

COPERNICUS UND TANDEM-L: ERDBEOBACHTUNG 4.0

SKYFALL: Reportage von Ballonexperimenten internationaler Studentengruppen in Schweden

DREIGLEISIG ZU MEHR EFFIZIENZ IN DER LUFT: Das Projekt HINVA

IM ROBOTAXI IN DIE ZUKUNFT: Verkehrsforscher Stefan Trommer über die Mobilität von morgen



Bild: DLR/Gesine Born

Liebe Leserinnen und Leser,

Zukunft ist das, was wir wollen. Mit dieser Aussage beginnt das Interview mit Frank Schätzing, der in seinen Romanen Gegenwart und Vision ineinander verschwimmen lässt und versucht, die Zukunft vorherzusehen. Aber ist es wirklich so einfach? Reicht der bloße Wille, um die Zukunft zu gestalten?

Die Geschichte hat uns gezeigt, dass meistens eine Idee, die Überzeugung eines Einzelnen am Anfang einer großen Veränderung stand –, auch wenn es mitunter etwas dauerte, bis der Wert einer Erfindung erkannt wurde. So wie im Jahre 1850, als der englische Physiker Michael Faraday dem Schatzkanzler seines Landes zeigte, wie die Bewegung eines Magneten durch eine Drahtspule elektrischen Strom erzeugt. Auf die skeptische Frage des Staatsmannes, wozu dies gut sei, antwortete Faraday: „Eines Tages, Sir, werden Sie es besteuern können.“ Obwohl Faraday den Wert dieser neuen Art, Strom zu erzeugen, voraussah, erkannte er wohl noch nicht deren bahnbrechende Bedeutung für die Zukunft.

So hoffnungsfroh uns die Erkenntnisfähigkeit stimmt, so kann sie uns aber auch nachdenklich machen. Damit liegt nämlich die Verantwortung für die Zukunft bei jedem Einzelnen von uns.

Das DLR arbeitet an vielen Projekten, die uns in die Zukunft begleiten werden. Da ist beispielsweise das BEXUS-Programm, in dem Studenten ihre Experimente an Ballonen in die Stratosphäre bringen. Solche Missionen führen uns vor Augen, dass die Ideen der Jugend unsere Zukunft sind. Oder nehmen wir Copernicus, ein Programm, das zum Ziel hat, mit einer Serie von Erdbeobachtungssatelliten mehr über die natürlichen Prozesse auf unserer Erde zu erfahren. Auch der Dreiklang von Experimenten in Windkanal, realem Flugversuch und mathematischer Modellierung im Projekt HINVA – mit dem Ziel, effizientere Flugzeuge bauen zu können, weist in die Zukunft.

Mit dem zuversichtlichen Gedanken, dass wir unsere Zukunft in der Hand haben, wünsche ich Ihnen eine geruhsame Weihnachtszeit und den besten Start in das Jahr 2016.

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation



SKYFALL: BALLONEXPERIMENTE IM BEXUS-PROGRAMM 6



FERNGESTEUERT AUS DEM ORBIT 28



IM TECHNIKMUSEUM IN SINSHEIM UND SPEYER 50



UNBEMANNT ZUR RETTUNG IM PROJEKT DRIVER 42



DREIGLEISIG ZUM ZIEL 32

DLRmagazin 148

KOMMENTAR	4
MELDUNGEN	5
SKYFALL	6
Reportage von Ballonexperimenten der Studentengruppen im BEXUS-Programm	
KURZMELDUNGEN	12
COPERNICUS	14
Das Sentinel-Satelliten-Programm: Erdbeobachtung 4.0	
SATELLITEN-TANDEM AUF ERFOLGSKURS	22
3D-Karte der Erde ist nahezu fertig	
FERNGESTEUERT AUS DEM ORBIT	28
Kontur-2: Telepräsenz-Experimente mit Gefühl	
DREIGLEISIG ZUM ZIEL	32
Windkanalversuch, realer Flug und Rechenmodelle für mehr Effizienz in der Luft	
ZUKUNFT IST DAS, WAS WIR WOLLEN	36
Im Gespräch mit Schriftsteller Frank Schätzing	
AUS MEER UND SONNE	38
Studie zur Perspektive von Wasserentsalzungsanlagen	
IM ROBOTAXI	40
Verkehrsforscher Stefan Trommer über die Mobilität von morgen	
UNBEMANNT ZUR RETTUNG	42
DRIVER: Neues System zur Katastrophenhilfe	
NACHTS AUF BILDERFANG	46
Das Europäische Feuerkugelnetz	
KATHEDRALEN DER AERODYNAMIK	48
Teil 8 der Serie „Die Windmaschinen“	
IN MUSEEN GESEHEN	50
REZENSIONEN	54

„NICHT NUR WEGEN DER NEUGIER“

Ein Kommentar von Norbert Lossau

Menschen sind neugierig. Das war schon immer so. Die gesamte Kulturgeschichte ist ein Ergebnis der Neugier. In der Natur des Menschen scheint die Lust auf das Neue tief verankert.

Wissenschaft kann menschliche Neugier stillen und den Horizont erweitern. Sie erklärt Unverstandenes, entdeckt Unbekanntes und öffnet sogar die Augen für zuvor nie Gedachtes.

Forschung ermöglicht aber nicht nur schöngeistige Erkenntnis, sondern ist auch Grundlage für Technologien, die unser Leben komfortabler, umweltfreundlicher oder gesünder machen. Können wir uns eine Welt ohne Antibiotika, ohne Passagierflugzeuge, ohne Narkosemittel und ohne Strom aus der Steckdose überhaupt vorstellen?

Gleichwohl leben wir nicht im Paradies. Die Liste drängender Menschheitsprobleme ist lang und viele Herausforderungen lassen sich nicht ohne Wissenschaft bewältigen. Die Schlüsselrolle von Forschung und Technik für Wohlstand und Zukunftschancen stellt auch kaum jemand in Frage.

Eher schon wird kritisch hinterfragt, ob man sich in Zeiten dringend benötigter Innovationen nicht stärker auf angewandte Forschung konzentrieren sollte – zu Lasten der Grundlagenforschung. Was hätten wir davon, wenn wir wissen, dass es Higgs-Teilchen oder Wasser auf dem Mars gibt? Diese Fragen sind auf ähnlichem Niveau wie: Was haben wir davon, dass Bach die H-Moll-Messe komponiert und Goethe den Faust geschrieben hat?

Überdies ist es so, dass Grundlagenforschung tatsächlich der Motor für den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt ist. Wirklich große Innovationen sind in aller Regel ihr zu verdanken. Das ist nicht immer offensichtlich, weil zwischen der grundlegenden Entdeckung und der technischen Anwendung viel Zeit vergehen kann. So wird die Bedeutung der Grundlagenforschung unterschätzt.

Ohne grundlegend neue Erkenntnisse würde es früher oder später keine bahnbrechenden Innovationen mehr geben. Man könnte dann nur noch aus bereits bekannten Zutaten neue Kuchen backen. Solche planbaren Innovationen sind wichtig und unverzichtbar. Doch das Unvorhergesehene kann die Welt wirklich verändern. Wer sich diese Chance erhalten will, muss auf Grundlagenforschung setzen.

Forscher sind stets viel neugieriger, als es die finanziellen Ressourcen erlauben. Doch wenn sich nicht vorhersehen lässt, welche Erkenntnisse Grundlagenforschung liefern wird, wie soll man dann entscheiden, welche Projekte eine Förderung verdienen?

Da gibt es keine einfache Antwort. Man kann nur auf die Exzellenz der Wissenschaftler setzen. Brillante Köpfe, das scheint plausibel, dürften eher das ganz Neue entdecken. Doch die Erfahrung lehrt: Neben Brillanz, Intuition und Fleiß spielt immer auch der Zufall eine Rolle.

Die Grenze zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung ist fließend. Viele Projekte tragen beide Aspekte in sich. Die Weltraumforschung ist ein Beispiel für diese Symbiose. Da geht es um grundlegende, ja philosophische Fragen, wie die Existenz von Leben auf anderen Planeten. Dafür ist die Entwicklung vieler Technologien notwendig: Satelliten, Raumsonden oder Raketen. Anwenden und Erkennen gehen Hand in Hand.



Bild: Privat

Dr. Norbert Lossau, Ressortleiter Wissenschaft „Die Welt / N24“

ROSETTA-MISSION WARTET MIT ERGEBNISSEN AUF

Erkenntnisse von Philae und VIRTIS in Science und Nature veröffentlicht

Die Auswertungen der Daten des Landers Philae, der am 12. November 2014 auf dem Kometen Churyumov-Gerasimenko landete und rund 60 Stunden lang Messungen durchführte, bestätigten zum Teil bisherige Erkenntnisse, lieferten aber auch überraschende Informationen über die Beschaffenheit des Schweifsterns. Mit den Kameras von Philae konnte beispielsweise der Kometenboden so detailliert wie nie zuvor aufgenommen werden. Erstaunt hat die harte Oberfläche des letztlichen Landeplatzes mit dem Namen Abydos: Unter einer nur dünnen Staubschicht befindet sich poröses, aber dennoch festes Eis, in das sich die Hammersonde des Landers, MUPUS, vergeblich einzuhämmern versucht hatte. Die Ergebnisse wurden in einer Sonderausgabe von Science (Juli 2015) veröffentlicht.

Auch im Fachmagazin Nature war die Rosetta-Mission ein Thema. Das internationale VIRTIS-Team berichtete über die Beobachtungen des Infrarotspektrometers VIRTIS auf dem Orbiter Rosetta. Es konnte Quellen für die kometare Aktivität identifizieren. Schließlich wurde auch die entenförmige Gestalt des Kometen erklärt: Sehr wahrscheinlich sind zwei Kometen im noch jungen Sonnensystem zusammengestoßen und bildeten den heute sichtbaren Doppelkörper. „Um die gemessene geringe Dichte und die gut erhaltenen Schichtstrukturen beider Kometenteile zu erklären, muss der Zusammenprall bei kleinen Geschwindigkeiten sehr sanft erfolgt sein“, berichtet DLR-Kometenforscher Dr. Ekkehard Kührt, der die wissenschaftlichen Beteiligungen des DLR an der Rosetta-Mission leitet.

DLR.de/rosetta



Bild: Nature

QUANTENKRYPTOGRAPHIE IM FLUG

Erwin Schrödinger-Preis für neues Verfahren zum sicheren Datenaustausch

Für die Ergebnisse ihrer Forschung zum sicheren Datenaustausch via Quantenschlüsselverteilung wurde ein Team aus DLR-Ingenieuren und Wissenschaftlern der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) mit dem Erwin Schrödinger-Preis ausgezeichnet. Der weltweit sichere Austausch eines geheimen Schlüssels ist die Basis für jegliche kryptografische Verfahren. Die Quantenkryptografie bietet durch Ausnutzung quantenmechanischer Gesetze eine Möglichkeit für die nachweislich sichere Verteilung eines geheimen Schlüssels. Schon 1984 wurde von Ch. Bennet und G. Brassard ein Verfahren vorgeschlagen, in welchem die Polarisation, also die Ausrichtung von Photonen (Lichtquanten) ausgenutzt wird. Dass dies in der Glasfaser und über ortsfeste Freistrahlsverbindungen funktioniert, wurde bereits nachgewiesen.



In Zusammenarbeit von DLR-Ingenieuren und LMU-Physikern gelang es nun, einen sicheren Schlüssel für die Kommunikation zwischen bewegten Partnern zu generieren. Ein zuvor erstmals für optische Luft-Boden-Kommunikation eingesetztes Flugterminal auf dem DLR-Forschungsflugzeug Do 228-212 und eine Empfangsstation im DLR Oberpfaffenhofen dienten als Basis, in welche die quantenkryptografischen Systeme der LMU für das Experiment integriert wurden. Die Preisträger hoffen, die Ergebnisse auf Satelliten übertragen zu können und so den weltweiten Austausch sicherer Schlüssel zu ermöglichen.

Der Erwin Schrödinger-Preis wird von der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren und vom Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft für herausragende Arbeiten interdisziplinärer Forschung verliehen. Die Forscher von DLR und LMU führten für den Gewinn des Preises 2015 ihre langjährige Erfahrung in der optischen Freiraumkommunikation mit dem Wissen zur Quantenschlüsselverteilung zusammen.

s.DLR.de/xe8k

An die Do 228-212 wurde ein spezielles Laserterminal montiert, das die Polarisationszustände der einzelnen Lichtquanten auf eine Empfangsstation übertrug

SKYFALL AUS 28.000 METER HÖHE

BEXUS 20 startet seinen Flug in die Stratosphäre vom Esrange Space Center aus. Von Ballonspitze bis Gondelboden erstreckt sich der gesamte Ballontrain über eine Länge von bis zu 100 Metern.

Beim Studentenprogramm BEXUS in Nordschweden dabei

Von Fiona Lenz

„3 – 2 – 1 – GO!“ Erwartungsvolle Stille. 37 ewige Sekunden lang. Teamleiterin Katharina Schütze sitzt vor einem kleinen Metallgehäuse, in dem eine rote Kapsel von einem Gewirr von Kabeln umgeben ist. Gestern haben die sieben Darmstädter Studenten bis spät in den Abend gegrübelt und getestet, um ihr Experiment für den Ballonflug fertig zu machen. Da waren es sechs Sekunden Reaktionszeit. Heute, am Mittwochmorgen, passiert gar nichts mehr. Ratlosigkeit. Multi-MINI heißt das kleine rote Gerät, das die Kernkomponente des Experiments COSPA (Collection Of Stratospheric Aerosol Particles) darstellt. Es soll hier am Esrange Space Center in Schweden in der Gondel des Ballonexperiments für Universitäts-Studenten BEXUS mitfliegen. Seine Aufgabe: Mit Hilfe zweier Pumpen soll es Luft aus der Stratosphäre einsaugen. Über einzelne geöffnete Ventile soll die Atmosphärenluft mit den darin enthaltenen Partikeln und Teilchen auf Probenträger gelangen. Ein dezentes Klicken. „Ventil geöffnet!“, sagt Katharina erleichtert.

Es ist Freitagmittag, der Ballon hätte bereits gestern starten sollen. Krisenmeeting. Es gibt wieder Schwierigkeiten. Wieder COSPA. Erst mit den Pumpen, dann mit den Ventilen, jetzt mit der Software. Sobald ein Problem gelöst ist, taucht das nächste auf. Alex Kinnaird, Payload-Manager und somit Verantwortlicher für BEXUS 20, muss gemeinsam mit den Programmleitern des DLR und der schwedischen Raumfahrtbehörde SNSB sowie der Europäischen Weltraumorganisation ESA eine Entscheidung treffen: Am Samstag um 10 Uhr startet der Countdown für BEXUS 20 – ob mit oder ohne COSPA. Weitere Verzögerungen lassen das Wetter und das nahe Ende der Kampagne nicht zu. Hilflosigkeit in den Gesichtern der Mitglieder von COSPA. Bei den Tests zu Hause an der Technischen Universität in Darmstadt hatte alles funktioniert. Der kleine Teilchensauger überstand selbst die Kältekammer bei minus 80 Grad Celsius problemlos.

„Hört mal zu: Ich arbeite seit über 30 Jahren in der Raumfahrt – und glaubt mir, so was passiert. Auch Raumfahrtexperten. Also entspannt euch, das ist völlig normal. Wir finden eine Lösung“, muntert Kampagnen-Manager Mark Smith das Team auf. Inzwischen werden die beiden anderen BEXUS-20-Teams, HACORD und CPT Scope, langsam ungeduldig. Sie wollen endlich abheben. „Okay“, sagt Alex, „das Team COSPA bleibt hier und wir überlegen, wie wir heute Nachmittag vorgehen, damit der Start morgen mit allen drei Experimenten an Bord klappt. Wer COSPA helfen will, darf gerne noch hier bleiben, die anderen können gehen“, beendet er das Meeting.

Keiner geht.

Bild: DLR/Usi

Das Studentenprogramm REXUS/BEXUS ist ein bilaterales Programm von DLR und SNSB. Studierenden wird die Möglichkeit geboten, wissenschaftliche und technische Experimente mit Raumfahrtbezug unter Realbedingungen durchzuführen. Dabei durchlaufen sie ein vollständiges Raumfahrtprojekt, das von der Idee über Design, Bau und Test bis hin zum Flug und der anschließenden Auswertung der Daten reicht. Die deutschen Teams werden dabei von Anfang an durch das DLR Raumfahrtmanagement und von Ingenieuren vom Zentrum für Angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation, dem ZARM, betreut und unterstützt.

BEXUS ist ein ungesteuerter Stratosphärenballon, der in eine Höhe von 25 bis 30 Kilometer aufsteigt. Während der zwei- bis fünfständigen Flugzeit können die Studenten Experimente im Bereich der Atmosphärenphysik, Ballon- und Raumfahrttechnik, Strahlenbiologie und -physik, Fernerkundung und Kommunikation durchführen. Die Ballonflüge finden jedes Jahr im Herbst statt. Bei REXUS, dem Raketenprojekt des Studentenprogramms, wird eine sechs Meter lange, einstufige Rakete in 80 bis 90 Kilometer Höhe geschossen. Die Gesamtflugzeit beträgt knapp sieben Minuten, wobei nach Ausbrennen des Motors die Drehung der Rakete so abgebremst werden kann, dass für 120 Sekunden beinahe Schwerelosigkeit herrscht. Die REXUS-Raketen werden im Frühjahr von Esrange aus gestartet. Sowohl bei den Raketen als auch bei den Ballons ermöglichen Telemetriesysteme während des Fluges die Übertragung von Daten und Kommandos.

Knapp vier Stunden programmieren Studierende der beiden anderen Teams von BEXUS 20 gemeinsam mit den zwei Elektrotechnikern von COSPA an der Software des Teams. „Ohne die Hilfe von Andy, Hannes und Anton wären wir wohl nicht funktionsfähig mitgeflogen“, stellt Katharina ernüchtert fest. Es ist Freitagabend, die Sonne ist 200 Kilometer nördlich des Polarkreises schon lange hinter den Bergen um Esrange verschwunden. „Team COSPA, seid ihr bereit für „Power on“?“, fragt Payload-Manager Alex. Zögerliches Nicken, viele gedrückte Daumen. „Pumpe 1 ist an – hört ihr was?“, will Katharina von ihren Teamkollegen wissen, die an der Gondel stehen und lauschen. Ja. Die Pumpe funktioniert, das Experiment empfängt alle Befehle und läuft problemlos. Durchatmen. Der Flugkompatibilitätstest, kurz FCT, kann beginnen – mit dem Darmstädter Team.

Der Test ist die finale Überprüfung am Boden. Die Gondel wird vom monströsen Startfahrzeug Hercules auf den sogenannten „Sweet Spot“ des Startfelds gefahren. Die Kommunikation erfolgt nun über eine große Bodenantenne, die über dem Startfeld auf dem Radarberg von Esrange thront. Alle Systeme werden angeschaltet, auch das Gondel-Telemetrie-

System E-Link. Steht die Verbindung zwischen Experiment und Bodenstation? Reagieren die Experimente auf Befehle der Studenten? Wird die Verbindung zum Esrange Balloon Service System, kurz EBASS, gestört? Das System sorgt später dafür, dass der Ballon abgetrennt wird und sicher landet. Vor dem FCT hatten die Jungwissenschaftler mit ihren Experimenten bereits individuelle Funktionsprüfungen sowie den Interferenztest durchlaufen: Die selbstgebauten Gerätschaften sind in oder an der Gondel montiert und mit E-Link verbunden. Die Tests im Vorfeld sind wichtig, um sicherzugehen, dass sich die Experimente bei Messungen oder der Datenübertragung nicht gegenseitig stören. Die Tests – vor allem der FCT – können sehr zeitaufwändig sein. Am Samstagmorgen geht alles ganz schnell, nach zweitägiger Wartezeit laufen alle drei Experimente – auch COSPA – auf Anhieb problemlos.

COSPA soll über verschiedene Zeiträume hinweg Teilchen in der Stratosphäre sammeln, die dann in einem Probensammler, dem Multi-MINI, auf zwölf Probenträger mit Substraten gegeben werden. Größere Teilchen treffen auf einen Probenträger auf Bor-Basis, die kleineren folgen dem Luftstrom und landen auf einem sogenannten TEM-Grid, einem Kohlenstoffprobenträger, der von einem Nickelnetz stabilisiert wird. Katharina, die ihre Doktorarbeit über die Entstehung polarer stratosphärischer Wolken schreibt, möchte so herausfinden, was für Partikel dort oben in 28.000 Meter Höhe sind. Die weniger als einen Mikrometer kleinen Teilchen könnten terrestrischen Ursprungs sein, etwa Vulkanasche, aber auch Folge menschlichen Handelns, wie Flugzeugemissionen. Vielleicht finden die Geowissenschaftler von COSPA bei der Analyse aber auch extraterrestrische Partikel wie Kometenstaub. Erst wenn die Proben unter dem Elektronenmikroskop analysiert sind, wissen die Studenten Genaueres.

