbeitet. Sie sind rot dargestellt.

Bilder: Stadt München



Mit Hilfe der Katasterdaten können die Hausumrisse aus den Luftbildaufnahmen herausgefiltert werden. Dachflächen werden so eindeutig erkennbar.

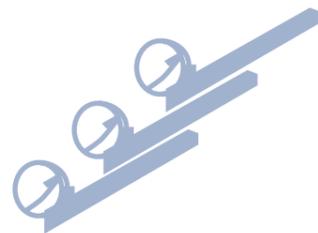
Bild: Stadt München/DLR



Bepflanzte Dächer tragen zu einer guten Ökobilanz von Siedlungen bei

Bild: Deutscher Dachgärtner Verband

SONNE PER KNOPFDRUCK



Teil 3 der Serie Großgeräte: Synlight

Von Jana Wiedemeyer

In Jülich gibt es eine Sonnenscheingarantie, wenn auch nur für Solarforscher. Selbst bei einem Himmel voller Wolken können Wissenschaftler an solarer Energie forschen. In einer Halle des Technologiezentrums Jülich, zwischen Solarturm und Zuckerfabrik, scheint sie: die weltweit größte künstliche Sonne. Synlight heißt die Forschungsanlage, die Dr. Kai Wieghardt vom DLR-Institut für Solarforschung und sein Team seit Mitte 2014 entwickelt und aufgebaut haben. Ihr Ziel war es, optimale Testbedingungen zu schaffen für die Entwicklung von solarthermischen Kraftwerken, von solarchemischen Anlagen sowie von Komponenten für die Luft- und Raumfahrt – unabhängig von Wetter und Tageszeit. Am 23. März 2017 wurde die Anlage offiziell eröffnet.

Brücke zwischen Labor und Solarturm

Bisher gibt es auf der einen Seite Solarforschungsanlagen im Labormaßstab, zum Beispiel den Hochleistungsstrahler am DLR-Standort Köln, mit dem die Wissenschaftler Bestrahlungstests im Kleinformat durchführen. Auf der anderen, der großformatigen Seite, steht der wetterabhängige Solarturm in Jülich. Dazwischen klaffte bisher eine Lücke. „Wir haben mit Synlight eine ganz neue Qualität von solaren Testbedingungen erreicht und mit der weltweit größten künstlichen Sonne eine Brücke zwischen herkömmlichen Hochleistungsstrahlern und Solartürmen gebaut“, erklärt Wieghardt. „Die gesamte Strahlungsleistung übertrifft mit mehr als 350 Kilowatt die aller Hochleistungsrechner zusammen.“ Anlagen vergleichbarer Größe gibt es nicht. Der Vorteil: Unter exakt einstellbaren Testbedingungen können die Wissenschaftler unabhängig vom Wetter Experimente durchführen und somit die Nutzung von solarer Energie und die Weiterentwicklung von Solarkraftwerken vorantreiben.



Bild: DLR/Markus Hauschild

Die Großanlage Synlight bietet mit ihren flexibel einstellbaren Strahlern optimale Testbedingungen, um Herstellungsverfahren für solare Treibstoffe zu entwickeln – auch wenn die Sonne gerade nicht scheint



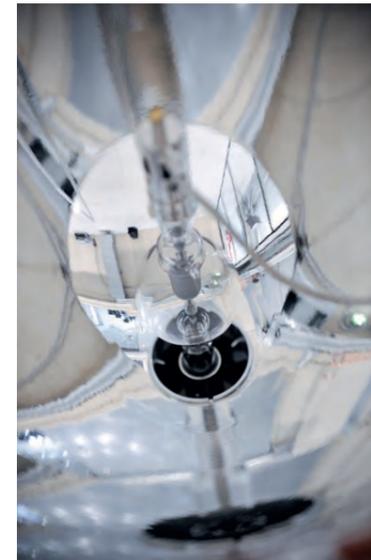
Bild: DLR/Markus Hauschild

Leistungsstark wie 10.000 Sonnen, die auf einen Fleck scheinen: 149 Xenon-Strahler können auf eine 20 mal 20 Zentimeter große Fläche konzentriert werden. So entstehen Temperaturen von bis zu 3.000 Grad Celsius.

Sonne per Knopfdruck – wie funktioniert das?

Das Gebäude, in dem die Sonne per Knopfdruck scheint, sieht aus wie ein zweistufiger Kubus. Im vorderen Bereich befinden sich drei Bestrahlungskammern, in denen die Tests stattfinden, im hinteren Teil das Gerüst mit der künstlichen Sonne. 15 Meter hoch ist die Stahlkonstruktion, auf der 149 Xenon-Strahler in 13 Reihen übereinander angeordnet sind. „Xenon-Kurzbogenlampen sind auch in der Kinoindustrie im Einsatz. Ihr Licht ist dem Sonnenspektrum besonders ähnlich“, begründet Wieghardt die Wahl der Lampen. Jede einzelne Sieben-Kilowatt-Lampe ist von einem elliptischen, ein Meter im Durchmesser fassenden Aluminium-Reflektor umgeben. Ein bisschen erinnert das Bild in seiner Gesamtheit an eine Bienenwabe. Nur, dass dort kein Honig, sondern Licht in den Reflektoren gesammelt wird.