Der letzte offizielle Schritt vor dem Beginn des Countdown ist dann das sogenannte Flight Readiness Review. Dabei geht Payloadmanager Alex mit seinen drei Teams nochmal alle Schritte durch: Letzte Vorbereitungen der Experimente, Beginn des Countdown, Verhalten während des Fluges. Die Studenten sind angespannt. Seit knapp einem Jahr arbeiten sie auf den Ballonstart hin. Sie sollen bei BEXUS erleben, wie ein Raumfahrtprojekt abläuft. Echte Experimente, echte Forschung, echte Verantwortung. So muss auch jeder Teamleiter schriftlich bestätigen, dass sein Experiment flugbereit ist. Auch Katharina unterschreibt das Papier. Man merkt ihr die Nervosität an. Herzklopfen. Hoffentlich klappt alles. Hoffentlich gibt es nicht wieder Probleme mit COSPA.

Rien ne va plus. Um 11:17 Uhr am Samstagmorgen ist es so weit: Der Ballon steigt. Wie eine riesige Qualle erhebt er sich vom Startfeld. Gebannt verfolgen unzählige Augenpaare und jede Menge Kameras,

Bild: DLR/UTSI



Für die Teilnahme an der BEXUS-20-Kampagne haben sich Studierende der Elektrotechnik, des Maschinenbaus und der Geowissenschaften aus Darmstadt zum Team COSPA zusammengefunden: oben von links Srivathsan Raghavan Sundarasrinivasan, Markus Hartmann, Nico Langsdorf, Felix Wittmann, unten von links Andreas Taufertshöfer, Katharina Schütze und Vaishnavi Srinivasan

wie Hercules die Gondel loslässt – und dann schwebt ein Jahr Arbeit der Studenten mit Hilfe von 12.000 Kubikmetern Helium in den bewölkten Himmel Nordschwedens. Kurze Erleichterung, dann eilen die Teams an ihre Bodenstationen.

Bereits im Oktober 2014 endete die Bewerbungsfrist für die BEXUS-Kampagne. Im Dezember mussten die Studenten dann ihre Idee vor einer Jury aus Experten von DLR, SNSB, ESA und ZARM präsentieren. Sie entscheidet, welche Experimente auf die Gondeln kommen. Wichtig ist aber auch, welche der Studentexperimente zusammenpassen. In welcher Höhe soll geforscht werden? Benötigt das Team Tageslicht oder ist ein Nachtflug gefordert? Wie lange soll der Ballon in der Stratosphäre sein? „Wir mussten auch schon einem Team mit einem wirklich guten Experiment absagen, weil es komplett andere Anforderungen an den Flug hatte als alle anderen Experimente“, erinnert sich Maria Roth, DLR-Leiterin des REXUS/BEXUS-Programms. Das sei sehr schade, manchmal aber leider nicht vermeidbar.

Bevor die Studenten zum Flug nach Esrange reisten, hatten sie jede Menge Arbeit vor sich. Das Experiment musste geplant und gebaut, Workshops besucht werden. Experten vom ZARM kamen zu ihnen, um den Fortschritt und die Funktionsfähigkeit zu überprüfen. Außerdem ist die Dokumentation des gesamten Projekts fester Bestandteil der Kampagne.

Bild: DLR/UTSI



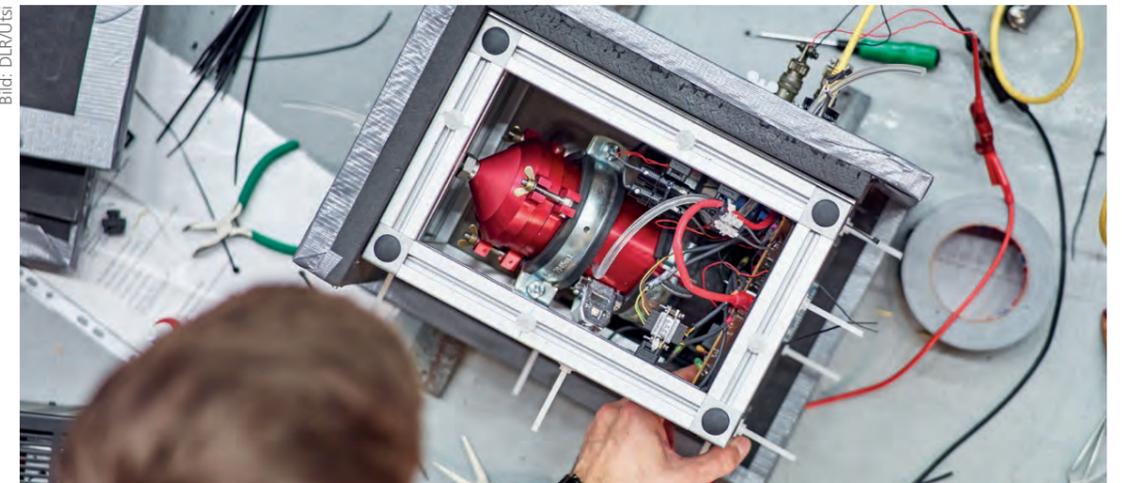
Bereits im September 2015 wurde COSPA in Richtung Schweden verschickt. Auf Esrange hatten die Studenten nochmal die Gelegenheit, letzte Änderungen am Experiment vorzunehmen.

Bild: DLR/UTSI



Um während der Tests besser an die Elektronik von COSPA zu gelangen, ist das Gehäuse bis zum Countdown noch teilweise geöffnet

Bild: DLR/UTSI



Während des Fluges können es in der Ballongondel bis zu minus 70 Grad Celsius werden. Um den eisigen Temperaturen zu begegnen, legten die Studenten einen Handwärmer unter die rote Kapsel, den sogenannten Multi-MINI, bevor sie die Isolation vollständig anbrachten.



Bild: DLR/M. Becker

BEXUS-20-Team CPT SCOPE (Cosmic Particle Telescope): Die Studenten der Universität Trondheim, der Freien Universität Berlin, der TU Berlin und der Beuth Hochschule Berlin erprobten einen neuartigen Sensor zur Messung von Elektronen und Protonen



Bild: DLR/M. Becker

BEXUS-20-Team HACORD (High Altitude Cosmic Ray Detector): In verschiedenen Atmosphärenhöhen haben Studenten der belgischen Universität Antwerpen Fluss und Winkelverteilung kosmischer Strahlung gemessen



Bild: DLR/Ütsi

BEXUS-21-Team FREDE (FCF Decay Experiment): Studierende der polnischen TU Breslau erforschten den Zerfall von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW)

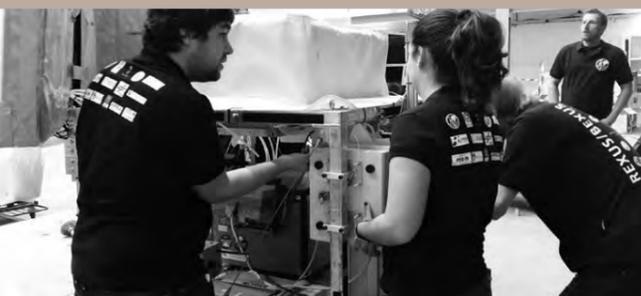


Bild: Team SPADE

BEXUS-21-Team SPADE (Smartphone Platform for Acquisition of Data Experiment): Studierende der spanischen Universität Sevilla nutzten Smartphones als Datenaufzeichnungsplattform für Stratosphärenflüge und die kabellose Datenübertragung innerhalb der Ballongondel

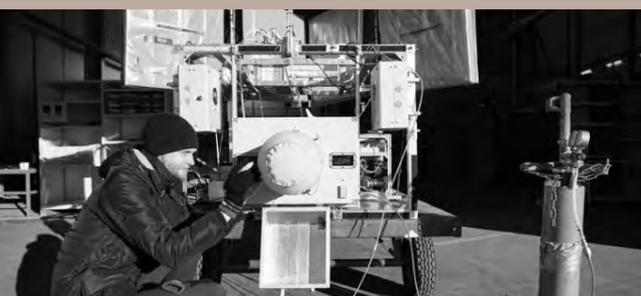


Bild: DLR/Ütsi

BEXUS-21-Team InTex (Inflatable Textile based antenna): Stabilität und Haltbarkeit einer mit einem Polymer getränkten, aufblasbaren Antenne testeten Studenten der TU Dresden

Die Dokumentation von COSPA umfasst bereits über 100 Seiten – dabei fehlen noch die Auswertung der Daten und die Ergebnisse.

„Natürlich hat das Semester darunter gelitten – aber wann schickt man schon mal etwas, das man selber gebaut hat, in die Stratosphäre?!“, erzählt Nico Langsdorf über seine Beweggründe, im Team COSPA mitzumachen. Felix Wittmann ergänzt: „Endlich kann man sein Wissen praktisch anwenden. Wir hatten nur die Rahmenbedingungen und ein Ziel – die Umsetzung war komplett uns überlassen. Und dabei ging es nicht nur darum, irgendetwas zusammenschustern. Es musste auch dokumentiert und visualisiert werden. Und am Ende funktionieren“. Die beiden Maschinenbaustudenten der Hochschule Darmstadt waren für Design und Konstruktion des Experiments verantwortlich.

Die Motivation für die BEXUS-Kampagne ist bei den anderen Teilnehmern ähnlich. „Wir waren mehrmals kurz vor dem Punkt, alles hinzuschmeißen, aber Aufgeben war keine Option“, sagt Jesse Van Muiden vom Team HACORD, „man lernt einfach unglaublich viel bei so einem Projekt – praktisches Arbeiten, Fehler erkennen, Fehler beseitigen. Das sind alles Dinge, die im Unialltag so nicht passieren.“

Ziel vom REXUS/BEXUS-Programm ist, dass die Studenten genau das erleben: den kompletten Ablauf eines Raumfahrtprojekts. Planung und Design, Konstruktion und Dokumentation – und manchmal eben auch Rückschläge. „Wir haben Ingenieure der ZARM-Fallturmbetriebsgesellschaft in Bremen damit beauftragt, die Studenten während ihrer Vorbereitungen zu begleiten, da sie als Experten gezielt unterstützen und beraten können“, sagt Maria Roth, „die Studenten arbeiten mit sehr viel Engagement an ihrem Projekt. Wir wollen natürlich, dass der Flug am Ende für alle Teilnehmer ein Erfolg wird.“

Etwa vier Stunden nach Ballonstart: Die Teams verfolgen konzentriert die Datenübertragung an ihren Bodenstationen. „Cut-Down in fünf Minuten“, kündigt Alex das Ende des Ballonfluges an. Beim Cut-Down wird der Ballon in der Luft abgetrennt, ein kleiner Fallschirm unterhalb des Ballons geht auf und bremst den Sturz der Gondel vom Himmel ab. Das Team COSPA sitzt gespannt vor dem Laptop an ihrer Bodenstation. Viel ist darauf nicht zu sehen, lediglich welche Pumpe läuft und welches Ventil geöffnet ist. Jetzt sollte theoretisch alles abgeschaltet sein, bereit für den Fall der Gondel.

30 Minuten später, um 13:41 Uhr, bricht die Verbindung zu BEXUS 20 planmäßig ab, die Gondel landet irgendwo in Finnland, 130 Kilometer von Esrange entfernt. Zum Bergen der Experimente samt Gondel und Ballon wird ein Hubschrauber von Esrange losgeschickt. Er ortet die Gondel, bringt sie in eine sichere Position, kappt die Stromverbindungen zu den Experimenten und nimmt COSPA mit seinen sensiblen Proben bereits mit zurück. Der Rest wird von einem LKW abgeholt. Das kann manchmal bis zu zwei Tage dauern, in Schweden und Finnland gibt es entschieden mehr Wald als Weg.

Katharina sitzt wieder vor dem kleinen Kasten, der die wertvolle rote Kapsel enthält. Die Schaumstoffisolierung ist durch die Sonneneinstrahlung angeschmolzen und verformt. Nico und Felix lösen die Isolation vorsichtig, um an den Probensammler zu kommen. Aufgeregt verfolgt Katharina, wie die einzelnen Schrauben der Verkleidung gelockert werden. COSPA hat den Flug gut überstanden, der Multi-MINI ist unversehrt. Freude bei den sieben Studenten, ihr Experiment hat erfolgreich einen Stratosphärenflug hinter sich gebracht.

Die Proben werden unter größten Vorsichtsmaßnahmen von der Teamleiterin in einem separaten Raum entnommen, Gummihandschuhe sind angesagt, um die Proben nicht zu verunreinigen. „Bei einigen Proben erkennt man schon mit bloßem Auge, dass etwas darauf ist“, stellt Katharina begeistert fest, während sie die einzelnen Träger in Transportdöschen verpackt. Was sich auf den Präparaten genau abgelagert hat, wird sie allerdings erst unter dem Rasterelektronenmikroskop im Labor in Darmstadt feststellen können.

s.DLR.de/zv6

Bild: DLR/Ütsi



Im „Dom“, der großen Ballonhalle auf Esrange, haben die Studententeams einen eigenen Arbeitsbereich, um ihre Experimente für den Stratosphärenflug vorzubereiten

Bild: DLR/Ütsi



Das Befüllen des Ballons mit Helium dauert etwa zehn Minuten. Dann erhebt sich der Ballontrain und das Startfahrzeug Hercules (rechts im Bild) gibt die Nutzlast frei.



WASSERSTOFF AUS DIESEL

DLR-Forscher haben mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie im EU-Projekt NEMESIS2+ ein Verfahren entwickelt, um Wasserstoff aus Diesel und Biodiesel herzustellen. Es kann dort eingesetzt werden, wo Wasserstoff dezentral benötigt wird – beispielsweise für das Betanken von Brennstoffzellenfahrzeugen oder für Prozesse in der Glas- und Stahlindustrie. Im Zuge des Projekts wurde auch ein Anlagenprototyp erfolgreich getestet. Im Vergleich zu Druckwasserstoff zeichnen sich flüssige Brennstoffe wie Diesel durch ihre rund siebenmal höhere volumetrische Energiedichte aus, sie sind einfacher zu transportieren und zu lagern. Der Anlagenprototyp erzeugt in einer Stunde aus 20 Litern Biodiesel rund 4,4 Kilogramm Wasserstoff – was in etwa der Tankfüllung eines Brennstoffzellenfahrzeugs der B-Klasse entspricht.

ELEKTROFAHRZEUGE – JA ODER NEIN?

Die Wissenschaftler des Instituts für Fahrzeugkonzepte im DLR Stuttgart entwickelten im EU-Projekt I-CVUE (Incentives for Cleaner Vehicles in Urban Europe) ein Online-Tool, mit dessen Hilfe sich Fahrzeugflottenbetreiber wie Taxiunternehmen oder Carsharing-Anbieter kostenlos berechnen lassen können, ob sich der Umstieg von konventionellen auf elektrisch betriebene Fahrzeuge lohnen würde. Bei der Berechnung der Gesamtkosten pro Fahrzeug werden unterschiedliche Kriterien und Annahmen wie Fördermöglichkeiten oder Prognosen über die Benzin- und Elektrizitätspreisentwicklung berücksichtigt. Zusätzlich kann der Nutzer einzelne Annahmen individuell anpassen. So ermöglicht das Programm den Vergleich verschiedener Szenarien und eine detaillierte Auswertung.



FLUGVERSUCHE ZU ALTERNATIVEN TREIBSTOFFEN

Zum Vermessen der Emissionen und Kondensstreifen von Verkehrsflugzeugen bei der Verwendung alternativer Treibstoffe führte das DLR vom 21. September bis 9. Oktober 2015 vom Flughafen in Manching aus Flugversuche durch. Alternative Treibstoffe in der Luftfahrt bieten eine Perspektive, den Einfluss des Flugverkehrs auf die Luftqualität und das Klima zu reduzieren. Die Forschungsflüge finden im Rahmen des Projekts ECLIF (Emission and Climate Impact of Alternative Fuels) statt. Zwei DLR-Forschungsflugzeuge fliegen in typischen Reiseflughöhen zwischen neun und zwölf Kilometern in Formation, angeführt vom zweistrahligen Airbus A320 ATRA. Dahinter messen die Wissenschaftler an Bord der DLR-Falcon die Abgaszusammensetzung und die Eigenschaften von Kondensstreifen in einer Entfernung von 100 Metern bis 20 Kilometern.



GALILEO-SATELLITEN 9 UND 10 IM ORBIT

Alba und Oriana – das sind die Namen der jüngsten Mitglieder der Galileo-Familie. Die beiden Navigationssatelliten wurden am 11. September 2015 in den erdnahen Weltraum gebracht. Im All angekommen, waren sie vom Europäischen Raumfahrt-Kontrollzentrum der ESA (ESOC) in Darmstadt zunächst „auf Herz und Nieren“ geprüft worden. Am 20. September konnten Alba und Oriana für den regulären Betrieb an das Galileo-Kontrollzentrum im DLR Oberpfaffenhofen übergeben werden. Mit den beiden Neuzugängen sind nun zehn der 30 Satelliten des Galileo-Systems im Orbit. 2011 waren die ersten Satelliten gestartet worden. 2020 soll die vollständige Flotte eine genauere Positionsbestimmung auf der Erde ermöglichen als bestehende Navigationssysteme – und das jederzeit, metergenau und politisch unabhängig.



FÜR DIE KOMMUNIKATION IM OUTBACK

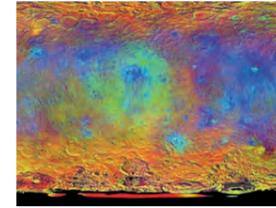
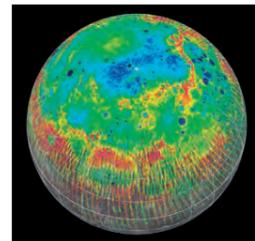
Eine Ariane 5-Trägerrakete brachte am 30. September 2015 von Französisch-Guayana am nordöstlichen Ende von Südamerika aus zwei Telekommunikationssatelliten in einen Erdorbit. Einer der Satelliten wird Fernseh- und Internetsignale für Argentinien bereitstellen, der andere Satellit wird ganz Australien mit Fernsehen und schnellem Internet versorgen. Letzteres ist besonders wichtig für die Menschen und Familien, die im australischen Outback leben. Vor allem die Kinder sind auf E-Learning angewiesen: Über das Internet verbinden sie sich mit der Schule und können so zu Hause per Video-Stream unterrichtet werden. Dafür benötigen sie eine gute Internetanbindung, weswegen die australische Regierung den Satelliten bezahlt und betreibt.



Bild: ESA, CNES, Arianespace

MERKUR ROTIERT SCHNELLER

Merkur dreht sich im Durchschnitt neun Sekunden schneller um die eigene Achse als bisher angenommen worden war. Das bedeutet: Einen Punkt auf seinem Äquator würde man nach vier Jahren um 700 Meter verschoben wiederfinden. Durch präzise Höhenmessungen des Laser-Altimeters MLA an Bord der NASA-Raumsonde MESSENGER und den Vergleich der Laserdaten mit Geländemodellen, die aus den Kameradaten der Raumsonde gewonnen wurden, haben Wissenschaftler unter Leitung des DLR die Abweichung festgestellt. Ein korrektes Rotationsmodell braucht man unter anderem für präzise Karten, die wiederum für die Planung zukünftiger Missionen zum Merkur wichtig sind. Möglicherweise stört Jupiter die Bahn des kleinsten, sonnennächsten und schnellsten Planeten unseres Sonnensystems, sodass sich der Abstand zur Sonne und als Folge auch seine Rotationsgeschwindigkeit ändern.



KARTE VON PLANET CERES

Der Zwergplanet Ceres wird seit März 2015 von der NASA-Sonde Dawn umkreist. An der Kartierung und Namensgebung von Regionen und markanten Oberflächenstrukturen ist das DLR beteiligt. Um den vielseitigen Asteroiden möglichst genau zu erfassen, arbeitet das DLR unter anderem mit der Internationalen Astronomischen Union (IAU) zusammen. Mit der Veröffentlichung zwei neuer Karten Ende September 2015 gelang den Wissenschaftlern ein Schritt zum besseren Verständnis der faszinierenden Topografie des kleinen Körpers: Zum einen ist da eine farblich kodierte, topografische Karte, die mehr als ein Dutzend neuer, kürzlich von der IAU genehmigter Namen für Oberflächenstrukturen enthält. Zum anderen wurde eine Ceres-Karte veröffentlicht, die erstmals Unterschiede in der Komposition der Oberfläche in Falschfarben und im globalen Kontext hervorhebt.



GELD FÜR NEUEN SOLARTURM

Für den Bau eines Multifokus-Solarturms in Jülich stellen das Land Nordrhein-Westfalen 5,2 und der Bund 1,05 Millionen Euro bereit. Der circa 50 Meter hohe Turm wird mit drei Versuchsebenen ausgestattet. Dort werden Forscherinnen und Forscher an besseren Wirkungsgraden von solarthermischen Turmkraftwerken sowie an Verfahren zur Herstellung von solaren Treibstoffen arbeiten. Der neue Solarturm soll in den nächsten drei Jahren neben dem seit 2009 bestehenden Kraftwerksturm gebaut werden. Auf drei Versuchsebenen, die mit Messtechnik und Versuchsanlagen ausgestattet sind, können die Wissenschaftler in Zukunft mehrere Versuche parallel durchführen. Das vorhandene Spiegelfeld wird dabei so erweitert, dass es für beide Türme eingesetzt werden kann.



Bild: Twentieth Century Fox

DER WEG DES MARSIANERS

Zum Kino-Erfolg „Der Marsianer“ haben DLR-Wissenschaftler die Route mit Stereobildern ihrer Marskamera HRSC rekonstruiert und in einem Video (s.dlr.de/6lm0) umgesetzt. Im Film versucht „Der Marsianer“ Mark Watney, sein Leben auf dem Roten Planeten zu retten, indem er sich auf den monatelangen Weg zum Krater Schiaparelli aufmacht. Dort steht die rettende Rakete Ares 4. Auf der 3.000 Kilometer langen Route muss er durch das Tal Mawrth Vallis in das Marshochland vordringen. Aus ihren hochgenauen digitalen Geländemodellen der Region Arabia Terra leiteten DLR-Wissenschaftler realistische, perspektivische Ansichten der Gebiete ab, durch die Mark Watneys Odyssee führt. Mawrth Vallis ist in engerer Wahl als Ziel für das Landemodul der ESA-Mission ExoMars.

REGIONALMELDUNGEN

STUTT GART: Elektrische Antriebe sind für Züge, Autos und Fahrräder ein Thema – weniger im Flugverkehr. Das DLR-Institut für Technische Thermodynamik entwickelt nun bis Mitte 2016 einen fliegenden Viersitzer namens HY4. Ein Brennstoffzellen-Batterie-System wird ihn antreiben. Der Flughafen Stuttgart unterstützt das Projekt mit 180.000 Euro. Mit Solarantrieb, Brennstoffzellen und Hybridformen gibt es mittlerweile eine Reihe von Ideen und Möglichkeiten, zukünftig auch den Luftverkehr mit alternativen Energien zu realisieren.

BREMEN/BRAUNSCHWEIG: Im EU-Projekt CHATT (Cryogenic Hypersonic Advanced Tank Technologies) erforschten DLR-Wissenschaftler Tanks für kryogene Treibstoffe wie Wasserstoff oder Methan. Besonders für Hyperschall-Systeme ist flüssiger Wasserstoff als Treibstoff wegen seines hohen Energiegehalts von Bedeutung. Untersucht wurde das Treibstoffmanagement sowie der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen bei Tanks für kryogene Treibstoffe. Ein Carbon-Faser-Komposit-Material (CFK) könnte das Gewicht des Tanks reduzieren und gleichzeitig für mehr Stabilität in der Struktur sorgen.

LAMPOLDSHAUSEN: Energie-Experten diskutierten am 3. Wasserstofftag im DLR am 17. September 2015, wie Wasserstoff als Speicher für regenerative Energien dienen kann. Eingesetzt werden soll er in der Automobilindustrie, bei der Erzeugung von Wärme und Strom und als Treibstoff für Tests von Raumfahrtantrieben. Eine Demonstrationsplattform für Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff ist für das Projekt H₂ORIZON im DLR Lampoldshausen geplant.

BRAUNSCHWEIG/DÜSSELDORF: Neue Technologien für sichereren und flüssigeren Stadtverkehr sind am 7. Oktober 2015 in Düsseldorf demonstriert worden. In der vierjährigen Forschungsinitiative UR:BAN (Urbaner Raum: Benutzergerechte Assistenzsysteme und Netzmanagement) haben DLR-Verkehrsforscher mit Partnern unter anderem die Car2X-Kommunikation weiterentwickelt, also die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Straßeninfrastruktur, wie zum Beispiel Ampeln. Auch intelligente Leitkegel, die Fahrzeuge vor Spurwechseln warnen, kamen zum Einsatz.

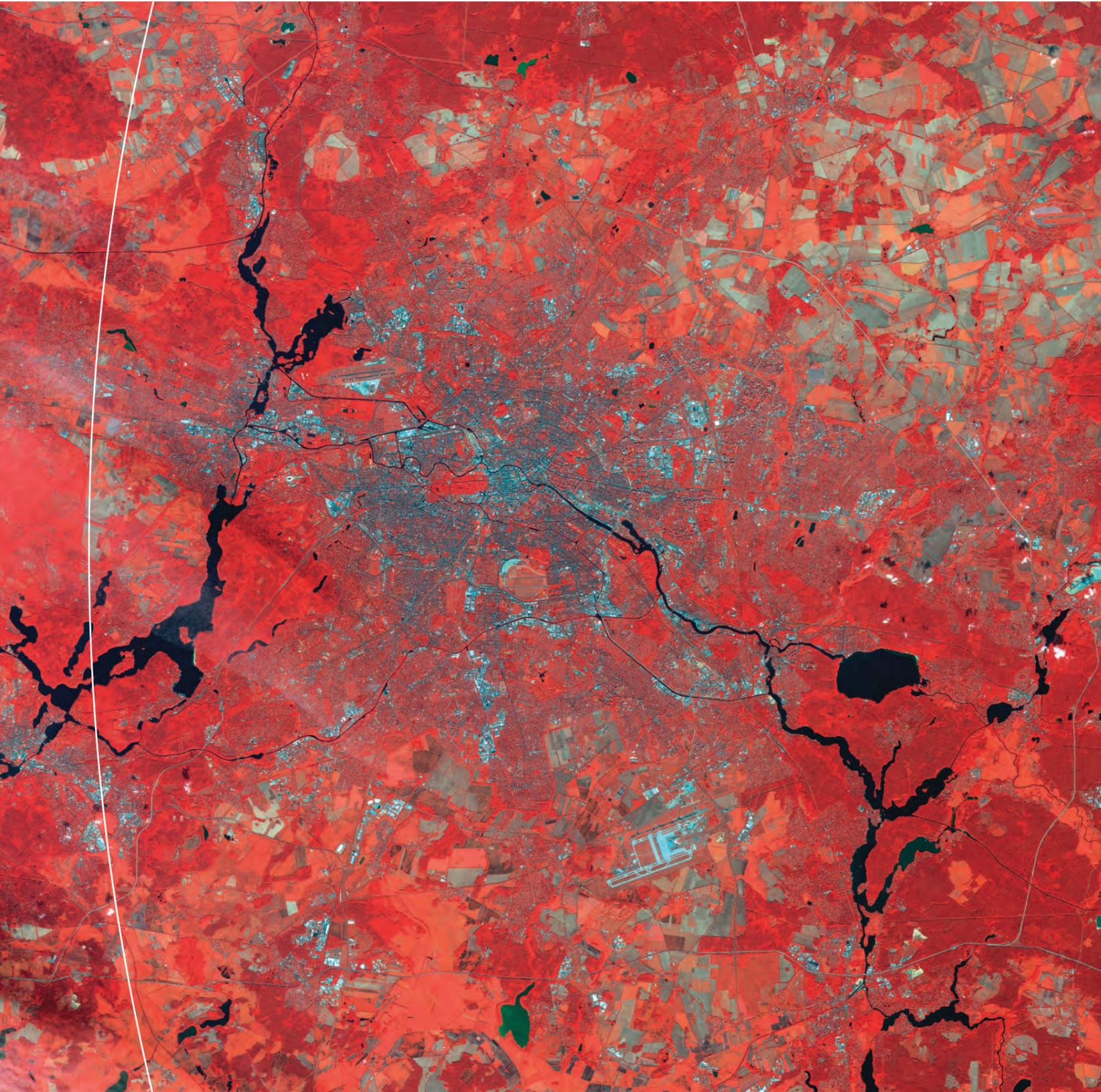
BREMEN/ROTEBURG: Der zweite deutsche CanSat-Wettbewerb fand in Bremen und Rotenburg statt. Dafür hatten 69 Schülerinnen und Schüler aus fünf Bundesländern sieben Monate lang ihre Miniatursatelliten entwickelt. Anfang Oktober 2015 konnten sie die CanSats, in Größe und Form ähnlich einer Getränkedose, in den Himmel schießen. Das Mädchenteam „URSinvestigators“ des Gymnasiums Erzbischöfliche Ursulinenschule aus Köln testet ein System zum Nachweis von Wasser auf Planeten und gewann damit den Wettbewerb.

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

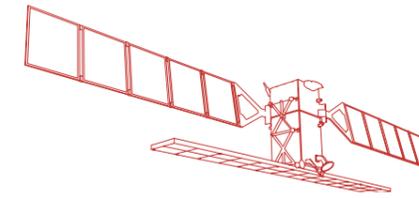
DLR.de/newsletter



Sentinel-2-Aufnahme vom Großraum Berlin am 12. September 2015 als Falschfarbenkomposit. Die Darstellung der im Infraroten aufgenommenen Wellenbereiche in roten Farbtönen macht die Unterschiede in der Vegetation besonders gut sichtbar.

Bild: Copernicus Sentinel data (2015)/ESA

COPERNICUS: ERDBEOBACHTUNG 4.0



Die Erde im Blick:
Mit dem Sentinel-Programm beginnt ein neues Kapitel

Von Gunter Schreier

25. April 2015, 11:56 Uhr Ortszeit: Das Dach der Welt, der Himalaya, aufgeworfen durch die indische Kontinentalplatte, die hier unter der eurasischen Platte abtaucht, wird von einem der stärksten Erdbeben seit Jahrzehnten erschüttert. Das Epizentrum des Bebens liegt 80 Kilometer nordwestlich der nepalesischen Hauptstadt Kathmandu. Internationale Hilfsorganisationen machen sich auf, die Verschütteten zu bergen und den Verletzten zu helfen. Auch das DLR hilft. Eingefallene Gebäude, zerstörte Baudenkmale und unzugängliche Täler werden mit Hilfe aktueller Satellitenbilder rasch kartiert. Spezialist für diese Arbeiten im DLR: das Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) am Erdbeobachtungszentrum (EOC) in Oberpfaffenhofen. Das ZKI kann diesmal auch auf sehr hochauflösende Luftbilder der nepalesischen Hauptstadt zurückgreifen, die bei einer DLR-Flugkampagne im Januar 2014 aufgenommen wurden.

Die Daten des DLR machen nicht nur die massiven Zerstörungen, sondern auch deren Ursache sichtbar. Die Wissenschaftler und Ingenieure am EOC berechnen den durch das Beben verursachten Bodenversatz (siehe Abbildung am Ende des Beitrags) und zeigen, dass große Teile des Landes innerhalb weniger Sekunden um mehrere Meter verschoben wurden. Hierfür vergleichen sie von Satelliten aufgezeichnete Radarsignale der Region vor und nach dem Beben. Dank solcher interferometrischer Verfahren können Bewegungen im Zentimeter-Bereich – bei kontinuierlicher Beobachtung sogar im Millimeter-Bereich – gemessen werden. Die Daten stammen diesmal jedoch nicht von dem vielfach bewährten deutschen Satellitengespinn der Mission TanDEM-X, sondern von dem europäischen Radarsatelliten Sentinel-1, der erst vor eineinhalb Jahren in seine Umlaufbahn gebracht wurde.

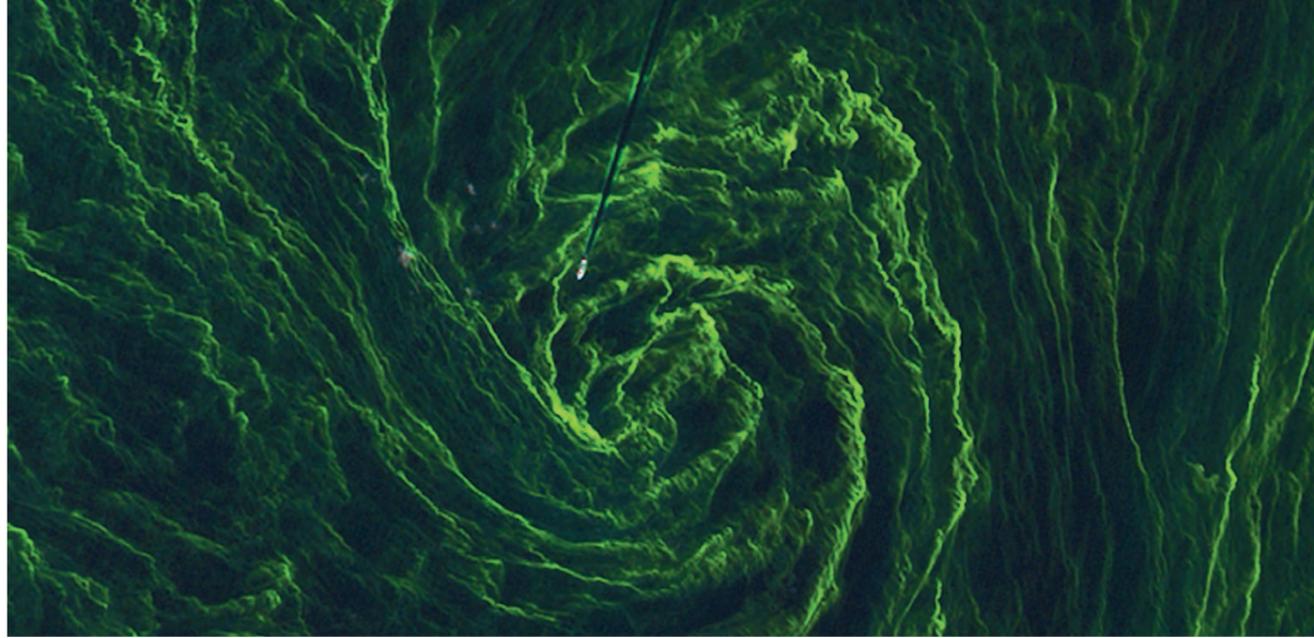
Sentinel-1 ist der erste Satellit einer ganzen Flotte, die im Rahmen des europäischen Copernicus-Programms in Betrieb genommen wurde. Er markiert einen Meilenstein in der europäischen Erdbeobachtung. Denn an die Stelle von zeitlich befristeten, nationalen oder europäischen Einzelmissionen tritt nun eine langfristig finanzierte und auf Kontinuität ausgelegte europäische Gesamtstrategie. Diese berücksichtigt neben den Sentinels auch die verschiedenen nationalen Erdbeobachtungsmissionen und die bodengebundenen In-situ-Daten. Damit wird erstmals eine verlässliche und langfristig verfügbare Datenbasis geschaffen, mit der Wissenschaft, Behörden und Firmen in Zukunft planen können.

Erweiterter Nutzerkreis

Bislang war es für Planungs- oder Katastrophenschutzbehörden unklar, ob ihre Arbeitsgrundlagen – spezielle Satellitendatentypen und Erdbeobachtungsmissionen – auch in den nächsten



Das oberbayerische Voralpenland mit München am linken Bildrand auf einer Aufnahme von Sentinel-2 (13. August 2015)



Algensturm in der Ostsee auf einer Sentinel-2-Aufnahme vom 4. September 2015. Ein Schiff passiert das Auge des Sturms, es ist als kleiner weißer Punkt erkennbar.

Bild: Copernicus Sentinel data (2015)/ESA



Wüste in Saudi-Arabien mit landwirtschaftlicher Nutzung. Die Kreisflächen auf der Sentinel-2-Aufnahme stammen von Bewässerungssystemen; die Bewässerung rotiert um die zentrale Wasserzufuhr.

Bild: Copernicus Sentinel data (2015)/ESA

DIE HIMMLISCHEN WÄCHTER

Es gibt sechs Sentinel-Missionen im Copernicus-Programm. Jeweils zwei Satelliten einer Sentinel-Mission werden dabei gleichzeitig im Orbit sein.

Sentinel-1: C-Band-Radar mit synthetischer Apertur (SAR) zur Beobachtung der Ozeane, Polgebiete und von Landflächen bei jeder Bewölkung, Tag und Nacht; Start: 3. April 2014.

Sentinel-2: Optisches Instrument mit 13 Spektralkanälen mit maximal 10 Meter Auflösung und 290 Kilometer breiten Aufnahmestreifen, kontinuierliche Kartierung der Landoberflächen der Erde; Start: 23. Juni 2015.

Sentinel-3: Mehrere Instrumente zur Beobachtung des Landes und der Ozeane, Hauptinstrument mit 21 Spektralbändern und einer Auflösung von 300 Metern, Abdeckung der gesamten Erde mit zwei Satelliten in weniger als zwei Tagen; Start des ersten Sentinel-3: geplant für Dezember 2015.

Sentinel-4: Nutzlast auf dem geostationären Meteosat-Satelliten der dritten Generation (MTG) zur Beobachtung der Spurengase in der Atmosphäre; Start: geplant ab 2018.

Sentinel-5: Atmosphären-Nutzlast polar umlaufender Satelliten der zweiten MetOP-Generation; Start: geplant ab 2019.

Als Überbrückung der Beobachtungslücke bis dahin dient der **Sentinel-5-Precursor**; Start: geplant für 2016.

Sentinel-6: Radaraltimeter zur Vermessung der Meere; Start: geplant ab 2019.

Jahren oder Jahrzehnten noch zur Verfügung stehen werden. Mit Copernicus ändert sich das. Vorbild sind die europäischen Wettersatelliten, die 1983 mit der Gründung von EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites; Europäische Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten) in ein kontinuierliches europäisches Programm überführt wurden. Aber nicht nur Meteorologen brauchen Informationen von Satelliten. Neben dem Katastrophenmanagement möchten auch andere Behörden und Dienste auf aktuelle Satellitendaten, beispielsweise für Land- und Forstwirtschaft, Städteplanung, Umwelt- und Naturschutz, vielfältige Planungsaufgaben, sichere Schifffahrt und anderes mehr zugreifen. Mit der kontinuierlichen Datenversorgung durch Copernicus erweitert sich der Nutzerkreis immens. Kommerzielle Anbieter von Geoinformationsdienstleistungen können erstmals diesen verlässlichen und kostenfreien Datenzugang nutzen, um neue Informationsdienste zu entwickeln, die sie auf dem Markt anbieten können. Und natürlich profitiert auch die Wissenschaft von langfristigen Datenreihen. Vegetation und Landbedeckung können künftig über Jahrzehnte hinweg mit den Daten der Sentinel-Satelliten vermessen werden und liefern so wichtige geowissenschaftliche Parameter und Indikatoren. Nicht nur für die Erforschung des globalen Wandels, sondern auch für den Umgang mit den Veränderungen sowie für das Management knapper werdender Ressourcen ist das von unschätzbarem Wert.

Copernicus ist neben dem europäischen Satellitennavigationssystem Galileo das zweite große Programm der Raumfahrtstrategie, die von der europäischen Kommission 2004 beschlossen wurde. Die Europäische Weltraumorganisation ESA und zum Teil auch EUMETSAT sind im Copernicus-Programm mit der Entwicklung und dem Betrieb der Satelliten und der Bodeninfrastruktur betraut. Teile der Bodeninfrastruktur werden im Auftrag der ESA von Einrichtungen in den Mitgliedsstaaten betrieben. So auch am EOC im DLR Oberpfaffenhofen.

Copernicus führt auch die langjährigen Datenreihen fort, die bis 2012 von der ESA-Erdbeobachtungsmission ENVISAT (Environmental Satellite, Umweltsatellit) und zuvor von ERS-1 und ERS-2 (European Remote Sensing Satellite) geliefert wurden. Mit seinem Radar, seinen optischen Systemen und seinen Atmosphärensensoren waren auf der ENVISAT-Plattform bereits Vorläufer der heutigen Copernicus-Messgeräte vertreten. Statt

jedoch wie früher alle Sensoren auf einen großen Forschungssatelliten zu platzieren, sieht Copernicus sechs dedizierte Missionen vor. Diese werden als Sentinels (englisch für Wächter) bezeichnet. Jeweils zwei Sentinels einer Serie sollen parallel betrieben werden.