Jeder Reflektor mit Lampe ist an einer Art Roboterarm befestigt und kann vom Kontrollraum aus ausgerichtet werden. Jedes Modul agiert unabhängig vom anderen. „Damit können wir das Licht der Lampen in bis zu drei Brennpunkten bündeln. Diese befinden sich in den Bestrahlungskammern, acht Meter entfernt. Wir wollen dabei eine Lichtkonzentration erreichen, die dem Zehntausendfachen der Sonneneinstrahlung entspricht. Auf einen Punkt scheinen dann also quasi 10.000 Sonnen. So erreichen wir Temperaturen von über 3.000 Grad Celsius – das ist mehr als bei allen bekannten Verbrennungsvorgängen“, erläutert Wieghardt. Wenn sämtliche Strahler eingeschaltet sind, erhitzt sich die Luft in der Forschungsanlage auf bis zu 50 Grad Celsius; da ist eine Kühlung unerlässlich. Das funktioniert mit einem Luftsystem, das durch die hintere Wand kühle Luft hineinbläst und die erwärmte Luft über das Dach abgibt.



Alle Lampen sind mit einem verspiegelten Alu-Reflektor ausgestattet und können einzeln auf die Proben ausgerichtet werden



Bilder: DLR/Markus Hauschild

Das Team hinter Synlight: Als dritter von links Projektleiter Dr. Kai Wieghardt, rechts neben ihm Abteilungsleiter Dr. Karl-Heinz Funken

Tests gleichzeitig in drei Bestrahlungskammern

Die Anlage wird mit 3,5 Millionen Euro vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Sie soll Nutzern aus Forschung und Industrie für ihre Versuchszwecke zur Verfügung stehen. Die flexibel einstellbaren Strahler und drei nebeneinander angeordnete Bestrahlungskammern machen es möglich, dass bis zu drei Anwender zur selben Zeit die Anlage für ihre Experimente nutzen können. Das Licht der Strahler wird dann in drei Teilmengen individuell auf die Kammer eingestellt, entweder gebündelt in einem Punkt oder über eine größere Fläche verteilt.

„Die Bestrahlungskammern haben wir für unterschiedliche Anwendungsbereiche optimiert“, erklärt Wieghardt. „Wir stehen hier in der UV-Kammer, das heißt, die Strahler, die sich direkt gegenüber befinden, strahlen mehr UV-Licht ab als die Strahler im linken Bereich der Konstruktion. Das kann zum Beispiel für unsere Kollegen aus der Luft- und Raumfahrtforschung interessant sein, da deren Komponenten einer besonders hohen UV-Strahlung ausgesetzt sind.“ Die anderen beiden Kammern sind speziell für die Anforderungen der solarchemischen Verfahrensentwicklung ausgestattet. Sie verfügen durch ein Edelstahlrohr über einen direkten Zugang zu einem Raum, in dem Abgase neutralisiert und gewaschen werden – eine Voraussetzung für viele solarchemische Experimente.

Ein flacher Wagen auf Rollen mit einer Nutzlast von bis zu 2.500 Kilogramm nimmt in der Anlieferungshalle im Erdgeschoss die Versuchsobjekte auf. Diese werden über Schienen in den Aufzug und von da aus in die Bestrahlungskammer geschoben und dort positioniert. Im vorderen Teil des Gebäudes, abgeschirmt durch eine massive Betonwand, befinden sich die Steuer- und Messwarten für die Kammer. Von hier aus steuern die Forschungspartner gemeinsam mit einem DLR-Mitarbeiter die einzelnen Strahlermodule. Über Monitore können sie ihren Versuch verfolgen und anschließend die Messergebnisse auswerten.

Im Betrieb braucht Synlight Strom, viel Strom, in drei Stunden so viel wie ein vierköpfiger Personenhaushalt in einem Jahr. Allerdings beschränken sich diese Versuchszeiten auf nur wenige Stunden im Monat. „Ziel der Anlage ist es, in Zukunft mehr Energie aus der Sonne zu

gewinnen. Wenn es uns gelänge, die Effizienz eines Solarkraftwerks um ein Prozent zu steigern, könnte man damit fast 1.000 Haushalte im Jahr zusätzlich mit Strom versorgen“, erläutert Kai Wieghardt.

Ein Weg zum Brennstoff der Zukunft

Die Versuchsobjekte stammen aus unterschiedlichen Forschungszweigen. Im Fokus von Synlight steht allerdings, solar erzeugten Treibstoff herzustellen. Denn in Zukunft soll es möglich sein, Energie aus der Sonne „zu tanken“. Solare Treibstoffe sind ein Weg, den Verkehrssektor klimaneutral zu gestalten. So kann Wasserstoff der Brennstoff der Zukunft werden, entweder direkt, als Antrieb für Brennstoffzellenfahrzeuge oder als Zwischenprodukt zur Herstellung flüssiger Brennstoffe, zum Beispiel Kerosin. Mit Sonnenenergie ist es möglich, Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten, direkt und ohne den Umweg über Strom und Elektrolyse. DLR-Forscher haben dies im kleinen Umfang bereits erfolgreich getestet.

Vom Zuwendungsbescheid und dem Start des Projekts bis zur feierlichen Eröffnung von Synlight sind keine drei Jahre vergangen. In dieser Zeit wurde das Gebäude mit seiner aufwändigen technischen Ausstattung entworfen, genehmigt und errichtet. Dabei lief nicht immer alles glatt, denn die Anlage steht auf historischem Grund und Boden. Ein Bauernhof aus der Zeit des Römischen Reichs befand sich ausgerechnet an der Stelle, wo jetzt die Anlage steht. „Dieser musste erst gesichert werden, bevor wir mit dem Bau des Gebäudes beginnen konnten“, erinnert sich Wieghardt. Parallel dazu entwickelten die Solarforscher ihre Anlage und konstruierten ein Modul als Prototyp. Nach dessen erfolgreichem Test bauten sie ihre Anlage auf – und zwar überwiegend in Eigenleistung. „Es ist wohl eher ungewöhnlich im DLR, dass eine Anlage dieser Größe nicht komplett von einem Generalunternehmer errichtet wird,“ meint Wieghardt. „Aber auf diese Weise hatten wir die Kosten voll im Griff und konnten Synlight sogar mit dem Doppelten der ursprünglich geplanten Leistung ausstatten, ohne unser Budget zu überschreiten. Und natürlich kennen wir unsere Anlage jetzt ganz genau.“

Derzeit läuft der erste Versuch zur solaren Wasserstoffherzeugung und die Wissenschaftler hoffen, ihre Anlage schnell mit vielen weiteren Experimenten auszulasten. So stärkt die Großanlage in Jülich die Solarforschung und die Entwicklung von neuen Energietechnologien. Egal bei welchem Wetter.

STAR TREK – WIE AUS FIKTION WIRKLICHKEIT WIRD



50 Jahre „Raumschiff Enterprise“ – Sonderausstellung im Dornier Museum Friedrichshafen

Von Elisabeth Mittelbach

Ich sitze auf der originalgetreu nachgebauten Kommandobrücke des wohl berühmtesten Fernseh-Raumschiffs aller Zeiten – der U.S.S. Enterprise NCC 1701. Neben mir steht der nicht minder bekannte Kommandant dieser legendären Raumfähre: James T. Kirk alias William Shatner. Zugegebenermaßen handelt es sich bei diesem Captain Kirk um eine lebensgroße Pappfigur, wie man sie aus Kinosälen kennt. Deshalb erstarre ich auch nicht gänzlich in Ehrfurcht, sondern setze mich auf den Kapitänssitz in die Mitte der Kommandobrücke und stülpe mir eine – im Gegensatz zu den sonstigen Requisiten in meiner Umgebung – nigelnagelneue Virtual-Reality-Brille über den Kopf. Und dann beginnt sie, meine imaginäre Reise ins Jahr 2200. Denn „dies sind die Abenteuer des Raumschiffs Enterprise, das mit seiner 400 Mann starken Besatzung fünf Jahre unterwegs ist, um fremde Galaxien zu erforschen, neues Leben und neue Zivilisationen ...“

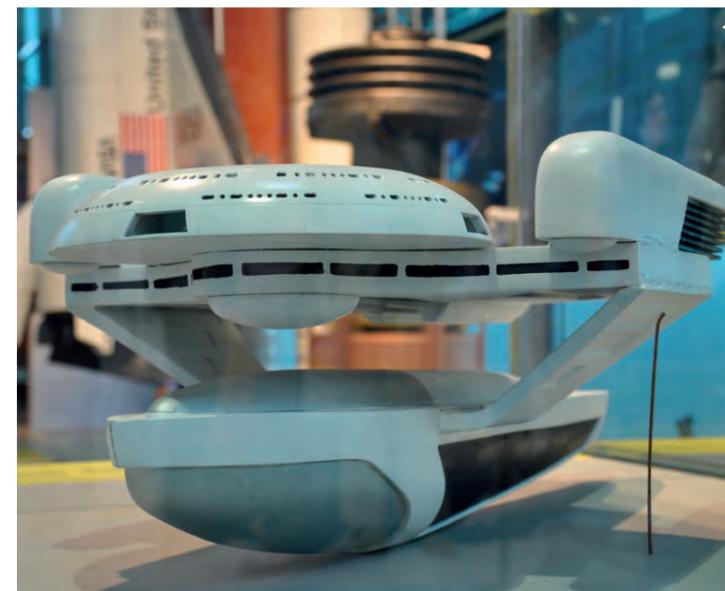
„Science & Fiction – 50 Jahre Raumschiff Enterprise“: Mit dieser kleinen, aber durchaus feinen Ausstellung anlässlich des runden Geburtstags der US-amerikanischen Kultserie hat sich Ingo Weidig, Ausstellungsmacher und Kurator des Dornier Museums in Friedrichshafen, einen Kindheitstraum erfüllt: „Ich bin selbst ein sogenannter Trekkie, ein großer Fan aller Star Trek-Reihen – von der Originalserie aus den Sechzigerjahren über ‚Star Trek: The Next Generation‘ und ‚Star Trek: Deep Space Nine‘ bis hin zu den Kinofilmen“, verrät der 35-jährige Volkskundler und fügt hinzu: „Und ich bin in Thüringen im Grenzgebiet der ehemaligen DDR aufgewachsen, für mich war die Vorstellung von unendlichen Weiten, von der Reise zu fernen Zivilisationen einfach ‚faszinierend‘, um es mit den Worten von Mr. Spock zu sagen.“

Der Wissenschafts- und Erste Offizier Mr. Spock – vor der Kamera brillant verkörpert von Leonard Nimoy – gehört neben Captain Kirk und Captain Picard zu den stärksten Star Trek-Charakteren. Mit seinem messerscharfen Verstand und seinem überragenden Wissen einerseits, aber auch mit seiner unterdrückten Emotionalität und Empathie andererseits „faszinierte“ er Generationen von „Trekkies“. Ingo Weidig und seinem Kollegen Philipp Lindner geht es in der Friedrichshafener Sonderausstellung vor allem darum, den Bogen von der Fiktion über die Vision hin zum technischen Fortschritt zu spannen. „Star Trek war in vielerlei Hinsicht revolutionär, die Geschichten der Crew haben zahlreiche Menschen in Wissenschaft und Technik, aber auch kulturell und gesellschaftlich, beeinflusst. Wir wollen zeigen, was aus den Visionen tatsächlich geworden ist, was also technisch und auch gesellschaftlich möglich wurde“, erklärt Kurator Weidig.