Aktuelle Dienste

Um die Nutzung der neuen Satellitendaten im planerischen, politischen und wirtschaftlichen Tagesgeschäft in Europa zu fördern, wurden zunächst sechs Kerndienste ins Leben gerufen. Durch die Kommission beauftragte Konsortien erzeugen aus dem ständigen Strom an Sentinel-Daten Karten zur aktuellen Landnutzung, Übersichten über Naturschutzgebiete, tagesaktuelle Prognosen zur Luftverschmutzung und vieles mehr. Das EOC ist mit seiner wissenschaftlichen Expertise vielgefragter Partner bei solchen Copernicus-Diensten. Die Ergebnisse der Dienste werden von Organisationen, wie der Europäischen Umweltagentur in Kopenhagen (EEA), den Bürgern Europas und der Welt frei und öffentlich über das Internet zur Verfügung gestellt.

Für einige der Anwendungen ist Zeit ein kritischer Faktor. So nutzt die Europäische Behörde für maritime Sicherheit in Lissabon Sentinel-1-Daten, um Ölflecken zu detektieren und deren Verursacher an den Küsten Europas dingfest zu machen. Die Küstenwache benötigt die Informationen wenige Minuten nach ihrer Aufnahme, um mit entsprechenden Maßnahmen aktuell reagieren zu können. Die zentralen Empfangs- und Prozessierungseinrichtungen des Copernicus-Bodensegments können diese Geschwindigkeit nicht immer realisieren. Daher empfangen einige ESA-Mitgliedsstaaten die Sentinel-Daten direkt über eigene Bodenstationen und prozessieren sie nahe Echtzeit zu den gewünschten Informationen.

Auch das EOC des DLR empfängt und verarbeitet die Sentinel-Daten in Echtzeit, das geschieht am DLR-Standort in Neustrelitz in Mecklenburg-Vorpommern. Diese Sentinel-1-Daten bilden dabei nicht nur eine wichtige Informationsquelle für die Forschungsstellen Maritime Sicherheit des DLR in Bremen und Neustrelitz, sondern sie stehen ebenso Partnern aus Wissenschaft und Industrie zur Verfügung.

Free & Open

Die Sentinels liefern innerhalb weniger Tage ein Gesamtbild der Erde mit einer maximalen geometrischen Auflösung von bis zu zehn Metern. Für viele globale Monitoring-Aufgaben ideal, doch noch zu gering aufgelöst, um beispielsweise im Rahmen humanitärer Zwecke Flüchtlingslager oder Städte zu kartieren. Hier beschafft das Copernicus-Programm Daten von kommerziellen Satellitenmissionen, die für kleinere Ausschnitte

eine höhere Auflösung liefern können. Diese werden zumeist von Firmen oder in einer „Public Private Partnership“ mit staatlichen Einrichtungen betrieben, wie die DLR-Missionen TerraSAR-X und TanDEM-X zusammen mit Airbus.

Im Gegensatz zu diesen meist kommerziellen „Copernicus Contributing Missions“ sind die Daten und Produkte der Sentinel-Satelliten grundsätzlich kostenfrei und für alle Nutzer offen zugänglich. Um die Entscheidung für diese „Free & Open“-Datenpolitik wurde politisch hart gerungen. Letztlich waren aber der Druck aus der Wissenschaft, die klare Abgrenzung zu den kommerziellen Missionen und die positiven Erfahrungen in den USA mit einer ähnlichen Politik ausschlaggebend. In den USA stieg nicht nur die wissenschaftliche Nachfrage nach globalen Daten sprunghaft an. Nach der Freigabe der Landsat-Daten haben viele kommerzielle Geoinformations-Firmen und Dienstleister auf diese freie Datenquelle gesetzt und neue Märkte erschlossen. Die Datenpolitik „Free & Open“ wird deshalb auch im Copernicus-Programm als ein gangbarer Weg gesehen.

„Free & Open“ heißt, dass grundsätzlich alle Sentinel-Daten über Internetportale weltweit für Wissenschaftler und kommerzielle Anbieter zur Verfügung stehen. Herausforderung dabei ist, dass die Copernicus-Nutzer schnell genug auf die Daten zugreifen und die enormen Datenmengen verarbeiten können. Google und Amazon können beides. Sie speichern bereits die über die ESA-Portale frei zugänglichen Sentinel-Daten und stellen diese inklusive gewaltiger Rechenkapazität den Nutzern ihrer Infrastruktur weltweit zur Verfügung. Es bleibt abzuwarten, wie sich dieses Engagement der Internet-Giganten weiter entwickelt. In Europa besteht diesbezüglich Nachholbedarf: sowohl an leistungsfähigen Datennetzen als auch an großen, global agierenden Internetfirmen mit fast unbegrenzten Speicher- und Rechnerkapazitäten.

Nach dem Start des ersten Sentinel-Satelliten im April 2014 wurde den Verantwortlichen für das Copernicus-Programm in Brüssel klar, dass es nicht reicht, Satellitendaten zu erzeugen und die Dienste in der Europäischen Union prioritär mit Daten zu versorgen, sondern dass es notwendig ist, den Zugang dazu für alle Nutzer zu erleichtern und technisch attraktiv zu machen. Und schließlich können erst in Kombination mit großer Rechen- und Speicherkapazität (beispielsweise im Cloud Computing) die Copernicus-Daten für neue Anwendungen effektiv genutzt werden. Erste, nationale und kommerzielle Ansätze für dieses „Big Data“ in der Erdbeobachtung gibt es bereits, auch in Deutschland. Die Europäische Kommission hat parallel begonnen, diese nationalen Bestrebungen zu harmonisieren, um damit die informations- und datentechnischen Herausforderungen in Copernicus zu meistern.



Bild: Copernicus Sentinel data (2015)/ESA

Wunderschönes Detail des Jungersen Gletschers, der in den nordgrönländischen Nordenskiöld Fjord fließt. Das Satellitenbild (Sentinel-2) zeigt die Gletscherbewegung.

Neue Ära

Mit Copernicus beginnt eine neue Ära der Erdbeobachtung. Dies wurde am Earth Observation Center des DLR früh erkannt. Im Wettbewerb mit anderen europäischen Einrichtungen hat es sich deshalb von Beginn an bei Copernicus auch um Aufgaben im sogenannten Nutzlastbodensegment beworben. Technisch steht dieser Begriff für alle Funktionen, mit denen die Sentinel-Daten empfangen, verarbeitet, archiviert und verteilt werden. Als Processing and Archiving Center (PAC) war das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) im EOC bereits für die ESA-Missionen ERS-1, ERS-2 und ENVISAT tätig. Bei Copernicus übernimmt das DFD nun diese Aufgaben für Sentinel-1, Sentinel-3/Land und für den Sentinel-5-Precursor. Alle Daten dieser Copernicus-Missionen laufen über das DLR Oberpfaffenhofen, werden dort für spätere Langzeitauswertungen über viele Jahre gesichert und gelangen von Oberpfaffenhofen aus an die Verteilerknoten im Internet.

Um diesen Datenschatz für die Wissenschaft im DLR und für nationale Anwendungen zu erschließen, wurde parallel im EOC die Initiative für ein „German Copernicus Center“ ins Leben gerufen. Zusammen mit Partnern aus der Industrie hat das EOC einen Vorschlag zur Nutzung der Copernicus-Daten konzipiert. Zentrale Idee ist dabei, die enormen Datenmengen und ihre Verarbeitung örtlich zusammenzubringen und so den zeit- und kostenintensiven Datentransfer zu umgehen. Die Langzeitdatensicherung der wertvollen Daten spielt dabei eine Schlüsselrolle. „Big Data“ am DLR und das Zusammenspiel mit Partnern sind die Antwort auf die Herausforderungen in der Erdbeobachtung. Als Testplattform für ein solches Szenario dient die interne Cloud des EOC,

die „GeoFarm“. Im Projekt OPUS – gefördert vom Bayerischen Wirtschaftsministerium – wird als Vorbereitung auf solche Nutzungsszenarien die Zusammenarbeit mit kommerziellen Partnern bei daten- und rechenintensiven Prozessen bereits erprobt.

Alle Sentinel-Daten – aktuelle wie historische – sollen künftig in diesem Copernicus-Zentrum zusammen mit entsprechenden Rechnerkapazitäten verfügbar sein. Das Deutsche Satellitendatenarchiv (D-SDA) im DFD soll dabei die Langzeitarchivierung und den Zugriff auf alle Sentinel-Daten sicherstellen. Nutzer müssen dann nicht erst Terabyte an Daten auf ihre Rechner herunterladen, sondern können ihre Algorithmen auf die Rechner des künftigen Zentrums spielen und diese zusammen mit den Daten nutzen. Was der Nutzer letztlich zurückbekommt, sind die Ergebnisse. Und auch diese kann er auf der Plattform mit anderen Nutzern teilen, wenn es gewünscht ist. So logisch sich diese Vorgehensweise anhört, so oft auch über Cloud Computing gesprochen wird, so viele technische Herausforderungen und rechtliche Fragen müssen dabei noch angegangen und geklärt werden. Das Erdbeobachtungszentrum des DLR arbeitet an diesen Herausforderungen und entwickelt neue Methoden des „Big Data“ in der Erdbeobachtung: intelligente Algorithmen, effiziente Prozessoren und eine schnelle Verarbeitung von Copernicus-Daten für Umwelt und Sicherheit. Kurzum: Erdbeobachtung 4.0.

Diplom-Geophysiker **Gunter Schreier** koordiniert als stellvertretender Direktor des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums im DLR in Oberpfaffenhofen die Geschäftsentwicklung, insbesondere von Copernicus.

Bild: ESA/P. Carril



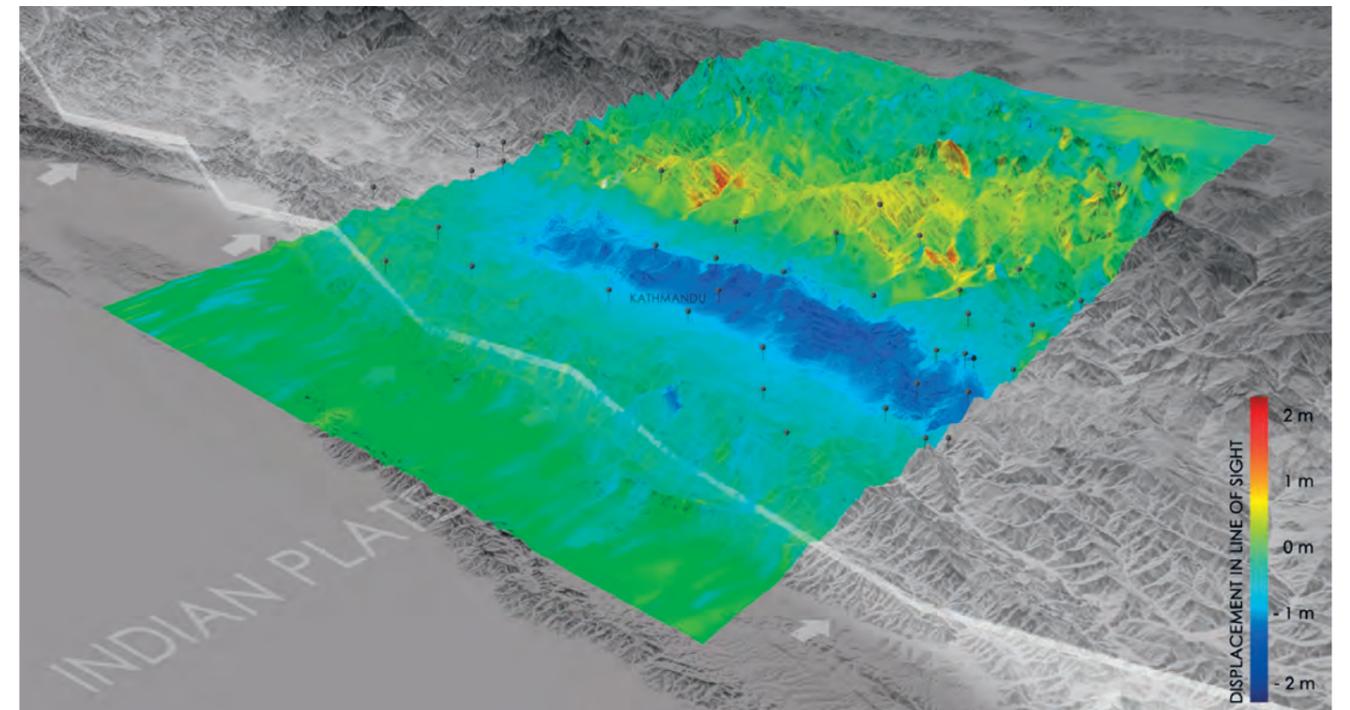
Sentinel-1

Bild:ESA/ATG medialab



Sentinel-2

Nach dem Erdbeben in Nepal am 25. April 2015: Das Sentinel-1-Interferogramm zeigt die Veränderungen. Die entstandenen Deformationen sind farbig kodiert. Nahe der Plattengrenze bewegte sich der Erdboden nach oben (blauer Bereich), weiter nördlich davon sind die damit zusammenhängenden Absenkungen (rot-gelber Bereich) zu sehen – eine Gegenbewegung, wie sie oft bei Beben an Subduktionszonen auftritt.



DIE KERNDIENSTE VON COPERNICUS

Landüberwachung

Informationen und Daten von der lokalen bis zur globalen Ebene bezüglich der Landoberfläche als Basis für thematische Karten und für die Prognose sowie Planung zukünftiger Entwicklungen in den Bereichen Umwelt und Landnutzung.

Überwachung der Meeresumwelt

Daten und Produkte zum Schutz der Meere, von Seewegen und Küstenregionen, Bestandteil zum Beispiel bei Wetter- und Klimavorhersagen.

Katastrophen- und Krisenmanagement

Der Copernicus Emergency Management Service (EMS) bietet Übersichts- und Planungsinformationen für die Entsendung von Hilfskräften und für deren Unterstützung vor Ort.

Überwachung der Atmosphäre

Bereitstellung von Daten zur globalen Verteilung atmosphärischer Spurenstoffe, insbesondere zur Verteilung von Spurengasen und Aerosolen (Feinstaub).

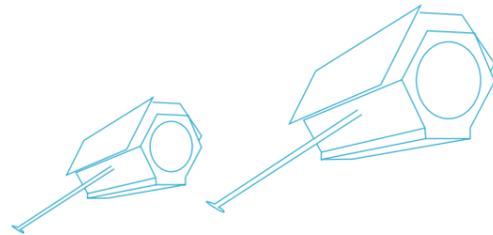
Überwachung des Klimawandels

Noch in der Detaillierungsphase: Produkte und Informationen zur Überwachung des Klimawandels.

Sicherheit

Noch in der Detaillierungsphase: Produkte und Informationen zur Sicherung der zivilen Sicherheit.

SATELLITEN-TANDEM AUF ERFOLGSKURS



3D-Karte der Erde steht kurz vor der Fertigstellung

Von Dr.-Ing. Manfred Zink und Prof. Dr. Alberto Moreira

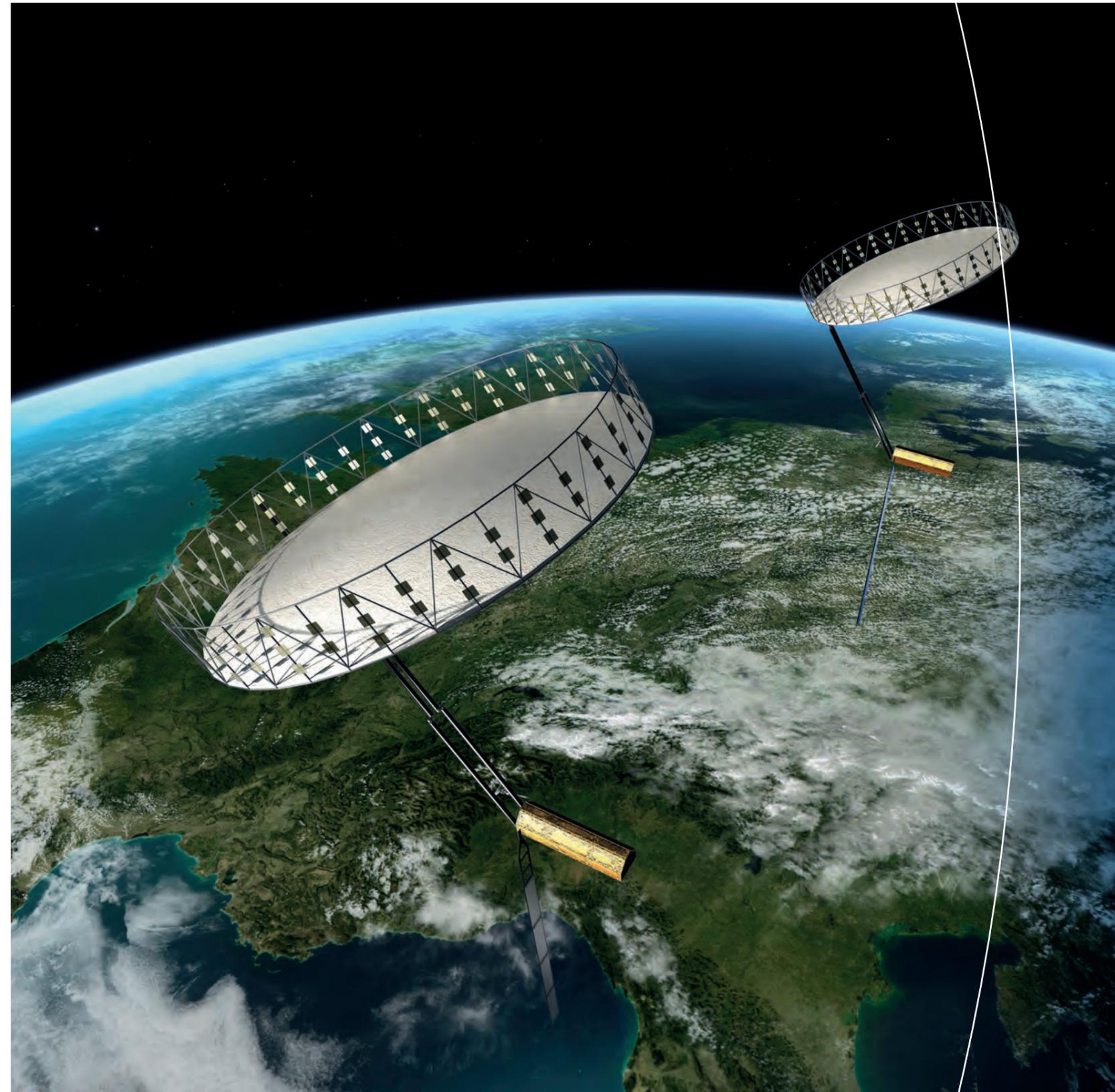
Fünf Jahre nach dem Start steht die Radarsatellitenmission TanDEM-X kurz davor, ihr primäres Missionsziel zu erreichen. Ein Höhenmodell der Erde in bislang unerreichter Genauigkeit ist zu mehr als drei Vierteln fertiggestellt und wird nun der internationalen Wissenschaftsgemeinschaft zur Nutzung bereitgestellt.

Mit dieser Mission wurde in vielen Bereichen Neuland betreten. Der enge Formationsflug der beiden Satelliten bei einem Minimalabstand von 120 Metern ist ebenso zur Routine geworden wie die vielfältigen Manöver, die notwendig sind, um die Formation laufend den Anforderungen an die Aufnahmegeometrie anzupassen. Ähnliches gilt für den Radarbetrieb mit zwei Satelliten, anfangs eine große Herausforderung, doch unumgänglich, um die hohe Genauigkeit der Höhenmodelle sicherzustellen. Das DLR ist weltweit Vorreiter für diese zukunftsweisende Technik, sowohl was den Betrieb der Radarsysteme betrifft als auch im Hinblick auf die notwendige präzise Kalibrierung des Systems. Hier wurden mit TanDEM-X herausragende Benchmarks gesetzt.