So saßen mit Hikaru Zulu und Pavel Chekov knapp zwei Jahrzehnte nach Ende des Zweiten Weltkriegs ein Japaner und ein Russe auf der Kommandobrücke der ersten U.S.S. Enterprise; heute arbeiten Europäer, Amerikaner, Russen und Japaner auf der Internationalen Raumstation ISS zusammen. 1968 – auf dem Höhepunkt der US-amerikanischen Bürgerrechtsbewegung – erfolgte in Star Trek der erste Filmkuss zwischen der farbigen Kommunikationsoffizierin Nyota Uhura und dem weißen Kirk; auch das ein Fingerzeig des Star Trek-Schöpfers Gene Rodenberry, dass wir Menschen es selbst in der Hand haben, über jegliche Art von Grenze(n) hinweg respektvoll miteinander umzugehen.

Rodenberrys IBM-Schreibcomputer ist ebenso ausgestellt wie Original-Requisiten der Serien, die, wie der Computer, fast alle aus dem riesigen Fundus von Martin Netter stammen. Der Berliner besitzt rund 150.000 Exponate aus der Kultserie, ersteigert vor Jahren beim Auktionshaus Christie's in New York. Ein Teil ist in der Friedrichshafener Sonderausstellung noch bis zum 18. Juni 2017 zu sehen: Originalkostüme, Make-up-Formen für die vielen Aliens, der „Warp-Kern“ des Enterprise-Antriebs, die Modelle des Raumschiffs aus dem Trickstudio.

Die Ausstellung selbst nimmt den Besucher mit auf eine vielschichtige Reise. Durch ein „Wurmloch“ geht es „an Bord“, über die Schwelle in eine neue Welt, in der „noch nie ein Mensch zuvor gewesen ist“. Vom „Star Trek Universum“ mit Hintergründen zu Science-Fiction, den Anfängen der Serie und einem Einblick in Kostüme und Bühnenbild, Charaktere und Drehbücher, geht es zum nachgebauten Holodeck, das mit Fotos und Filmausschnitten aus

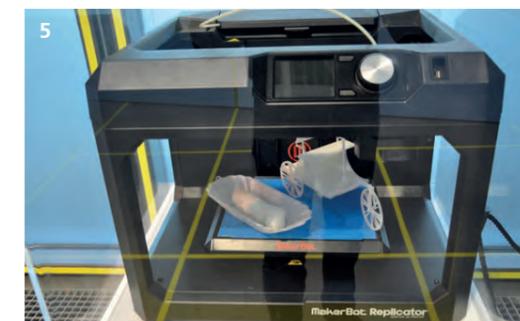


1 Die Oberth-Raumschiffklasse von Star Trek im Modell 2 Die Helden aus der Originalserie: Captain James Tiberius Kirk (rechts) und sein erster Offizier Spock an der Seite eines der weiblichen Crew-Mitglieder 3 Live long and prosper – lebe lang und gedeihe: Der besondere Gruß des Vulkaniers Spock symbolisiert den hebräischen Buchstaben Shin. Er ist sowohl der Anfangsbuchstabe des Wortes Shaddai (allmächtig) als auch von Shalom (Frieden); heute verwenden Star-Trek-Fans weltweit dieses Zeichen zur Begrüßung 4 Neben Originalkostümen sind auch Make-up-Formen und Masken vieler Serien-Aliens in der Ausstellung im Dornier Museum zu sehen 5 Was vor 50 Jahren der Replikator konnte, ermöglicht heute der 3D-Druck 6 Die Ausstellungsmacher Ingo Weidig (rechts) und Philipp Lindner auf der nachgebauten Kommandobrücke der U.S.S. Enterprise NCC 1701

„Star Trek: The Next Generation“ den Hauptraum der Ausstellung umrahmt. Hier schwebt eine Replik der Internationalen Raumstation ISS im Maßstab 1:10 und ein Spaceshuttle-Modell wartet auf seinen Start.



Verschiedene Themeninseln erläutern die Geschichte und Entstehung von Science-Fiction – von Jules Vernes „Reise zum Mond“ über Isaac Asimov, Science-Fiction-Autor und geistiger Vater der drei Robotik-Gesetze, bis hin zu „Commander Data“, einem Androiden aus „Star Trek: The Next Generation“. Besonders interessant ist jedoch der nächste Schwerpunkt, wenn aus Fiktion Wirklichkeit wird: Denn einige technische Errungenschaften, die vor 50 Jahren nur auf der Enterprise funktionierten, sind mittlerweile Alltag geworden. So ist der Replikator, der die Lebensmittel der Enterprise-Crew materialisierte, im weiteren Sinne ein Vorläufer des heutigen 3D-Drucks. Der „Communicator“ aus der Originalserie ähnelt dem ersten Klapphandy von Motorola mit dem Namen „StarTAC“ und die Mini-Computer, die bei „Star Trek: The Next Generation“ im Einsatz waren, sind mit den heutigen Tablets und Smartphones vergleichbar. Dem Warp-Kern aus der Enterprise wird die Original-Schubkammer einer Ariane-5-Trägerrakete gegenübergestellt – auch wenn Letztere (noch) nicht mit Trilithium-Kristallen angetrieben wird. Dass die Wissenschaft andersherum auch die Fiktion beeinflusst hat, zeigen Original-Modelle einer Mondstation von Wernher von Braun und ein Modell der Oberth-Raumschiffklasse, das nach dem Begründer der modernen Raketentechnik Hermann Oberth benannt worden ist.



Allein das Beamen ist auch heute noch Zukunftsmusik.

Die Sonderausstellung „Science & Fiction – 50 Jahre Raumschiff Enterprise“ im Dornier Museum in Friedrichshafen ist noch bis zum 18. Juni 2017 zu sehen.

Öffnungszeiten: dienstags bis sonntags von 10 bis 17 Uhr
(ab Mai von 9 bis 17 Uhr)
Eintritt: 9,50 Euro für Erwachsene
4,50 Euro für Kinder und Jugendliche bis 16 Jahre

Die Ausstellung wird von einem Rahmenprogramm mit Events und Workshops begleitet. Mehr Infos auf: www.dorniermuseum.de





MIT DEN AUGEN DER APOLLO-ASTRONAUTEN

Als Neil Armstrong und Buzz Aldrin aus den Fenstern ihrer Mondlandefähre sahen und ihren Blick schweifen ließen, lag vor ihnen eine gespenstische Landschaft, grau in grau, dahinter schwarz das All. Ein faszinierender Anblick, der sich zuvor noch nie einem Menschen bot. In diesem Moment entstand das erste Panoramafoto des Erdtrabanten – Armstrong fotografierte aus dem Fenster stückchenweise die Mondlandschaft zur linken Seite der Mondfähre, Aldrin übernahm die rechte Seite. Würde ein Vorfall den sofortigen Abbruch der Apollo-11-Mission erfordern, wäre zumindest die Landestelle der ersten Mondlandung dokumentiert.

Mike Constantine hat für sein wunderschönes querformatiges Buch **Apollo: The Panoramas (moonpans.com)** die Einzelfotos zusammengefügt, sie sorgfältig übereinander geblendet, Belichtung und Kontrast angeglichen und nahtlos verbunden. Das Ergebnis: Jeder Betrachter, der niemals auf diesem Himmelskörper stehen wird, kann nun über das Meer der Stille blicken und wie ein Apollo-Astronaut die Sinfonie der Graustufen genießen.

Insgesamt 56 Panoramen der verschiedenen Apollo-Missionen sind so zu sehen. Jedes Panorama entstand aus 15 bis 25 Einzelbildern, die von den Astronauten in ihren eng getakteten Zeitplänen an verschiedenen Stellen aufgenommen wurden. Constantine benennt dazu jeweils in wenigen Sätzen die verschiedenen, mal mehr, mal weniger markanten Landschaftsmerkmale wie Hügel, Krater oder auch Felsen, erläutert kurz, welche Instrumente für welche Messung zu sehen sind, und wer fotografierte. Dazu kommen kurze Zitate der Astronauten. Vielleicht hätte es hier manchmal etwas emotionalerer Kommentare bedurft, um die persönlichen Eindrücke besser wiederzugeben. Schließlich wird auf etlichen Bildern deutlich, wie weit sich die Astronauten von ihrer sicheren Basis entfernten, die dann als winziger Punkt im Panorama fast verschwindet. Oft verliert sich selbst das Bild des Astronauten-Kollegen in der Weite der einsamen Landschaft.

Auch wenn die meisten Panoramen wie Schwarz-Weiß-Aufnahmen erscheinen – die Kameras nahmen Farbfotos auf. „Ansichten von unserer Landefähre, dem Rover oder unserer Flagge waren immer etwas Besonderes. Neben dem Grau und Weiß des Mondes war dies das Einzige in Farbe“, erinnert sich Charlie Duke, Pilot der Apollo-16-Mission. Vieles bleibt natürlich ein monochromes Erlebnis, doch mit jeder Mission wurden die Landestellen optisch spannender, die Strecken länger und die Ziele der Astronauten spektakulärer. Die Aufenthalte auf dem Mond und die Dauer der Ausstiege ließen mehr Zeit für Fotos. Und so lässt sich beim Blättern im Buch wie in einem Zeitraffer die Geschichte der Erkundung des Mondes verfolgen.

Constantines englischsprachiger Text beschränkt sich dabei auf das Nötigste, doch widmet er jeder Mission zwei Doppelseiten mit Fakten, einer Aufnahme des Lunar Reconnaissance Orbiters der jeweiligen Landestelle sowie eine schematische Zeichnung des Weges der Astronauten. Damit weiß der Betrachter stets, von wo aus gerade sein Blick über den Mond schweift. Für die Astronauten war das nicht ganz so einfach: „Viele Krater sahen sehr ähnlich aus, als wir herumfuhren, und so waren wir unsicher, wo genau wir waren“, erinnert sich Astronaut Charlie Duke. „Aber auf dem Mond kann man nicht verloren gehen“, wird er zitiert. „Dreh einfach um und folge deinen Spuren zurück nach Hause.“

Manuela Braun

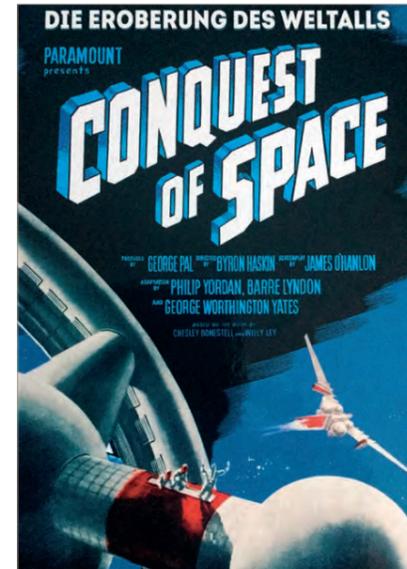


MIT SEGELBOOT UND SKIERN IM SÜDPOLARMEER

33 Tage und mehr als 4.500 Kilometer im ewigen Eis: Das ist die Reise, die zwölf Abenteurer auf sich nehmen, um die Route des „größten Polarforschers aller Zeiten“ nachzusegeln. Ernest Shackleton fuhr von 1914 bis 1917 auf der Endurance durch das Wedellmeer. Doch das Schiff wurde vom Packeis eingeklemmt und sank. Die Rettungsaktion für die Crew wurde legendär. **Die S.E.A. Expedition (MALIK)** zeichnet Shackletons Reise nach: von den Falklandinseln über Elephant Island bis ins südatlantische Inselgebiet Südgeorgiens und zurück zu den Falklandinseln.