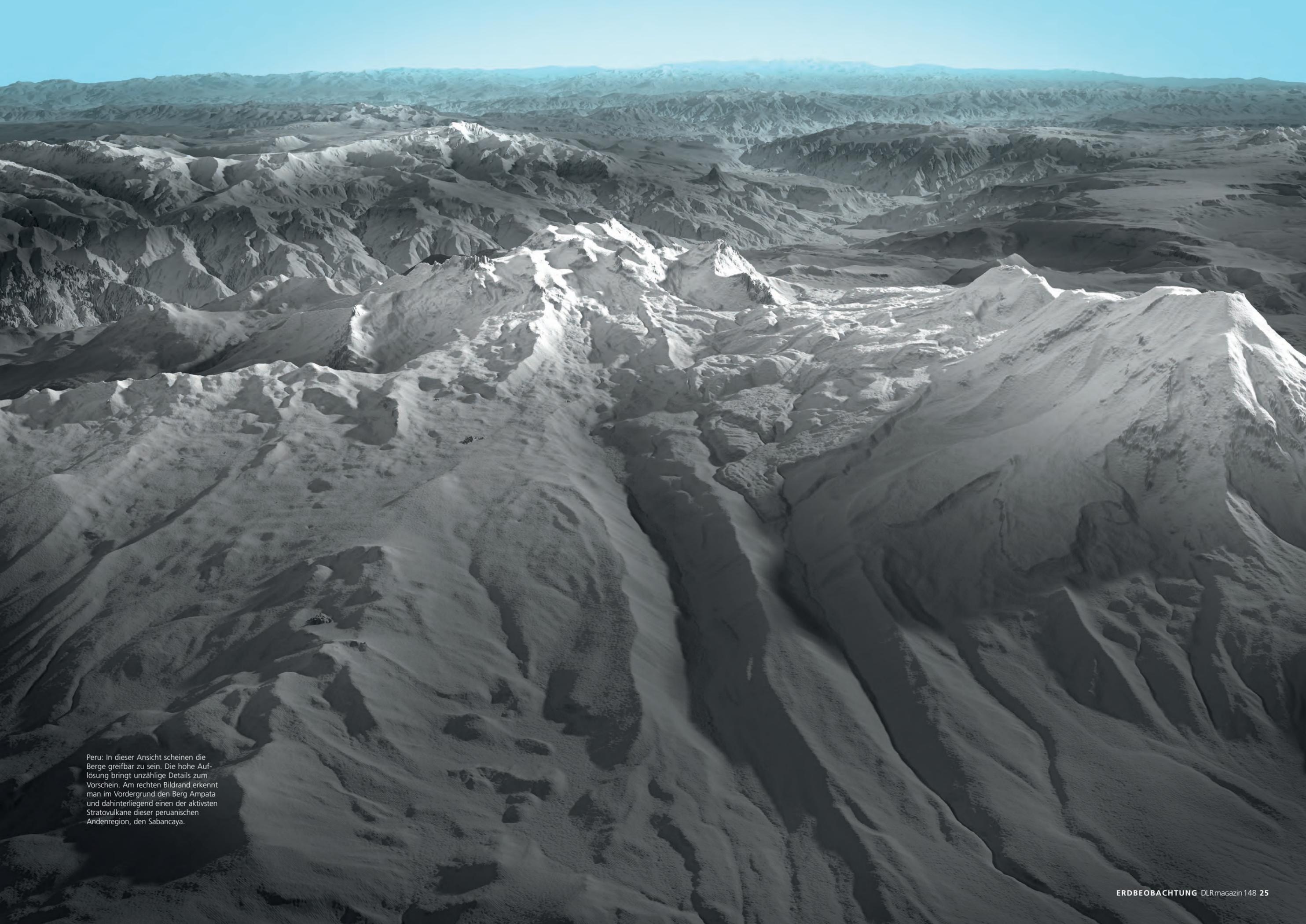
Ein Beispiel ist die millimetergenaue Bestimmung des Abstands zwischen den beiden Satelliten. Sie haben sämtliche Landflächen mindestens zweimal – gebirgiges Gelände sogar bis zu viermal – aufgenommen und so bis Anfang 2015 mehr als 400 Terabyte an Daten für das globale Höhenmodell gesammelt und über ein Netz von Empfangsstationen zur Erde übertragen. Ausgeklügelte Prozessierungsketten verarbeiten die Daten seit 2014 mittels hochgenauer und effizienter Algorithmen zu den finalen Höhenmodellen. Dabei wächst das Datenvolumen auf mehr als 2,5 Petabyte an und treibt die beteiligten Rechnersysteme bis an die Grenzen ihrer Kapazität.

Für gut drei Viertel der globalen Landmassen liegen mittlerweile finale Höhenmodelle vor und die Qualität dieser Daten übertrifft alle Erwartungen. Während die Höhengenaugigkeit durchweg innerhalb der Spezifikation von zwei Metern für flaches, beziehungsweise vier Metern für steileres Gelände liegt, unterbietet der absolute Höhenfehler die Anforderung um eine ganze Größenordnung. Statt der geforderten zehn Meter haben die bisher verfügbaren Daten einen absoluten Fehler von lediglich etwas mehr als einem Meter – ein Resultat der hervorragenden Kalibrierung des Systems.

Neben der Höhengenaugigkeit ist die Vollständigkeit der Abdeckung ein weiteres wichtiges Qualitätsmerkmal. Denn durch Abschattung im Gebirge oder durch zu geringe Rückstreuung der Radarsignale in Wüstengebieten ergeben sich Lücken. Speziell in sandigen Wüsten dringen die Radarpulse in den Boden ein, werden quasi verschluckt und kaum reflektiert.



Grafische Darstellung des Missionsvorschlags Tandem-L: zwei Satelliten im Formationsflug, jeweils mit einem 15 Meter durchmessenden entfaltbaren Reflektor



Peru: In dieser Ansicht scheinen die Berge greifbar zu sein. Die hohe Auflösung bringt unzählige Details zum Vorschein. Am rechten Bildrand erkennt man im Vordergrund den Berg Ampata und dahinterliegend einen der aktivsten Stratovulkane dieser peruanischen Andenregion, den Sabancaya.

Um der geringen Rückstreuung der Radarsignale entgegenzuwirken, wurden die betroffenen Gebiete wiederholt unter steilerem Blickwinkel abgebildet, eine Maßnahme, die in der Sahara und auf der arabischen Halbinsel zur deutlichen Reduktion der Lücken in den Höhenmodellen geführt hat. In Gebirgen konnte durch die dritte beziehungsweise vierte Aufnahme aus der entgegengesetzten Blickrichtung ebenfalls ein Großteil der Lücken geschlossen werden. Insgesamt wird erwartet, dass auch die Anforderung an die Vollständigkeit von 97 Prozent sehr gut erfüllt werden kann.

800 Wissenschaftler weltweit wollen die Daten nutzen

Dieser Datensatz wird jetzt über einen etablierten Prozess der internationalen Wissenschaftsgemeinde zur Verfügung gestellt. Renommierte Wissenschaftler, sogenannte Principle Investigators, können Projektvorschläge einbringen. Wenn diese als gut bewertet und genehmigt werden, erhalten die Wissenschaftlergruppen Zugang zu den Daten.

Beispiele für die Datennutzung reichen von der genauen Georeferenzierung (Kartenprojektion in ein geodätisches Referenzsystem), Infrastrukturplanung (Städte- und Straßenbau), Glaziologie (beispielsweise Beobachtung der Reduktion der Eismassen bei der Gletscherschmelze), Hydrologie (Wasserabflussmodelle und Überflutungsvorhersage), Vulkanologie (Lavavolumenabschätzung bei Eruptionen), Landwirtschaft (Biomasseabschätzung aus der Vegetationshöhe) und Forstwirtschaft (Bestimmung der Waldhöhe) bis hin zur Ozeanografie (Bestimmung von Meeresströmungen).

Mehr als 800 Wissenschaftler weltweit haben sich bereits im DLR-Portal für die wissenschaftliche Nutzung von TanDEM-X-Daten angemeldet und erhalten nach und nach hochaufgelöste Daten für die wissenschaftliche Auswertung und Demonstration neuer Anwendungsfelder.

Bis Ende 2014 konzentrierte sich die Aufnahmeplanung auf das globale Höhenmodell, wissenschaftliche Experimente konnten nur unter diesen Randbedingungen berücksichtigt werden. In der anschließenden wissenschaftlichen Missionsphase wurden die Prioritäten gewechselt und die Abstände zwischen den beiden Satelliten wurden an die wissenschaftliche Nutzung angepasst. Mit Abständen von bis zu vier Kilometern wurden beispielsweise über die gesamte Vegetationsperiode hinweg Agrarflächen beobachtet. Davor wurde ein ganzes Spektrum von

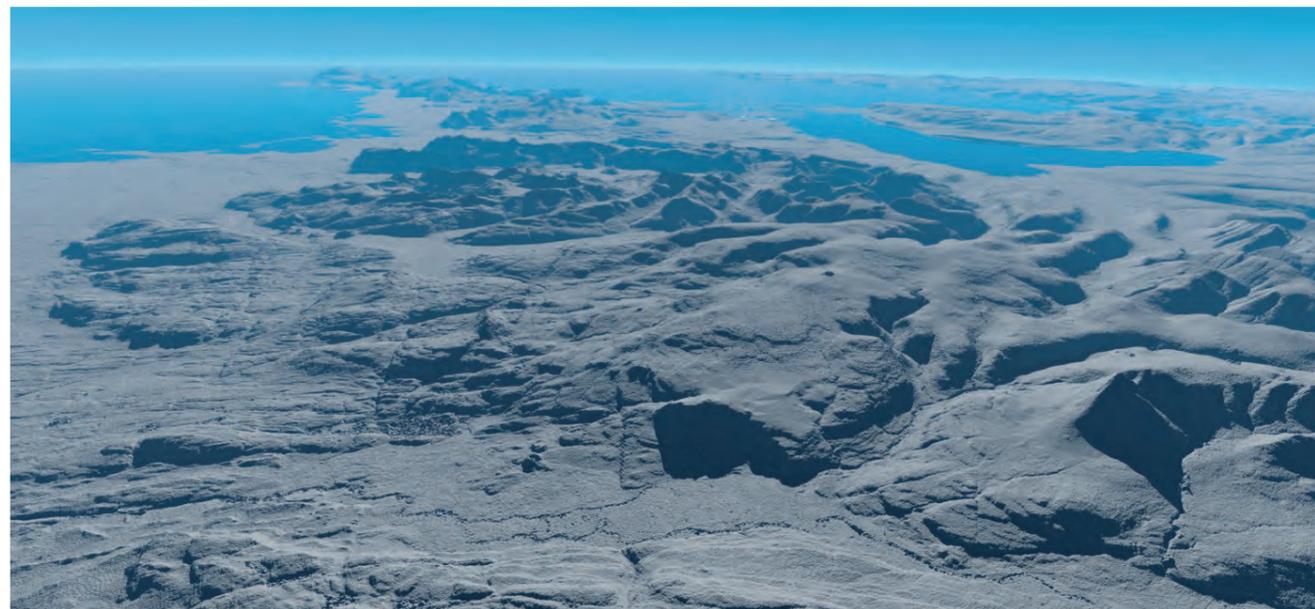
Abständen – sogenannten Basislinien – durchfahren, um zum Beispiel in polaren Regionen tomografische Untersuchungen von Schnee und Eis zu ermöglichen. In all diesen Phasen kann auch der experimentell verfügbare vollpolarimetrische Modus der Radarinstrumente genutzt werden.

Mit Abschluss der wissenschaftlichen Phase Ende 2015 ist aber noch lange nicht das Ende der Mission erreicht. Beide Satelliten funktionieren einwandfrei und haben genug Treibstoff für bis zu fünf weitere Jahre. Einzig beim Kaltgas-Antriebssystem geht der Treibstoff in einigen Monaten zur Neige. Mit einem solchen System wurde bisher die enge Formation gehalten. Es gibt aber schon alternative Lösungen, die ohne Kaltgas auskommen. Der Fokus der Mission liegt dann auf der Erzeugung von noch genaueren Höhenmodellen, mit nur sechs Meter räumlicher Abtastung für begrenzte Regionen. Darüber hinaus sind weiterhin wissenschaftliche Experimente geplant.

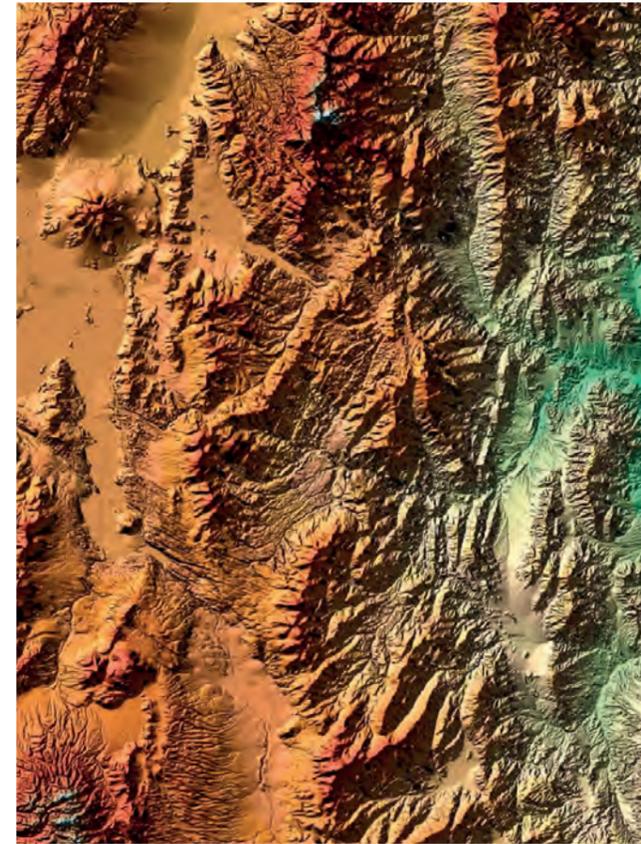
TanDEM-X bereitet den Weg für die zukünftige Radar-Mission Tandem-L

Die Mission TanDEM-X ist ein Meilenstein in der Radarfernerkundung: Zwei Radarsatelliten im Formationsflug als bistatisches SAR-Interferometer sind eine Premiere im Weltraum. TanDEM-X ist aber auch ein Vorreiter für zukünftige Radarmissionen. Seit 2012 arbeiten im Rahmen der Helmholtz-Allianz „Remote Sensing and Earth System Dynamics“ 132 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus acht Helmholtz-Zentren sowie aus 18 Partner- und assoziierten Forschungseinrichtungen intensiv an der Entwicklung neuer Anwendungen und Geoinformationsprodukte für die nächste Generation von Radarsatelliten. Im Fokus der Forschung steht Tandem-L, ein Vorschlag für eine Satellitenmission zur globalen Erfassung dynamischer Prozesse auf der Erdoberfläche in einer bisher nicht erreichten Qualität und Auflösung. Eine Entscheidung zur Realisierung von Tandem-L wird für Anfang 2017 erwartet.

Aufgrund neuartiger Technologien, innovativer Abbildungstechniken und der daraus resultierenden enormen Aufnahmekapazität wird Tandem-L dringend benötigte Informationen zur Lösung hochaktueller wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Fragestellungen aus den Bereichen der Bio-, Geo-, Kryo- und Hydrosphäre liefern. Erstmals wird es mit Tandem-L möglich sein, sieben essenzielle Klimavariablen im Rahmen einer Satellitenmission gleichzeitig zu erfassen. Tandem-L trägt



Diese Aufnahme von TanDEM-X zeigt mittig die isländische Halbinsel Snæfellsnes und im rechten Bildteil den Breidhafjörð mit der Halbinsel Vestfirðir im Nordwesten Islands



Die vielschichtige Ausprägung der Anden in der argentinischen Provinz Catamarca im digitalen Höhenmodell

damit entscheidend zu einem besseren Verständnis des Systems Erde und seiner Dynamik bei. Das macht Deutschland international führend auf dem Gebiet der Fernerkundung mittels Radar.

Wichtige Missionsziele von Tandem-L sind die globale Messung der Waldbiomasse und deren zeitlicher Veränderung zum besseren Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs, die systematische Erfassung von Deformationen der Erdoberfläche im Millimeterbereich für Erdbebenforschung und Risikoanalyse, die Quantifizierung von Gletscherbewegungen und Schmelzprozessen in den Polarregionen, die Überwachung der Dynamik in den Permafrostgebieten, die großflächige Beobachtung von Meeresströmungen sowie die feinskalige Messung von Variationen in der oberflächennahen Bodenfeuchte.

In Zeiten intensiver wissenschaftlicher und öffentlicher Diskussionen über Ausmaß und Auswirkungen von Klimaänderungen wird Tandem-L wichtige und bis heute fehlende Informationen für verbesserte wissenschaftliche Prognosen und darauf aufbauend gesellschaftspolitische Handlungsempfehlungen liefern. Der mit Tandem-L aufgenommene Datensatz eröffnet über die primären Missionsziele hinaus ein immenses Potenzial für die Entwicklung neuer wissenschaftlicher, kommerzieller und hoheitlicher Anwendungen. Ein Beispiel ist die Vorbereitung und Kontrolle internationaler Klima- und Umweltabkommen wie REDD+ (Reduktion von Emissionen aus Entwaldung und Schädigung von Wäldern). Mittels Radartomografie können die benötigten Informationen wie Waldhöhe, Waldbiomasse und deren Veränderungen (beispielsweise durch Abholzung, Waldbrand oder Degradation, aber auch durch Aufforstung) und das vertikale Waldprofil ermittelt werden.

DIE ZUKUNFTSMISSION TANDEM-L AUF EINEN BLICK

Alle acht Tage ist eine aktuelle Abbildung der gesamten Landmasse der Erde verfügbar.

Die Abbildungsleistung aller bisher existierenden SAR-Satelliten wird um mehr als das Zehnfache übertroffen.

Mit Tandem-L kann durch den Einsatz der in Deutschland entwickelten polarimetrischen SAR-Interferometrie und -Tomografie erstmals die vertikale Struktur von Vegetation und Eis global vermessen werden.

Acht Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren und 18 Partner- und assoziierte Einrichtungen beteiligen sich an einer Helmholtz-Allianz zur Vorbereitung einer umfassenden und systematischen Datennutzung von Tandem-L.

Erstmals wird es mit Tandem-L möglich sein, sieben essenzielle Klimavariablen im Rahmen einer Satellitenmission gleichzeitig zu messen.

Tandem-L ist die weltweit erste Mission zur systematischen und hochaufgelösten Beobachtung von dynamischen Prozessen in der Bio-, Geo-, Kryo- sowie Hydrosphäre.

Mehr als 80 Forschungsinstitute haben ihr großes Interesse an der Nutzung der Tandem-L-Daten bereits jetzt bekundet und sind Mitglied im Wissenschaftsteam von Tandem-L.

Das Tandem-L-Missionskonzept nutzt zwei Radarsatelliten im L-Band (23,6 Zentimeter Wellenlänge). Der Einsatz der speziellen Technik des Radars mit synthetischer Apertur (SAR) macht es möglich, die Erdoberfläche hochaufgelöst abzubilden, und das unabhängig von Wetter und Tageslicht. Das ist die optimale Voraussetzung, um dynamische Prozesse auf der Erdoberfläche kontinuierlich zu beobachten. Eine besondere Herausforderung für die Tandem-L-Mission ist es, die Anforderungen der Nutzer zu erfüllen: eine große Streifenbreite, kurze Wiederholraten, hohe Auflösung und vollpolarimetrischer Betrieb. Hierfür wurde von DLR-Wissenschaftlern eine innovative Technologie der digitalen Antenne in Kombination mit einem großen, entfaltbaren Reflektor entwickelt. Die Vorteile der digitalen Strahlformung (Digital Beam Forming) mit der hohen Empfindlichkeit der riesigen Aperturfläche des entfaltbaren Reflektors zu kombinieren, kommt einer technologischen Revolution gleich. Damit übertrifft Tandem-L die Leistungsfähigkeit herkömmlicher Radarsatelliten um mehr als das Zehnfache. Entsprechend den derzeitigen Planungen könnte ein Start der Tandem-L-Satelliten im Jahr 2021 erfolgen. Die revolutionären Techniken und Technologien, die bei Tandem-L zum Einsatz kommen, bilden die Grundlage für zukünftige Generationen von Satelliten-SAR-Systemen. Die Tandem-L-Mission öffnet somit die Tür für ein globales Fernerkundungssystem zur kontinuierlichen Beobachtung der Erdoberfläche, wie es für die Wettervorhersage bereits heute mit einem Netz aus geostationären Satelliten existiert.

Dr.-Ing. Manfred Zink arbeitet im DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme. **Prof. Dr. Alberto Moreira** leitet das Institut.



Kosmonaut Oleg Kononenko mit dem Kontur-2 Joystick im russischen Modul der Internationalen Raumstation ISS

FERNGESTEUERT AUS DEM ORBIT

Telepräsenz-Experimente mit Gefühl: der Kontur-2 Joystick

Von Dr. Elisabeth Rink

Wissenschaftler des DLR-Instituts für Robotik und Mechatronik haben einen weltraumtauglichen Joystick entwickelt. Im August 2015 wurde er auf der Internationalen Raumstation ISS erstmals unter realen Bedingungen in Betrieb genommen. Bei den Telepräsenz-Experimenten steuert ein Kosmonaut auf der ISS mit dem Kontur-2 Joystick einen Roboter im Labor am DLR-Standort Oberpfaffenhofen – und erhält dabei auch eine haptische Rückmeldung. Der Kosmonaut kann am Joystick die Kräfte spüren, die auf den Roboter wirken. Zeitgleich werden über einen Videokanal auch visuelle Informationen vom Roboter übertragen. Mit dieser Anwendung der Telepräsenztechnologie in der Weltraumforschung beschreiten die Wissenschaftler Neuland: Für Menschen zu riskante Explorationsmissionen auf dem Mars oder Mond werden in naher Zukunft möglich sein, ohne dass die Kosmonautinnen und Kosmonauten die Planetenoberfläche betreten müssen. Das Besondere an diesem Telepräsenz-Experiment ist, mit der entstehenden Zeitverzögerung umzugehen. Die am Joystick reflektierten Kräfte müssen für den Kosmonauten möglichst realistisch zu spüren sein. Die erste Experimentreihe wurde im August 2015 erfolgreich abgeschlossen.