Der Zauber dieses Buchs liegt in der Reise ins Unbekannte, in eine menschenleere Gegend, in der die Natur das Sagen hat und der Mensch ihr ausgeliefert scheint. Dieser Zauber schwingt in jeder Zeile des Buchs mit. Wer glaubt, er halte einen klassischen Reisebericht in den Händen, der täuscht sich. Die Aufzeichnungen der beiden Expeditionsteilnehmer Tina Uebel und Nikolaus Hansen sind sehr persönlich. Sie spiegeln die Gefühlswelt auf dem Segelboot wider, in individuellen Text-Passagen, gespickt mit alten Tagebucheinträgen von Shackleton. Dabei sparen die Autoren kein Detail aus. Die bildhafte Sprache und die eindrucksvollen Farbfotografien bringen den Leser ganz nah ans Geschehen. Nur die Ausführungen zur Kunst des Segelns lassen einem beim Lesen zuweilen die Puste ausgehen. Dennoch: Selbst wer nichts von Segeltechniken versteht, kann sich für dieses Buch begeistern – es nimmt einen mit ins südliche Polarmeer, lässt einen den Wind auf dem Segelboot spüren und frösteln, wenn es per Ski durch das vereiste Südgeorgien und schließlich wieder per Boot zurück zu den Falklandinseln geht.

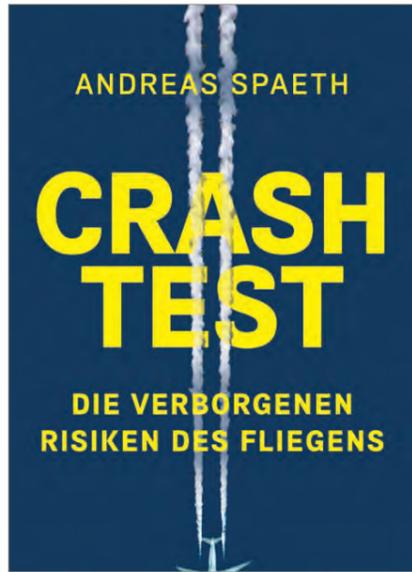
Jana Wiedemeyer



RAUMFAHRT VON MORGEN – AUS DER SICHT VON VORGESTERN

Die Ressourcen auf der Erde werden knapp. Für die Suche nach neuen Rohstoffquellen wird die Besetzung einer Raumstation auf Marsmission geschickt. – Das Thema ist zeitlos. Der Science-Fiction-Klassiker **Conquest of Space (Allve-Filmvertrieb)**, deutsch: Die Eroberung des Weltalls, von 1955 hingegen ist merklich gealtert: Dem modernen Wissen um den Mars hält die Story nicht stand. Der Durchmesser der Raumstation ist genau wie 13 Jahre später bei Kubricks „2001“ viel zu gering, um künstlich Schwerkraft zu erzeugen. Und die komödiantischen Zwischentöne sind wahrlich altbacken. Dass sich die Filmemacher damals von Raketenpionier Wernher von Braun inspirieren ließen, bringt aus heutiger Sicht kaum Realismus in den Film. Und eine seltsame Ängstlichkeit vor dem Unbekannten wohnt dem Film inne – untypisch für die Space-Opern jener Zeit, die oft ein naiver Weltraum-Optimismus auszeichnete. Doch Allve spendiert dem Klassiker ein liebevoll gestaltetes Mediabook mit dem Film in High-Definition und zweisprachig in Deutsch/Englisch. Keine „Trash-Perle“, allemal aber ein charakteristisches Zeitzeugnis, das Film-Nostalgiker erfreuen dürfte.

Philipp Burtscheidt



DIE VERBORGENEN RISIKEN DES FLIEGENS

Der erste Gedanke beim Griff nach dem Buch **Crashtest (Heyne Verlag)** ist: Wer Vorbehalte gegenüber dem Fliegen, gar Flugangst hat, sollte es nicht lesen. Oder vielleicht doch? Am Ende zeigt sich: Es gelingt dem Autor Andreas Späth, die aus seiner Sicht verborgenen Risiken des Fliegens so verständlich darzustellen, dass das Vertrauen in das Flugzeug als Verkehrsmittel eher gestärkt als gemindert wird.

Doch von Anfang an: An jedem Tag besteigen rund neun Millionen Menschen ein Flugzeug und nutzen die Vorzüge dieses sicheren Transportmittels. Denn während auf der Straße in jedem Jahr mehr als 1,2 Millionen Opfer zu beklagen sind, waren es in der Luftfahrt nie mehr als tausend pro Jahr. Doch jedes dieser Opfer ist eines zu viel. Es gilt, aus den Flugunfallberichten, die Auskunft über die Ursachen eines Unfalls geben, die richtigen Schlussfolgerungen zu ziehen. Und es sind genau diese Berichte, ebenso wie andere Quellen, die Andreas Späth studiert, in seinem Buch förmlich seziiert und miteinander verknüpft hat, die Transparenz schaffen und so Ängste nehmen können. Durch die Detailgenauigkeit, fast möchte man sagen Detailverliebtheit, entwickelt das Buch eine schon kriminalistisch zu nennende Spannung. Und indem Späth wichtige Basisinformationen rund um das Fliegen in die einzelnen Fälle einbaut, schafft er beim Leser Verständnis für die konkret beschriebene Situation.