Die Zeit ist kostbar

Es ist der 25. August, 13:09 Uhr und 39 Sekunden Weltzeit (UTC). Die DLR-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Kontur-2-Teams starren gebannt auf ein Bildschirmfenster. Ein Labor des DLR Oberpfaffenhofen ist als Bodenstation eingerichtet worden. Vorausgegangen war ein monatelanger organisatorischer Kraftakt, an dessen Ende am 24. Juli 2015 der Transport der notwendigen Komponenten für das Experiment Kontur-2 mit einer Sojus-Rakete zur Internationalen Raumstation und die Integration des Kontur-2 Joysticks in die Infrastruktur der ISS stand. Nun warten alle gebannt auf die Antwort des Kosmonauten Oleg Kononenko, der gleich einen Roboter im DLR-Labor von der ISS aus mit dem Kontur-2 Joystick fernsteuern soll. Große Erleichterung stellt sich ein, als ein „Yes“ im Chatfenster auf dem Bildschirm erscheint: Es bedeutet, dass die Verbindung zur ISS erfolgreich hergestellt wurde, der Kosmonaut die Chatnachricht vom Boden empfangen hat und er mit der Experimentdurchführung beginnen kann. Als die Uhr im Kontur-2-Labor 13:17 Uhr und 45 Sekunden anzeigt, weicht die Anspannung vom Team um Cornelia Riecke. Das letzte Experiment für die Versuchsreihe im August 2015 wurde erfolgreich beendet. Weitere Experimentreihen fanden im Oktober und November statt, eine dritte ist für Anfang Dezember 2015 geplant.

Insgesamt vier Zeitfenster für den Kontakt zwischen der zentralen Bodenstation des DLR in Weilheim (ZDBS) und der ISS standen dem Team im August für die ersten Versuche zur Verfügung. Während eines solchen ISS-Orbits – abhängig von verschiedenen Bedingungen, wie der Flugbahn der ISS oder eventuellen Abschattungen des Funksignals zwischen ISS und Bodenstation – kann die Verbindung im Idealfall bis zu zehn Minuten dauern. In Zusammenarbeit mit dem Kosmonauten im All werden dann verschiedene Experimente durchgeführt. Die Dauer der Funkverbindung wird bestimmt durch den Zeitraum des Überfluges der ISS über die entsprechende Antenne auf der Erde, die für Kontur-2 in Weilheim steht. Denn nur, wenn sich die ISS im Bereich der Sichtbarkeit für die Antenne befindet, kann das Projektteam vom DLR-Institut für Robotik und Mechatronik in Oberpfaffenhofen in Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen in Weilheim eine Verbindung zur ISS herstellen. Da man nicht langfristig und völlig sicher vorhersagen kann, wie lange die Funkverbindung zur ISS tatsächlich dauern wird, ist die Planung schwierig und die Durchführung der Experimente jedes Mal spannend.

Bild: ROSKOSMOS/O. Kononenko.

Vorab gibt es natürlich Prognosen über Dauer und Qualität der Funkverbindung, damit das Team sich entsprechend auf den Versuchsablauf vorbereiten kann. „Bei der ersten Versuchsreihe wurden die Vorhersagen sogar übertroffen“, sagt Projektleiterin Cornelia Riecke. „Die Dauer konnte fast exakt bestimmt werden. Die Qualität der Funkverbindung war aber besser als prognostiziert, sodass wir unsere Versuchsreihen sehr gut umsetzen konnten – eine solide Grundlage für die Folgeexperimente.“

Zudem sind die ISS-Orbits natürlich auch bestimmt von den Arbeitszeiten der Kosmonauten und deren strengem Tagesablauf auf der Weltraumstation: Ein Zeitfenster von zehn Stunden täglich steht den Kosmonauten für ihre Arbeit, zu der auch die Kontur-2-Experimente gehören, zur Verfügung. Die Zeit der Kosmonauten ist überaus knapp: Viele verschiedene Versuche werden an Bord der ISS durchgeführt, daher sind die ISS-Orbits für das DLR-Institut für Robotik und Mechatronik so kostbar. Grundsätzlich festgelegt werden die Termine und die erwarteten Uhrzeiten, zu denen die Experimente stattfinden sollen, etwa drei Wochen im Voraus. Wirklich bestätigt werden sie aber erst eine gute Woche vorher durch das Mission Control Centre in Moskau. Auch das stellt das DLR-Projektteam immer wieder vor neue Herausforderungen, die aber bei der ersten Versuchsreihe mit Bravour gemeistert wurden.

Zuerst muss die Verbindung stehen

Während des Funkkontakts zur ISS arbeitet das gesamte Team konzentriert und unter höchster Anspannung an der Durchführung der jeweiligen Experimente – immer mit einem prüfenden Blick auf die Parameter der Funkverbindung zur ISS und ständig bereit für einen Informationsaustausch mit dem Kosmonauten im All via Chat. Jede Sekunde zählt bei den Versuchen, denn man möchte natürlich möglichst viele Experimente während der kurzen Kontaktzeit durchführen. Dabei ist der Ablauf eines ISS-Orbits eigentlich immer gleich: Zunächst wird in Weilheim angerufen. Vonseiten des DLR wird der Downlink von der ISS zur Erde eingeschaltet, damit Daten von der ISS empfangen werden können. Vom DLR-Standort in Weilheim kommt eine Meldung, sobald die Antennen auf der ISS und in Weilheim optimal aufeinander ausgerichtet sind und eine stabile Datenverbindung gewährleistet ist. Schließ-



Der Kontur-2 Joystick

lich kann das Projektteam den Uplink, also die Datenverbindung von der Erde zur ISS, einschalten. Erst dann können die eigentlichen Versuche starten. Ungefähr eine Minute der ISS-Orbitzeit verstreicht also allein für die Einrichtung der Funkverbindung.

Genauigkeit und Geschicklichkeit

Sobald die Funkverbindung zur ISS steht, kann der Kosmonaut mit dem Experiment beginnen. Dabei ist die Zeitverzögerung eine echte Herausforderung im Projekt Kontur-2: „Eine Verzögerung von etwa 100 Millisekunden entspricht ungefähr der menschlichen Reaktionszeit und bedeutet für den Kosmonauten keine Probleme – für die Roboterregelung sind aber bereits 30 Millisekunden eine sehr große Herausforderung“, erläutert DLR-Wissenschaftler Dr. Jordi Artigas. Auch der mögliche Verlust von Datenpaketen bei der Übertragung erschwert die reibungslose Kooperation von Kosmonaut und Roboter. Die Versuchsreihe besteht aus sechs Einzelaufgaben, die jedes Mal durchgeführt werden – allerdings in unterschiedlicher Reihenfolge. Zur Vorbereitung waren die Kosmonauten Gennadi Padalka, Oleg Kononenko und Sergej Volkov im Dezember 2014 am DLR-Institut für Robotik und Mechatronik in

Oberpfaffenhofen. Dort konnten sie vor Ort mit dem Kontur-2 Joystick den ROKVISS-Roboter (Robotik-Komponenten-Verifikation auf der ISS), das terrestrische Gegenstück am Versuchsaufbau, fernsteuern.

Während der Versuche sind jeweils folgende Aufgaben zu lösen: Zunächst muss der Kosmonaut vorgegebene Positionen am Versuchsaufbau anfahren, und das möglichst schnell und präzise. Eine zweite Aufgabe besteht darin, am ROKVISS-Roboter kontinuierliche Bewegungen auszuführen, dabei wird dem Kosmonauten die Soll-Position durch LEDs angezeigt. Zweck dieser beiden Aufgaben, die ohne Berührung des Roboters mit dem Versuchsaufbau stattfinden, ist es, herauszufinden, wie gut die Kosmonauten in der Lage sind, präzise Bewegungen am System auszuführen – und das trotz Schwerelosigkeit und Zeitverzögerung. Bei den anderen vier Aufgaben liegt der Schwerpunkt auf der Rückmeldung der Kontaktkräfte, die zwischen Roboter und Versuchsumgebung gewollt oder ungewollt auftreten. Hier geht es darum, mit minimaler Kontaktkraft an einer Kontur entlangzufahren, einer Spur am Versuchsaufbau möglichst präzise, schnell und ohne Berührung der seitlichen Begrenzung zu folgen, mit einer vorgegebenen Kraft an einem Federzug zu ziehen, freie Bewegungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durchzuführen und Kontaktkräfte mit unterschiedlicher Stärke und Dauer zum Versuchsaufbau herzustellen. All dies dient dazu, die Qualität der haptischen Rückmeldung, also das, was der Kosmonaut dann auf der ISS am Joystick tatsächlich spürt, zu überprüfen.

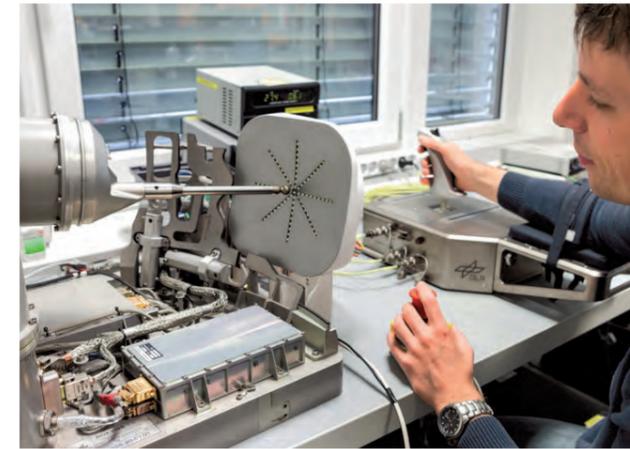
Handshake im All

Insgesamt sieben ISS-Orbits stehen dem DLR-Projektteam in diesem Jahr noch zur Verfügung. Zudem wurden auf der MAKS, dem Moskauer Aerosalon in Schukowski bei Moskau, Ende August 2015 weitere Versuchsreihen für das Jahr 2016 beschlossen. Während der nächsten Experimentreihen sollen die Kosmonauten wieder die gleichen Aufgaben mit dem Joystick lösen. „Nur so kommt man zu belastbaren Ergebnissen“, sagt DLR-Wissenschaftler Dr. Bernhard Weber, der vor allem für die Versuchsplanung und -durchführung zuständig ist. „Da bei allen ISS-Orbits im August die Aufgaben bearbeitet werden konnten, haben wir nun eine sehr gute Grundlage zum Vergleich mit den nächsten Experimenten. Wir hoffen natürlich wieder auf dieselbe Qualität der Datenverbindung sowie eine ausreichende Dauer der Funkverbindung zur ISS.“

Aus der Reihe fallen wird ein ganz besonderes Experiment im November/Dezember 2015: Der erste Tele-Handshake zwischen ISS und Erde. Ein humanoider Roboter des DLR wird jemandem auf der Erde – und das ferngesteuert aus dem All und mit Kraftrückkopplung – die Hand schütteln. Ein ganz besonderer Moment für Institutsleiter Professor Alin Albu-Schäffer: „Es wird das erste Mal sein, dass ein Astronaut im Weltall mit Menschen auf der Erde direkt physisch interagieren kann, mittels eines robotischen Avatars. Zu diesem Event möchten wir prominente Gäste aus der Politik zu uns ans Institut einladen. Das ist wirklich einzigartig.“ Das Projektteam freut sich bereits auf dieses besondere Ereignis und hofft, dass der Tele-Handshake durchgeführt werden kann.

Neben dem möglichst dauerhaften Einsatz des Kontur-2 Joysticks auf der ISS ist es die Vision des Instituts, dass generell haptische Eingabegeräte und Telepräsenzsysteme auch im Weltall stärker Anwendung finden. Mit diesen Systemen könnten Manipulatoren für vielfältige Aufgaben telepräsent ferngesteuert werden; mögliche nächste Schritte wären beispielsweise Servicearbeiten an Satelliten oder der Einsatz für planetare Exploration – und all dies von einer geschützten Arbeitsumgebung aus, der Telepräsenzkontrollstation. „Das DLR-Institut für Robotik und Mechatronik kann dabei eine führende Rolle einnehmen“, so Institutsleiter Albu-Schäffer. „Wir werden die Ergebnisse aus dem Kontur-2-Projekt dafür verwenden, unsere Telepräsenztechnologien am Institut weiterzuentwickeln und weitere Weltraumeinsätze, aber auch terrestrische Applikationen, also Anwendungen auf der Erde, vorbereiten.“

Dr. Elisabeth Rink ist im Institut für Robotik und Mechatronik unter anderem mit der Öffentlichkeitsarbeit betraut.



ROKVISS-Roboter und Kontur-2 Joystick im Test: DLR-Wissenschaftler Martin Stelzer prüft im DLR-Labor die Sensibilität



Kosmonautentraining im Dezember 2014 im DLR: Gennadi Padalka (links) und Oleg Kononenko freunden sich mit Space-Justin an

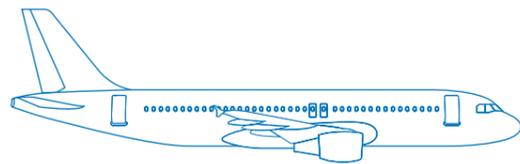
Das Missionsteam von Kontur-2 im „Kontrollraum“ des DLR in Oberpfaffenhofen



MEILENSTEINE DES PROJEKTS KONTUR-2

Qualification Model (QM):	Juni 2014
Qualification Tests (QT):	Juli 2014
Flight Model (FM):	Oktober 2014
Acceptance Test (AT-1):	November 2014
Acceptance Test (AT-2):	Januar 2015
Start zur ISS:	24. Juli 2015
Erste Experimente auf der ISS:	18. bis 25. August 2015
Experimentfortführung auf der ISS:	Oktober bis Dezember 2015

DREIGLEISIG ZU MEHR EFFIZIENZ IN DER LUFT



Von Yvonne Buchwald und Prof. Dr.-Ing. Ralf Rudnik

Was kann der Flugversuch zeigen, was der Windkanal nicht kann? Was vermag die Simulation, wo das Experiment an seine Grenzen stößt? Und vor allem: Wie lassen sich diese Methoden kombinieren und wie lässt sich aus der Schnittmenge eine verlässliche Datenbasis schaffen?

Für die Aerodynamiker ist klar: Betrachtet man den „normalen“ Zustand, für den heutige Passagierflugzeuge ausgelegt sind – nämlich den Reiseflug bei hoher Geschwindigkeit –, so liegen dafür viele verlässliche Daten vor. Wenn es jedoch an komplexe Grenzgebiete geht, das Flugzeug etwa sehr langsam fliegt, wird es für die Wissenschaftler schon viel schwieriger, verlässliche Werte zu ermitteln. Das war die große Herausforderung im DLR-geführten Verbundprojekt HINVA (High lift INflight VALidation). Denn hier ging es darum, eine der wichtigsten fliegerischen Grenzen genauer zu erforschen: den maximalen Auftrieb, genauer den maximalen Auftriebsbeiwert eines Flugzeugs. Der spielt vor allem bei der Landung eine große Rolle. Um ein Flugzeug im Landeanflug bei weniger als 250 Kilometern pro Stunde in der Luft zu halten, braucht es zusätzliche Auftriebsfläche. Dafür wird ein komplexes System aus mechanischen Klappen an den Tragflächen ausgefahren, das für eine größere Flügelfläche und -wölbung sorgt – und damit für mehr Auftrieb.

Aber: Es geht auch um zusätzliches Gewicht, zusätzliche Energie, notwendige Landebahnlänge und Lärmbelastung beim Anflug – und darum, wie man diese widersprüchlichen Faktoren künftig besser in Einklang bringen kann. Doch dafür müssen die Wissenschaftler die komplexen aerodynamischen Vorgänge im Langsamflug zunächst einmal besser verstehen, sie brauchen mehr Untersuchungsdaten. Doch welche Methode dafür heranziehen? Ist auf eine Computersimulation Verlass, bei der nur eine mehr oder weniger vereinfachte Umströmungssituation einer „starrten“ Flugzeuggeometrie herausgegriffen und berechnet wird? Sind die Messergebnisse im Windkanal genau, obwohl Modellhalterung und Kanalwände sie beeinflussen? Liefert allein der Flugversuch sichere Ergebnisse, weil sich das Flugzeug hier „real“ verhält, unter Umständen also auch durch die Luftkräfte verformt werden kann? Oder ist es gar umgekehrt und die Computersimulation ist vorzuziehen, weil es im Flugversuch unberechenbare äußere Einflüsse gibt?

Die Forscher entschieden sich im Projekt HINVA für einen neuen Weg, einen Parallel-Weg: Sie führten alle drei Methoden zusammen. Erstmals veranlassten sie in einem einzigen Projekt identische Messungen beziehungsweise Rechnungen mit einer kompletten Flugzeugkonfiguration – im virtuellen Computerlabor, im Windkanal und in der Luft. Simulation und Experiment gingen dabei Hand in Hand, gemessene und berechnete Daten aus Windkanal- und Flugversuchen sowie Simulationen konnten direkt miteinander verglichen werden. Heraus kam eine gemeinsame Datenbasis, ein virtuelles Datenregal sozusagen, aus dem sich die Verbundpartner auch für künftige Forschungsprojekte bedienen können.



Bild: WTD61

Der A320 ATRA ist das größte Flugzeug der DLR-Forschungsflotte. Mit ihm wagten sich Piloten im Projekt HINVA an den extremen Langsamflug heran.

Gleichklang von Windkanalversuch, realem Flug und Rechenmodell

Konzentriert stehen Niko Bier und seine Kollegen an einem kühlen Wintertag Anfang 2014 im Kontrollzentrum des Europäischen Transsonischen Windkanals (ETW). Im Innern der riesigen Stahlröhre herrscht eisige Kälte. Minus 160 Grad. Und der Druck ist enorm: 3,5 bar. Bis zu 250 Kilogramm Stickstoff werden dafür pro Sekunde in die 50 Meter lange Messstrecke gepumpt. Aus sicherer Entfernung beobachten die Forscher an ihren Bildschirmen zunächst, wie sich ihr Flugzeugmodell in die Messröhre senkt. Dann läuft der riesige Verdichter des Kölner Windkanals an – die Strömungsmessung kann beginnen.

Niko Bier und seine Kollegen repräsentieren hier einen Part im Forschungsdreigestirn aus Windkanalversuch, realem Flug und Rechenmodell. Die Windkanalexperten werfen Wortfetzen und Anweisungen hin und her. Alle beobachten gebannt die Zahlenreihen und Bilder, die der Computer während der Messungen ausspuckt. Unzugänglich für die Wissenschaftler braust im Kanal der Stickstoff mit etwa 150 Kilometer pro Stunde im Kreis durch die Röhre. Jetzt heißt es erst mal abwarten. Alle sind gut vorbereitet, lange haben sie an dem Halbmodell des A320 ATRA getüftelt, das sie jetzt unter wirklichkeitstreuen Bedingungen im Windkanal vermessen. „Wir haben nicht nur die gleichen Zuströmbedingungen aus einem Flugversuch nachgestellt, sondern auch die gleiche Instrumentierung ange-setzt und sogar eine ähnliche Verformung des Modells wie beim richtigen Flugzeug möglich gemacht“, erklärt der Ingenieur des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik. „Ob uns das tatsächlich so gelingen würde, war anfangs nicht klar“, fügt er hinzu, aber er habe es mit seinen Kollegen geschafft, dass sich das Modell im Kanal genauso verhält wie das Originalflugzeug im komplexen langsamen Landeanflug. „Wir kommen mit unseren Windkanal-Messungen ziemlich gut an das heran, was im Flugversuch gemessen wurde.“

Dafür werden sie ihr Modell noch ein paarmal aus dem Windkanal herausheben, neu präparieren und mit anderen Einstellungen vermessen. Und da kommen Niko Biers wichtigste Kollegen ins Spiel: der Pilot und der Numeriker. Sie liefern ihm Daten aus der Luft und aus dem virtuellen Computerlabor. Nur gemeinsam können sie bestmöglich entscheiden, wie das Windkanalmodell ausgelegt werden muss, wie es hergestellt, wie es angebracht, mit welchen Instrumenten es ausgestattet und an welchen Punkten es vermessen werden soll.

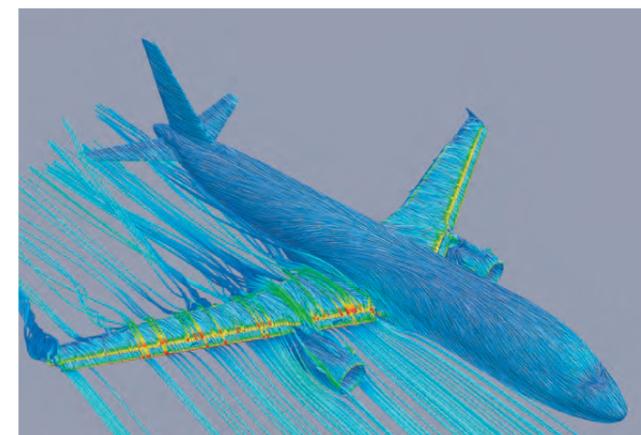
Dafür musste auch DLR-Testpilot Hans-Jürgen Berns immer wieder in die Luft. Die ersten Flugversuche mit dem Airbus A320 ATRA, dem größten Forschungsflugzeug des DLR, fanden bereits 2012 in Toulouse statt. In den fünf Projektjahren hob Berns noch einige Male ab. Er erinnert sich: „Das war wirklich nicht immer einfach. Wir mussten diese komplizierten Manöver zum Teil im Winter fliegen, im Dunkeln und bei

Wolken.“ Die Wolken waren bei einem Flugversuch Anfang 2015 nötig, um das Laserlicht, das die Forscher aus der Flugkabine heraus auf eine Tragfläche richteten, besser sichtbar zu machen und somit die Strömung optisch erfassen zu können. Genutzt wurde dazu eine neue visuelle Messmethode namens PIV (Particle Image Velocimetry), die ebenfalls in den vielseitigen Experimente-Kasten des Projekts HINVA gehörte und die zuvor auch bereits im Windkanal eingesetzt worden war.

Für Pilot Hans-Jürgen Berns blieb das nicht die einzige Herausforderung, denn er sollte so viele und genaue Messdaten wie möglich aus den Flugversuchen liefern, mit denen seine Kollegen am Computer und im Windkanal arbeiten konnten. Ein letztes Mal stieg er im März 2015 mit dem DLR-ATRA in die Luft. 30 Mal führte er allein in diesen vier letzten Flugversuchen das mit aufwändiger Messtechnik ausgestattete Flugzeug an seinen fliegerischen Grenzbereich: So langsam wie möglich, für die besten Messdaten zum Hochauftrieb, flog Berns. Den Steuerknüppel fest in der Hand, die Nase des Flugzeugs immer weiter in die Höhe ziehend, den Anstellwinkel zwischen Flugzeug und Horizontale immer weiter vergrößernd und dann – wenn der Winkel für den langsamsten Horizontalflug überschritten wurde, die Strömung abris und das Flugzeug durchsackte – fing der erfahrene Pilot die Maschine wieder ab. Diese sogenannten Überziehmanöver verlangten von Berns ein enormes Feingefühl für die aerodynamischen Grenzen eines so großen Flugzeugs. Doch: „Es hat alles wunderbar gepasst; das Wetter, die Zusammenarbeit unter den Kollegen und die guten Messergebnisse, die wir rausgeholt haben.“

Der Dritte im Bunde steuerte seine Ergebnisse eher im Stillen bei. Überall war er zugegen, nahezu ununterbrochen stimmte er sich ab. Er saß an seinem Computer und rechnete. Vor dem ersten Flugversuch und nach dem letzten und zwischendurch. Vor dem ersten Windkanaltest und während weiterer Messungen. David Rohlmann vom Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik hat mit Millionen von Unbekannten in Millionen von Operationen gerechnet, Daten eingespeist, Ergebnisse visualisiert. Eine Herausforderung? „Ja“, sagt er, „denn wir haben in diesem Fall einen immensen Aufwand betrieben. Wir haben immer die gesamte, hochkomplexe Flugzeuggeometrie des A320 ATRA in allen kleinen Details betrachtet. Wir haben nur wenig vereinfacht, wie sonst häufig üblich, und uns immer an das Originalflugzeug gehalten. Das hat zwar für lange Rechenvorgänge gesorgt, war aber auch extrem genau.“ Die aufwändig am Computer erstellten Rechenetze lieferten mit über 65 Millionen Netzpunkten eine hohe räumliche Auflösung der Strömung um das Flugzeug. Die Rechnungen wurden dabei auf je 190 Prozessoren eines Hochleistungsrechners durchgeführt, wobei die Umströmung mehrerer Flugzeugkonfigurationen gleichzeitig gerechnet wurde. Zudem veränderte der Luft- und Raumfahrtingenieur in seinen

„OB UNS DAS TATSÄCHLICH SO GELINGEN WÜRD, WAR ANFANGS NICHT KLAR“



Rechnergestützte Simulation des Strömungsverlaufs auf und oberhalb der Oberfläche der Flugzeugkonfiguration

numerischen Simulationen immer wieder die Anstellwinkel des Flugzeugs, um möglichst viele aerodynamische Daten zu sammeln. 3.000 bis 4.000 Rechenstunden sind so locker zusammengekommen.

Wenn irgend etwas nicht stimmte, merkte David Rohlmann es sofort. Indem er sein Portfolio an Algorithmen mit den Messdaten aus dem ersten Flugversuch zusammenführte, konnte er überprüfen, ob und unter welchen Bedingungen die im Flug gemessenen Ergebnisse mit seinen Simulationen übereinstimmten. Der stete Austausch und Abgleich der Ergebnisse sorgte dafür, dass sich schnell zeigte, ob beispielsweise die Messinstrumente an den richtigen Stellen am Flugzeug angebracht waren oder etwas korrigiert werden musste.

Geringstmögliche Abweichungen bei den Ergebnissen von unter zwei Prozent, das war das Ziel der Forscher. Bedenkt man, dass eine Ungenauigkeit von nur einem Prozent bei der Auslegung eines neuen Klappensystems schon reicht, um bei einem großen Verkehrsflugzeug über ein Mehrgewicht von umgerechnet circa 20 Passagieren zu entscheiden, so weiß man um die Brisanz. Doch die HINVA-Forscher haben es dank ihrer dreigleisigen Herangehensweise geschafft und am Ende sind sich Windkanalexperte, Numeriker und Pilot einig: Das Zusammenspiel hat funktioniert und viel zum Projektziel beigetragen, künftig noch besser an den Langsamflug angepasste Hochauftriebssysteme zu entwickeln – und damit Gewicht, Treibstoffbedarf, Geschwindigkeit und Lärmbelastung um Flughäfen zu senken.

Yvonne Buchwald ist Mitarbeiterin des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik und unterstützt die Wissenschaftler bei der Öffentlichkeitsarbeit.

Prof. Dr.-Ing. Ralf Rudnik ist Leiter der Abteilung Transportflugzeuge im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Braunschweig und leitete das Verbundprojekt HINVA.

s.DLR.de/7nb3



Das HINVA-Modell im Windkanal ETW in Köln



Lasermessungen über der Tragfläche während der Vorbereitung auf nächtliche Flugversuche



Während des Messfluges: Strömungswirbel im Laser-Lichtschnitt

DAS PROJEKT HINVA

Das Verbundprojekt „High lift Inflight Validation“ wurde im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms IV vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert und vom DLR geleitet. Neben dem DLR sind Airbus und der ETW-Verbundpartner dabei, angegliedert sind Forschungsarbeiten der Technischen Universität Berlin, der Technischen Universität Braunschweig und der Universität Stuttgart. Das Projekt lief von 2010 bis 2015.

Kleines HINVA-Lexikon

ATRA

... der Airbus A320-232 „D-ATRA“ ist das größte Mitglied der DLR-Forschungsflotte und diente im Projekt HINVA als gemeinsame konfigurative Basis für numerische Simulationen sowie Flug- und Windkanalversuche.

ETW

... steht für „Europäischer Transsonischer Windkanal“. Der weltweit führende und in Europa einzigartige kryogene Windkanal in Köln ermöglicht Messungen unter wirklichkeitstreuen Bedingungen. Dazu benötigt man tiefe Temperaturen (bis zu minus 163 Grad) und hohen Druck (bis zu 4,5 bar). So lassen sich Geschwindigkeiten bis zu einer Machzahl von 1,35 erreichen.

Maximaler Auftriebsbeiwert $C_{A_{max}}$

... analog zum Widerstandsbeiwert beschreibt der Auftriebsbeiwert die aerodynamische Eigenschaft eines Körpers für die Auftriebserzeugung. Neben Flügelfläche, Dichte oder Flughöhe und Geschwindigkeit bestimmt er den erreichbaren Auftrieb. Der maximale Auftriebsbeiwert entspricht dem Zustand, in dem sich das Flugzeug gerade noch horizontal in der Luft halten lässt. Bei vorgegebenem Gewicht definiert er die langsamste Geschwindigkeit. Mit einem Sicherheitsfaktor versehen, legt er auch die Anfluggeschwindigkeit fest.

Numerische Simulation (Computational Fluid Dynamics)

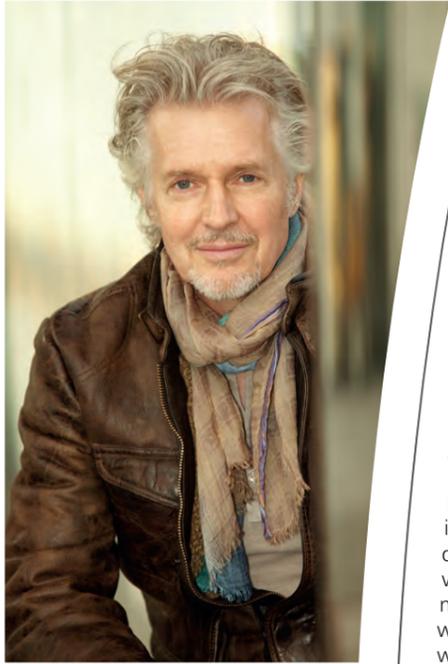
... ist ein Überbegriff für Computersimulationen, die sich mit zunehmender Verfügbarkeit digitaler Hochleistungsrechner im Laufe der letzten Jahrzehnte zu einem etablierten Werkzeug in der Forschung und Technik entwickelt haben. Die gegenüber den Experimenten häufig günstigeren, schnelleren und risikoärmeren rechnergestützten Simulationen sind auch in der Luftfahrt eine Bereicherung, da im „virtuellen Labor“ eines Computers viele Prozesse bereits vor den ersten Experimenten berechnet und untersucht werden können.

PIV

... steht für Particle Image Velocimetry. Es handelt sich dabei um eine optische Methode zur Messung von Geschwindigkeitsfeldern. Die Lasertechnik ist von DLR-Forschern des Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik weiterentwickelt worden. Dabei werden mikrometergroße Partikel in das zu untersuchende Strömungsfeld gestreut, auf das zugleich ein Laser gerichtet wird. Die Bewegungen der Partikel (im HINVA-Flugversuch nutzten die Forscher hier vorbeiströmende Nebeltröpfchen) wurden mit Kameras erfasst. Mit einer speziell entwickelten Software lässt sich das gesamte betrachtete Strömungsfeld dreidimensional berechnen und darstellen.

TAU-Code

... ist die Bezeichnung eines vom DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik entwickelten, mittlerweile weltweit genutzten Computerprogramms. Mit dem Strömungslöser TAU wurden im Projekt HINVA die computergestützten Strömungssimulationen im größten für die Luftfahrtforschung genutzten Hochleistungsrechner Europas gerechnet, dem Simulationszentrum C²A²S²E II (Center for Computer Applications in AeroSpace Science and Engineering) im DLR Braunschweig.



„ZUKUNFT IST DAS, WAS WIR WOLLEN“

Im Gespräch mit dem Schriftsteller Frank Schätzing

Wie viel in Ihrem Leben war Vision und wie viel war Traum?

- Erst mal würde mich der Unterschied zwischen Vision und Traum interessieren ...

Genau das ist die Frage! Irgendwann hat mal jemand gesagt, wer Visionen hat, soll zum Arzt gehen ...

- Das war Schmidt!

... Richtig. Vision – Spinnerei oder die Realität der Zukunft?

- Beides. Wir befinden uns hier im Spannungsfeld zwischen der kleinen privaten und der großen Menschheitsvision. Ich glaube, im Ansatz ist es dasselbe. Insofern nämlich, dass eine Vision immer etwas Strahlendes ist, basierend auf dem großen evolutionären Vorteil des Menschen, sich die Zukunft vorstellen zu können. Demgegenüber werden wir seit Kindesbeinen mit Heerscharen von Bedenkenträgern konfrontiert, die sagen: „Das geht nicht, das schaffst du nicht, das funktioniert nicht.“ Unsere ständig wachsende Erfahrung lehrt hingegen, dass das Allermeiste doch geht, wenn man nur den Arsch hochkriegt. Wenn ich etwas wirklich will, kann meine Vision Realität werden. Der beste Weg, die Zukunft vorauszusagen, ist immer noch, sie zu erfinden.

Wann wird die Vision für den Einzelnen zur Realität?

- Meiner Erfahrung nach im Prozess, nicht durch plötzlichen Zustandswechsel. Es gibt Ausnahmen, in der Forschung zur Künstlichen Intelligenz etwa können uns schockartige Paradigmenwechsel blühen. Gemeinhin aber ist es nicht so, dass ein Wunder geschieht und sich die Welt schlagartig erneuert. Die Realisierung von Visionen entwickelt sich in kleinen Schritten. Und je größer die Vision, desto länger der Weg. Nehmen wir den Traum vom Fliegen: Bevor es uns gelang, vergingen Jahrhunderte voller Rückschläge. Wie viele Menschen sind zu Tode gekommen allein beim Versuch, sich mit Flügeln von Klippen zu stürzen! Beharrlichkeit hat letztlich zum Ziel geführt, einfach weil man wusste, irgendwie muss es ja funktionieren. Vögel tun es, dann können wir das auch. Heute fliegen wir von Kontinent zu Kontinent ohne Probleme – und wir fliegen ins All!

Wo ist da die Rolle des Einzelnen? Egal an welcher Stelle in der Gesellschaft.

- Der Einzelne ist die Basis jeglicher Umsetzung von Visionärem. Jede Idee entsteht in irgendeinem Kopf. Der erste Schritt ist also, sie überhaupt rauszulassen. Dann hinzugehen und andere zu mobilisieren, mitzumachen. Hier kommen Charisma, Führungsqualitäten und Begeisterungsfähigkeit ins Spiel. Sie sind maßgeblich entscheidend dafür, dass eine Vision umgesetzt wird.

Das heißt, der Visionär ist nicht der, der im Kämmerlein sitzt, sondern einer, der auch als Kommunikator auftritt?

- Eine Vision ist wie ein Virus, dessen Ansteckung nur über Kommunikation funktioniert. Wenn ich eine irrwitzige technologische Idee habe, dann muss ich Leute dafür begeistern, von denen ich weiß, dass sie mir mit ihrem Wissen und ihren Fähigkeiten helfen können – gegebenenfalls auch mit ihrem Geld. Tunlichst sollte ich die Öffentlichkeit auf meine Seite bringen. In jedem Fall muss ich kommunizieren, und das ist nun mal nicht jedem gegeben. Viele großartige Ideen fanden keine Unterstützer, weil die Leute, die sie hatten, als Kommunikatoren versagten oder schlicht zu arrogant waren, ihre Vision zu popularisieren.

Will der Schriftsteller Schätzing unterhalten oder sieht er sich mit seinen Visionen in „Schwarm“, in „Limit“ bis hin zu „Breaking News“ auch in einem gesellschaftlichen Auftrag, will er eine Botschaft übermitteln?

- Wenn ich Botschaften hätte, wäre ich Botschafter geworden. Ein Thema muss mich begeistern. Und ich bin nun wirklich der Letzte, der Megathemen hinterherrennt; nach dem Motto, wenn alle drüber reden, muss ich jetzt drüber schreiben. Es sind kleine Auslöser, die meine Fantasie anwerfen, Skurrilitäten, Randnotizen; oft geht es um Dinge, die gerade niemand auf dem Schirm hat. Wenn ich dann merke, ich werde süchtig nach dem Thema, beginne ich, die Story zu entwickeln. Ich will unterhalten, und zwar erst mal mich selbst. Aber natürlich erzähle ich die Geschichte, die mir da auf den Nägeln brennt, mit entsprechendem Enthusiasmus. Also ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein paar andere Leute davon auch unterhalten fühlen, relativ groß. Und sicher – ab einem

gewissen Punkt will ich mit dem, was mich bewegt, auch andere bewegen. Also versuche ich, den Blickwinkel der Leser dahingehend zu schärfen, dass sie meine Begeisterung oder wenigstens mein Interesse teilen, vielleicht sogar Empathie entwickeln. Was sie dann daraus machen, ist allein ihre Sache. Ich belehre niemanden. Wenn ein Buch erscheint, bin ich mit meinen Gedanken meist schon wieder ganz woanders.

Was war dann der Grund für „Limit“? Warum zu dieser Zeit?

- Das hatte mich mein Verleger auch gefragt.

Warum zu einer Zeit, als in Deutschland das Thema „Mond/Mondmission“ überwiegend ablehnend diskutiert wurde? Ausgerechnet dann kommt Schätzing und sagt „Hier ist mein Buch ‚Limit‘, 1.000 Seiten: Hier geht der Bär ab“ ...

- Es war im Grunde genommen eine Idiotie, dieses Buch zu schreiben. Zumindest unter den Gesichtspunkten des Marketings. Das Thema war so unpopulär wie Masern. Und zwar nicht nur in Deutschland, sondern weltweit. Die einhellige Meinung damals lautete: „What the fuck are we doing on the moon?!“. Wir haben doch ganz andere Probleme und wenn es irgendetwas gibt, wofür wir jetzt kein Geld ausgeben sollten, dann ist es dafür, dass wieder irgendwelche Leute auf dem Mond rumlaufen. In diesem Klima habe ich mir „Limit“ ausgedacht. Die Grundlage war eine Vision aus den 90ern: lunare Bodenschätze zu gewinnen für eine wachsende Weltgesellschaft, die ihren Planeten schon ziemlich ausgebeutet und somit ein Riesenproblem hat: Energieversorgung! Langfristig, umweltfreundlich. Nun wusste ich, dass auf dem Mond ein Element lagert, das uns auf lange Zeit mit sauberer Energie versorgen könnte, nämlich Helium-3. Und etliches mehr. Das Universum ist ein gigantisches Rohstofflager. Ich war sicher, die Raumfahrt-Flaute würde vorübergehender Natur sein, noch einige Jahrzehnte Katzenjammer, und dann – mit verbesserter Technik – würde der Run auf die extraterrestrischen Ressourcen einsetzen. – Also doch keine so idiotische Idee, das Buch zu schreiben.

Sie sind dafür bekannt, dass Sie sehr intensiv – fast manisch – recherchieren. Wenn Sie bei diesen Recherchen dem Wissenschaftler in die Augen schauen und die fangen an zu leuchten – inwieweit lassen Sie sich davon anstecken und wegtragen?

- Das ist wirklich interessant. Ich stieß mit meinen Ideen zu „Limit“ auf weitaus mehr Begeisterung als Skepsis. Fast alle Experten, die ich kontaktierte, fanden die Idee spontan toll. – Wissen Sie, was ich glaube? In 90 Prozent aller Astrophysiker, Raketentechniker, Raumfahrtingenieure und Astronauten steckt ein kleiner Junge oder ein kleines Mädchen. Fasziniert vom Sternenhimmel, verliebt in Science-Fiction. Natürlich sagen sie dir erst mal, was alles nicht geht. Aber zugleich leuchten ihre Augen dabei, weil sie im selben Moment schon darüber nachdenken, wie es trotzdem funktionieren könnte, wenn man sich nur mal hinsetzen und versuchen würde, das zu durchdenken.

Das heißt, Sie haben die Leute angesteckt, mehr als Sie sich von den Leuten haben anstecken lassen?