Insgesamt behandelt Crashtest 30 verschiedene Flugvorkommnisse der letzten Jahrzehnte, die teils für große mediale Aufmerksamkeit gesorgt hatten; darunter die Katastrophe des über der Ukraine abgeschossenen Fluges MH17, die Kollision über dem Nordufer des Bodensees im Jahr 2002, aber auch die fliegerischen Meisterleistungen von Chesley Sullenberger, der seinen Airbus nach einem Vogelschlag und dem Ausfall beider Triebwerke im Hudson-River landete, und die Geschichte der Crew des Fluges von Quantas 32, die einen schwer beschädigten, voll besetzten A380 wieder sicher auf dem Ausgangsflughafen landete.

Das Verhältnis von Mensch und Technik ist eine der Grundfragen, die das Buch behandelt. Technik, die trotz aller Tests und Zulassungsprüfungen im Einzelfall versagt. Menschen, die in Gefahrensituationen den Überblick verlieren oder eben über sich hinauswachsen und das machen, was sie am besten können – fliegen. Die am Ende des Buchs aufgeführten 14 Punkte einer Checkliste für sicheres Fliegen mögen lapidar und selbstverständlich erscheinen. Doch wer fliegt, sollte sie unbedingt beherzigen, ebenso wie die Sicherheitshinweise vor Beginn eines jeden Fluges. Denn sie sind nicht Teil der Bordunterhaltung, sondern sollen im Notfall Leben retten.

Andreas Schütz



STÖBERN IN DER LUFTFAHRTGESCHICHTE

Zum Stöbern in der Luftfahrtgeschichte lädt **Das Flugzeugbuch (Dorling Kindersley)** ein. Über 800 Flugzeuge werden auf 300 Seiten präsentiert: Bilder, Technik und Historie. Nach einem Rückblick auf die Anfänge der Luftfahrt vor 1920 führt das Buch mit vielen erklärenden Detailaufnahmen von einzelnen Bauteilen und Porträts großer Hersteller und Pioniere durch die Jahrzehnte. So bietet es einen Überblick über die militärischen und zivilen Flugzeugtypen der jeweiligen Epoche. Auch der bis dahin noch unbewanderte Flugzeugbegeisterte kann so die technologischen Entwicklungen zeitgeschichtlich einordnen. Zum Ende hin wird die Funktionsweise von verschiedenen Triebwerken, Motoren und Antrieben, ja und das Fliegen selbst, noch einmal sehr schön erklärt und an vielen Schaubildern und Fotos verdeutlicht.

Leider vernachlässigt das 2013 in London gedruckte Buch das Thema „Unbemanntes Fliegen“ geradezu sträflich. Nur eine magere halbe Seite wird der hochaktuellen Thematik gewidmet – versehen mit dem Hinweis, dass noch „sehr viel Zeit vergehen wird, bevor das Fliegerass Geschichte“ sei. Die historische Einordnung ist zudem teils stark angloamerikanisch gefärbt. Große Persönlichkeiten oder Erfindungen aus dem deutschsprachigen Raum kommen recht kurz oder gar nicht vor. Fazit: Ein gut bebildertes Nachschlagewerk für trübe Tage, das den hiesigen Luftfahrtfreund allerdings mit nicht ganz ungetrübter Freude zurücklässt.

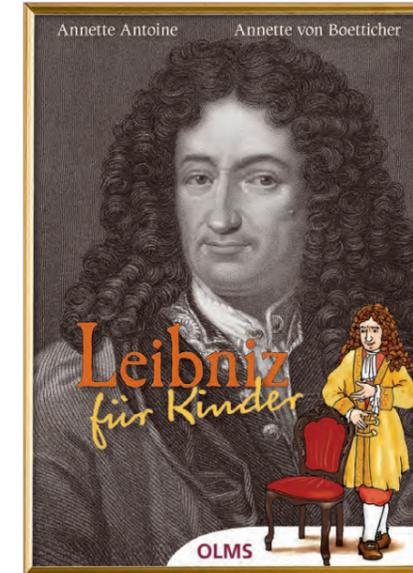
Fabian Locher

DER MANN MIT DEM IDEEN-SCHRANK

Als Kind schon eine Leseratte und unerhört neugierig, dabei wohl nicht ganz ordentlich, dafür aber wohlriechend in einer Zeit, in der Waschen verpönt war – Gottfried Wilhelm Leibniz war ein Mann, der über das Nebeneinander von Glaubensgemeinschaften ebenso nachdachte wie über eine Maschine zum schnelleren Rechnen oder die Höhe von Springbrunnen-Fontänen. Ein Alleskönner, dem aber längst nicht alles gelang. **Leibniz für Kinder (OLMS)** zeigt den Universalgelehrten mit seinen Verdiensten in einer Zeit, da mittelalterliches Denken nur langsam den Erkenntnissen der beginnenden Neuzeit wich, wo es für das gemeine Volk keine Schulen gab und man von Stadt zu Stadt mit der Postkutsche tage- oder wochenlang unterwegs war. Der Gelehrte sammelte Notizen, Zeichnungen und Buchseiten in seinem „Exzerpierreisenschrank“, schrieb und schrieb und schrieb, stieß immer wieder auf neue Fragen, wollte sie am liebsten alle beantworten und die ganze Welt kennenlernen. Wenn ihm nur genug Zeit bliebe ...