- Nein, wir haben uns schon gegenseitig infiziert. Die Sache ist ja die: Viele angehende Wissenschaftler starten als Erneuerer und träumen vom großen Durchbruch. Voller Enthusiasmus. Dann kommen die Enttäuschungen, Fehlschläge und Rückschläge. Immer wieder werden sie auf ihren Platz verwiesen. Vorgesetzte raten ihnen, ihre Karriere nicht mit abstrusen Ideen aufs Spiel zu setzen. Kühne Aufsätze werden nicht gedruckt. Gerade in der experimentellen Physik bläst dir eisalter Wind ins Gesicht, wann immer du ein bisschen weiterdenkst und die Lobby ärgerst. Die Hüter des jeweils vorherrschenden Weltmodells verteidigen dieses mit Klauen und Zähnen, und viele dieser Leute sind äußerst einflussreich. Die hoffnungsvoll gestarteten Erneuerer lernen also, dass Anpassung der Karriere dienlicher ist als Rebellion, und so werden sie allmählich zu Mitgliedern des etablierten Betriebs. – Und dann, eines Tages, kommt jemand wie ich, der kein Physiker ist, kein Wissenschaftler, der aber ein gewisses Fachwissen hat und eine Vision und ermutigt sie, mal wieder über den Tellerrand hinauszudenken. Ich liefere ihnen die

Legitimation, am Ende doch noch so richtig rumspinnen zu dürfen, weil es ja nicht Einzug in eine wissenschaftliche Publikation hält, sondern in einen Roman. Der Witz ist: Was dabei entsteht, ist meist keine Spinnerei, da kommen richtig gute, praktikable Ideen auf den Tisch. Warum? Weil Kreativität – künstlerische wie wissenschaftliche – nicht in der Einengung funktioniert. Lass das Tier aus dem Käfig, und es beginnt zu laufen.

Für „Limit“ haben Sie mit Kollegen des DLR und der ESA gesprochen. Auch für „Breaking News“ gab es Kontakt mit dem DLR – verbinden Sie mit dem DLR Visionen?

- Absolut! Das DLR an sich ist Vision! Jede Institution, die sich mit Forschung beschäftigt, ist ihrer Natur nach visionär. Die Frage ist, wie viel Mut zur Vision sie letztlich aufbringt, wie viel Weitblick. Wer sagt: Wir sind am Endpunkt der Entwicklung angelangt, hört auf, visionär zu sein. Ein Unternehmen, das seine visionäre Dynamik verliert, kann zumachen. Ich erlebe im DLR, dass man immer einen Schritt weiter zu gehen versucht. Mal einen kleinen, mal einen größeren. Auch wenn das sehr realitätsbezogen geschieht und meist weniger die Besiedelung neuer Planeten zum Inhalt hat als eher einen neuen Satelliten, mit dem man unsere gute alte Erde noch ein bisschen genauer vermessen kann, liegt doch immer eine Vision zugrunde. Und potenziell steckt jede Vision in der DLR-Erbmasse, also was traut man sich? Was trauen sich Politik, Privatwirtschaft und Gesellschaft, auf deren Goodwill die Forschung ruht? Insofern: Ja, Visionen sind ganz sicher der Treibstoff des DLR, aber um das Schwerefeld des „Geht nicht“ zu verlassen, braucht man jede Menge Treibstoff.

Kurz, knapp und präzise: Meer, Erdoberfläche, Weltraum.

- Für das Meer würde ich mir wünschen, dass endlich ein breiter Konsens hergestellt wird, es durch nachhaltiges Handeln intakt zu halten. Denn für das Überleben der Menschheit ist das Meer immens wichtig. Fürs Festland gilt dasselbe. So damit umgehen, dass wir seine Schätze nicht plündern, sondern vom Überschuss leben. Und dabei jeglichem Leben, egal welcher Art, mit Respekt und Achtung begegnen. Da haben wir ethisch noch Verbesserungsbedarf. Wir müssen die Vielfalt des Lebens auf diesem Planeten nicht als Selbstbedienungsladen ansehen, sondern als ideellen Reichtum. Der Weltraum ... unendliche Weiten! Wir sind von Neugier getrieben, seit der Mensch begonnen hat, sich aufzurichten und in seinem Hirn die Vorstellung Gestalt annahm, was wohl hinter dieser Bergkette am Horizont sein könnte. Das hat uns als Spezies so weit gebracht, wie wir heute sind. Unsere evolutionäre Höherentwicklung erfolgte in Schüben, und zwar immer dann, wenn wir Grenzen überschritten und radikal neuen Ideen Raum gaben. Unsere Intelligenz wächst an der Herausforderung, unsere Fantasie braucht immer neue Nahrung. Die findet sich im Unbekannten. Wenn wir ständig unsere Horizonte erweitern, werden wir als Spezies auf Dauer erfolgreich sein. Wenn wir stagnieren, gehen wir unter. Und auf der Erde wird es langsam eng. Vor dem Hintergrund ist es nicht nur wünschenswert, sondern unumgänglich, dass wir intensiv Raumfahrt betreiben, letztlich mit dem Ziel der wirtschaftlichen Nutzung und Besiedlung anderer Himmelskörper. Sagen wir ruhig, es ist überlebensnotwendig.

„Schwarm“, „Limit“, „Breaking News“ – wenn Sie mal Ihre Gedanken für ein mögliches neues Buchprojekt skizzieren sollten: Was wäre das?

- Spannend!

Danke ...

- ... Schöner Versuch!

Danke trotzdem für das spannende Gespräch.

TRINKWASSER AUS MEER UND SONNE

Von Massimo Moser

Marsa Alam, eine ägyptische Kleinstadt an der Küste zum Roten Meer. Vor wenigen Jahren noch ein kleines Dorf mit niedrigen Steinhäusern, erlebt der Ort ein starkes Bevölkerungswachstum. Hinzu kommen zahlreiche Touristen in den Hotels an der Küste. Marsa Alam ist umgeben von Wüste und Meer und bis heute ist der Verwaltungsbezirk um die Stadt nicht mit den nationalen Versorgungsnetzen für Wasser und Strom verbunden. In der Region regnet es kaum, es gibt durchschnittlich nur einen Regentag pro Jahr und der einzige ägyptische Fluss, der Nil, ist mehr als 200 Kilometer entfernt. Die Wasserversorgung basiert daher auf Grundwasserreserven.

Die Situation in Marsa Alam ist beispielhaft für viele Orte im Nahen Osten und in Nordafrika. Sowohl die Bevölkerungszahlen steigen als auch – durch wachsenden Wohlstand – der Pro-Kopf-Verbrauch an Wasser und Energie. Darüber hinaus wird erwartet, dass sich der Wasserverbrauch bis 2050 im Vergleich zum Jahr 2000 fast verdoppeln wird. Dagegen sind die natürlich vorkommenden Wassermengen über die Zeit eher rückläufig. Berücksichtigt man die möglichen Effekte des Klimawandels, kann man mit einem Rückgang der Regenereignisse lokal um bis zu 40 Prozent im Zeitraum von 2010 bis 2050 rechnen.

Im Gegensatz zu Trinkwasser hat Marsa Alam Sonne und Meerwasser im Überfluss. Der Gedanke, den Wasserbedarf durch Meerwasserentsalzungsanlagen zu decken, liegt daher nahe. Es liegt auch nahe, diese energieintensiven Verfahren mit Sonnenenergie zu betreiben. Mit diesen Methoden ist es möglich, die begrenzten Grundwasserreserven zu schonen und vor Übernutzung zu bewahren. In Marsa Alam und seiner Umgebung werden Einwohner und Touristen, die Landwirtschaft und die für den Tourismus angelegten Golfplätze im Jahr 2020 rund 30.000 Kubikmeter Wasser täglich brauchen.

Eine Studie aus der Abteilung für Energiesystemanalyse am DLR-Institut für Technische Thermodynamik hat am Fallbeispiel Marsa Alam untersucht, ob es möglich und wirtschaftlich ist, Anlagen für die Produktion von erneuerbarem Strom und von Wasser zu kombinieren. Bearbeitet wurde diese Frage mit dem Simulationstool INSEL (Integrated Simulation Environment Language), einer grafischen Programmiersprache zur Simulation von Energiesystemen mit erneuerbaren Energien. INSEL kann kleinere Energiesysteme (zum Beispiel das einer Kleinstadt) auf Grundlage von Eingangsdaten (wie Strombedarf oder Sonneneinstrahlung) und der hinterlegten Algorithmen für die jeweiligen Anlagenkomponenten simulieren. Die kommerzielle Software verfügt bereits über ein breites Spektrum an Modellen – unter anderem für Fotovoltaik-Module und Windturbinen. Im Rahmen der Studie wurde sie durch neu entwickelte Modelle für Solarkraftwerke (CSP, englisch für Concentrating Solar Power), thermische Energiespeicher und Meerwasserentsalzungsanlagen erweitert.

In der Studie wurden vor allem zwei Meerwasserentsalzungstechnologien berücksichtigt, die Umkehrosmose (RO, englisch für Reverse Osmosis) und die Mehreffekt-Verdampfung (MED, englisch für Multi-Effect Distillation). Die Osmose ist ein natürliches Phänomen, das



Sonne und Meerwasser hat die aufstrebende ägyptische Stadt Marsa Alam im Überfluss. Woran es mangelt, ist Süßwasser. Inwieweit Meerwasserentsalzung das Problem lösen könnte, war Thema einer DLR-Studie.

Bild: Fotolia



Meerwasserentsalzungsanlage Al Ghubrah in Oman. Sie sichert die Trinkwasserversorgung der Stadt Muskat.

den spontanen Fluss eines Lösungsmittels wie Wasser durch eine selektive Membran in Richtung der Lösung mit der höheren Konzentration an gelösten Stoffen (beispielsweise Salz) bezeichnet. Für die Entsalzung ist der umgekehrte Prozess relevant, das heißt, der Fluss von Wasser einer konzentrierten Lösung – Meerwasser – zu einer nahezu salzfreien Lösung – Trinkwasser. Um das natürliche Phänomen umzukehren, ist Energie in Form von Druck bis zu 80 bar notwendig, die mittels Pumpen bereitgestellt wird. Der MED-Prozess dagegen ist ein thermisches Verfahren, das auf einer Reihe von Verdampfungs- und Kondensations-schritten bei unterschiedlichen Temperaturen basiert. Bei diesem Prozess ist thermische Energie – beispielsweise die Abwärme aus einer Dampfturbine mit einer Temperatur von circa 70 Grad Celsius – sowie etwas elektrische Energie für die Speisewasserpumpen notwendig.

Während thermische Meerwasserentsalzungsverfahren, wie unter anderem das MED-Verfahren in Saudi-Arabien, bereits seit Jahrzehnten zum Einsatz kommen, hat die Umkehrosmose in den vergangenen Jahren eine beherrschende Stellung auf dem Weltmarkt eingenommen. Neben dem niedrigeren Energieverbrauch sind auch niedrige Kapitalkosten, die in den vergangenen Jahren verbesserte Salzurückweisungsrate und die längere Lebensdauer der Membran vorteilhaft. Die DLR-Analyse kommt zu dem Schluss, dass die Umkehrosmose in der Region Marsa Alam wirtschaftlich etwas günstiger ist. Gleichwohl stellt auch das MED-Verfahren aufgrund des einfachen und robusten Betriebs weiterhin eine wettbewerbsfähige Option dar, insbesondere bei Meerwasser von geringer Qualität und mit hohem Salzgehalt, wie es zum Beispiel im Arabischen Golf vorkommt.

Meerwasserentsalzung kann, wenn sie in großem Stil zum Einsatz kommt, den Verbrauch von fossilen Brennstoffen und damit den Ausstoß von Treibhausgasen deutlich erhöhen. Der zweite Schwerpunkt der Studie war es daher, zu untersuchen, wie die Meerwasserentsalzung mit der Verwendung erneuerbarer Energien gekoppelt werden kann. Dazu wurden mit dem Simulationstool die Kosten pro Kubikmeter Wasser für unterschiedliche Szenarien berechnet. Als Eingangsdaten sind in die Analyse eingeflossen: Strom- und Wasserbedarf in der Region, die verfügbaren Ressourcen (Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur und auch Wasserqualität) und technisch-ökonomischen Parameter (unter anderem Kapital- beziehungsweise Betriebskosten der Anlagen, Brennstoffkosten). Die Szenarien wurden auf stündlicher Basis berechnet. Eine anschließende Wirtschaftlichkeitsanalyse berücksichtigt die gesamte Lebensdauer der Anlagen.

Die Szenarien belegen, dass Meerwasserentsalzungsanlagen einen wichtigen Beitrag für die Trinkwasserversorgung von Marsa Alam liefern können. Deren Energieversorgung kann sowohl mit fossilen als auch mit erneuerbaren Energien gewährleistet werden. Die Kosten der Wasseraufbereitung sind von der Art der Energieversorgung abhängig: Bei einer rein fossilen Energieversorgung der Anlagen liegen die Wasserkosten momentan bei circa 0,7 bis 0,8 Euro pro Kubikmeter, allerdings wird dabei nicht berücksichtigt, dass viele Länder in der Region den Preis für fossile Brennstoffe stark subventionieren. Das führt zu einer Wettbewerbsverzerrung zwischen fossilen und erneuerbaren Energien. Nimmt man stattdessen Marktpreise für fossile Brennstoffe, kommt man auf

einen Wasserpreis von bis zu 1,2 Euro pro Kubikmeter. Unter dieser Annahme ist in Marsa Alam eine Energieversorgung, die weitgehend auf erneuerbaren Energien basiert, bereits heute kostengünstiger als eine fossile Energieversorgung. Die Ergebnisse der Studie zeigen auch, dass mit einem Anteil erneuerbarer Energien von circa 75 Prozent ein Wasserpreis von 1,0 Euro pro Kubikmeter im Jahr 2020 möglich sein kann. Der Energiemix besteht dabei sowohl aus erneuerbaren Energien wie Windenergie und Fotovoltaik als auch aus regelbaren Kraftwerken auf Basis konzentrierter Solarthermie (CSP-Kraftwerke), die mittels eines effizienten Wärmespeichers auch Strom nach Bedarf produzieren können.

Die Studie zeigt, dass die steigende Nachfrage nach Trinkwasser in Marsa Alam mit erneuerbaren Energien umweltfreundlich gedeckt werden kann. Durch eine Umstellung des Energie- und Wassersystems auf erneuerbare Energien kann die Stadt ihre Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringern und die Kosten für die Wasseraufbereitung auf Dauer stabilisieren. Von einer solchen nachhaltigen Wasseraufbereitung könnte auch das Image des Tourismusstandorts am Roten Meer profitieren.

Massimo Moser ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung im DLR-Institut für Technische Thermodynamik im DLR Stuttgart.

s.DLR.de/k5s0

VORZÜGE UND NACHTEILE

UMKEHROSMOSE

(englisch: Reverse Osmosis; RO)

- Elektrischer Energieverbrauch vier bis fünf Kilowattstunden pro Kubikmeter Wasser
- Wasserqualität: Trinkwasserqualität, aber für die Landwirtschaft noch zu salzig
- Borgehalt im Wasser: abhängig vom Standort kann Bor nicht ausreichend entfernt werden, gegebenenfalls nicht geeignet für die Landwirtschaft
- Gut ausgebildetes Personal notwendig
- Zuflusswasser muss mit exakt dosierten Chemikalien behandelt werden, sonst steigt der Energieverbrauch und die Membranen werden beschädigt
- Geringere Kapitalkosten
- Geringerer Meerwasserverbrauch als thermische Verfahren, dafür aber sehr hohe Salzkonzentration des Abwassers, das typischerweise wieder ins Meer geleitet wird

MEHREFFEKT-VERDAMPFUNG

(englisch Multi-Effect Distillation, MED)

- Elektrischer Energieverbrauch: 1,5 Kilowattstunden pro Kubikmeter
- Thermischer Energieverbrauch: circa 60 Kilowattstunden pro Kubikmeter
- Wasserqualität: salzarmes Trinkwasser, gegebenenfalls auch als Prozesswasser und für die Landwirtschaft geeignet
- Robustes Verfahren: Meerwasservorbehandlung weniger anspruchsvoll, Wasser kann salzhaltiger und stärker verschmutzt sein
- Höhere Kapitalkosten als RO
- Höherer Meerwasserverbrauch als RO

IM ROBOTAXI IN DIE ZUKUNFT

Verkehrsforscher Stefan Trommer glaubt: Unser Denken über Mobilität wird sich ändern

Von Dorothee Bürkle

Stefan Trommer weiß, wer ein Elektroauto fährt, und auch, warum viele Menschen bislang mit dem Kauf zögern. Das hat er gemeinsam mit seinen Kollegen in der größten Nutzerstudie zur Elektromobilität in Deutschland herausgefunden. Dabei ist er selbst ein ganz klassischer Verkehrsteilnehmer. Vor Kurzem hat der Vater einer kleinen Tochter sein Motorrad verkauft und fährt die Tochter jetzt mit dem Fahrrad oder mit der Familienkutsche in die Kita. Dass seine Tochter das Auto zukünftig einmal genauso nutzen wird wie die meisten von uns heute, bezweifelt er. Durch mobile Internetkommunikation, umweltfreundliche Antriebe und selbstfahrende Autos rechnet er mit großen Veränderungen in der Art und Weise, wie sich Menschen in Zukunft bewegen.

Verkehrssapps: Von der Realität eingeholt

Stefan Trommer denkt gerne vernetzt. Bei seinen Arbeiten als Verkehrsforscher verliert er nie den Blick für das ganze Verkehrssystem, für all die unterschiedlichen Verkehrsteilnehmer und ihre bestimmten Anforderungen an Komfort, Geschwindigkeit und natürlich die Kosten, um von A nach B zu kommen. Um die Vernetzung der verschiedenen Verkehrsträger ging es auch im ersten Forschungsprojekt des Diplomgeografen, das er 2008 am DLR-Institut für Verkehrsforschung in Berlin bearbeitete. In einem EU-Projekt entwickelte er zusammen mit anderen Wissenschaftlern einen intermodalen Verkehrsplaner, der Reisende in Europa von Haustür zu Haustür bringt. Einige Jahre später hat die Wirklichkeit die Forscherwelt von damals eingeholt, wenn nicht gar überholt: „In vielen Bereichen ist die Entwicklung so gekommen, wie wir sie in unserem Projekt bearbeitet haben“, blickt Trommer heute zurück. Plötzlich gab es die I-Phones und Smartphones, das mobile Internet und die Möglichkeit, dass jeder Entwickler auf der Welt Apps für diese Endgeräte entwickeln und der breiten Masse zur Verfügung stellen konnte. Dadurch war das, was in Forschungsprojekten begonnen worden war, plötzlich schneller und bei mehr Nutzern verbreitet, als ursprünglich angenommen. Allerdings schränkt er ein: „So gut diese Apps zum Beispiel in Großstädten oder auch landesweit funktionieren, auf Europa-Ebene funktioniert dies leider noch nicht zuverlässig.“

„Wir sind überall zu Hause“

Obwohl Stefan Trommer sich als Forscher mit der „Zukunft der Mobilität“ schon ein wenig länger beschäftigt, ist er fasziniert von den Möglichkeiten, die mobile Verkehrsplaner mit sich bringen: „Durch die mobilen Verkehrsplaner bereiten wir uns auf unsere Reisen viel weniger vor. Es reicht ja, wenn ich nach der Landung am Zielort plane, wie ich weiterreisen kann.“ Dass wir dadurch wirklich Zeit



Bild: DLR/Tennert
Der Geograf Stefan Trommer an seinem Arbeitsplatz im DLR-Institut für Verkehrsforschung in Berlin. Hier geht er unter anderem der Frage nach, wie neue Technologien das Mobilitätsverhalten verändern werden.

sparen, bezweifelt er. Der Effekt ist seiner Meinung nach ein anderer: „Jetzt haben wir Zugang zu Informationen, die zuvor nur in Kursbüchern der Verkehrsbetreiber standen und in vielen Fällen sind es nicht nur die Fahrpläne, sondern Echtzeit-Informationen mit allen Verkehrsstörungen. Das gibt uns ein unglaubliches Selbstbewusstsein, wir können uns überall zu Hause fühlen.“

Nicht alles ist jedoch so eingetreten, wie es die Verkehrsforscher vor einigen Jahren erwartet hatten: Wesentlich weniger Verkehrsteilnehmer als erhofft sind durch das Nutzen von Informationssystemen vom Auto auf die Bahn umgestiegen. „Letztendlich sitze ich noch immer in der gleichen S-Bahn. Solche Apps verändern mein Verhalten vielleicht von Zeit zu Zeit. Aber dauerhaft steigt im Alltag wohl kaum jemand vom Auto auf die Bahn um, nur weil die Verfügbarkeit und die Qualität von Informationen besser geworden sind“, nimmt der Verkehrsforscher an. „Dies sind Fragen, mit denen wir uns aktuell auseinandersetzen.“

Großstadt-Dschungel ohne Autos

Stefan Trommer ist im Berliner Osten aufgewachsen, kurz vor der Wende war er zehn Jahre alt und als Radsportler mobiler, als es seinen Eltern lieb war: „Einmal bin ich von zu Hause ausgebücht und mit dem Rad von Marzahn am Stadtrand bis zu Freunden nach Prenzelberg in Mitte gefahren“, erzählt er lächelnd. Eine solche Fahrt, für einen Zehnjährigen heute kaum denkbar, war im beschaulichen Berlin damals kein sonderlich gefährlicher Ausflug. Trommer wird etwas wehmütig, wenn er an die relativ leeren Straßen und den Raum denkt, den