Der Verlag hat das Sachbuch für Leser ab zehn Jahren erfreulicherweise zum zweiten Mal aufgelegt. Die kindgerecht geschriebenen Texte von Annette Antoine und Annette von Boetticher, originelle Illustrationen von Beate Becker, dazu Zitate von Gottfried Wilhelm Leibniz sowie Querverweise, Informationskästen, Begriffserklärungen und ein Quiz machen das 150-Seiten-Buch ebenso kurzweilig wie lehrreich. Überaus sympathisch und auch etwas für Leser, die den Kinderschuhen längst entwachsen sind.

Cordula Tegen



THEO TÜFTELT

Der kleine Theo ist ein findiges Kerlchen und ein echter Tüftler, der sich gerne neue Sachen ausdenkt. Wie zum Beispiel eine Rakete, mit der er und sein Hund Lupinchen ins Weltall fliegen. Einfach, um die Welt mal von oben zu sehen ... **Theo Tüftler reist ins All (Christine Riedmann, Eigenverlag)** ist ein liebevoll illustriertes Bilderbuch für angehende Raumfahrerinnen und Raumfahrer ab zwei Jahren. Sehr viel älter sollten sie allerdings auch nicht sein. Mit kurzen, gereimten Texten und von Hand gezeichneten Bildern, auf denen es viel zu entdecken gibt, ist das Bilderbuch die perfekte Gute-Nacht-Lektüre, um Ideen für eigene Tüfteleien anzuregen und von einer Reise zu den Sternen zu träumen. Weitere Abenteuer des kleinen Theo dürfen gerne folgen.

Tim Scholz



LINKTIPPS

RAUMFAHRT UND EMANZIPATION

<http://bit.ly/2leJM8H>

Frauen in der Raumfahrt sind Thema einer Dokumentation des Senders 3sat. Die Sendung greift das Thema „Hidden Figures“ auf. Der Kinofilm über die drei Mathematikerinnen der NASA in ihren Anfangsjahren wird ins Heute geholt: Ein Kurzporträt stellt die DLR-Raumfahrt-ingenieurin Daniela Hoffmann vor.

FLIEGENDER LÖSCHZUG

<http://bit.ly/2IHheT2>

Den weltgrößten Feuerlöscher hat Global SuperTanker Services in Colorado Springs in Betrieb genommen: Es ist eine umgebaute Boeing 747-400. Sie löst ihren Vorgänger, eine 747-100, ab und bietet einen spektakulären Anblick, wenn sie in rund 60 Meter Höhe bis zu 75.000 Liter Löschmittel auf großflächige Brände entlädt. Der aufwändige Umbau im Inneren des jüngsten Supertankers ist bei einer virtuellen Führung zu bestaunen. Dazu gibt es auch Videos von Lösch-Einsätzen. (Seite auf Englisch)

POSTER-DOWNLOAD

<http://mars.nasa.gov/multimedia/resources/mars-posters-explorers-wanted/>

Der Comic-Stil stand Pate bei Postern zum Thema Mars-Eroberung. Von der NASA ursprünglich für eine Ausstellung im Kennedy Space Center beauftragt, kann man sich jetzt die Druckvorlagen zur privaten Nutzung herunterladen. Ob es den Mars-Erkunder, -Ausbilder oder -Techniker so je geben wird, sei dahingestellt: Die Poster sind jedenfalls cool. Und immerhin die Weltraum-Tomaten des Mars-Farmers gibt es im DLR schon. (Seite auf Englisch)

ENDLOSE WEITE

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

Wie lässt sich die Dimension des Weltalls erfassbar machen? Eine virtuelle maßstabsgetreue Grafik unseres Sonnensystems von Josh Worth kann dabei helfen. Die meiste Zeit ist der Bildschirm schwarz, nach schier endlosem Scrollen taucht ein farbiger Punkt auf – ein Planet ... (Seite auf Englisch)

SCHWERELOS, UND DANN?

<http://bit.ly/2kO01Zz>

Was passiert mit dem Körper, wenn er im Weltall unterwegs ist? Die Stiftung Weltwirtschaftsforum erklärt auf ihren Seiten unter anderem, wie sich die fehlende Schwerkraft auf Kreislauf, Knochen und Wachstum auswirkt. Anschauliche Grafiken machen die Prozesse verständlich. (Seite auf Englisch)

NASA'S EYES

<http://eyes.jpl.nasa.gov/eyes-on-juno.html>

Sie kennen Juno nicht? Per App/Download von der NASA können Sie die Jupiter-Sonde und andere Missionen interaktiv und in drei Dimensionen kennenlernen. (Seite auf Englisch)

Das DLR im Überblick

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

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

Impressum

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

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

Redaktion: Sabine Hoffmann (ViSdP), Cordula Tegen (Redaktionsleitung)
An dieser Ausgabe haben mitgewirkt: Jasmin Begli, Manuela Braun, Dorothee Bürkle, Philipp Burtscheidt, Julia Heil, Bernadette Jung, Fabian Locher, Elisabeth Mittelbach, Denise Nüsse, Tim Scholz, Andreas Schütz, Jana Wiedemeyer und Melanie-Konstanze Wiese

DLR-Kommunikation
Linder Höhe, 51147 Köln
Telefon: 02203 601-2116
Telefax: 02203 601-3249
E-Mail: kommunikation@dlr.de

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

ISSN 2190-0094

Online:
DLR.de/dlr-magazin

Onlinebestellung:
DLR.de/magazin-abo

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

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

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

ClimatePartner^o
klimaneutral
Druck | ID 53106-1702-1003



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Titelbild

Die größte künstliche Sonne der Welt strahlt in Jülich: 149 Xenon-Strahler sorgen für exzellente Experimentierbedingungen. Mit der Großanlage Synlight wollen Wissenschaftler gemeinsam mit der Industrie Herstellungsverfahren für solare Treibstoffe weiterentwickeln.

© DLR/Markus Hauschild

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages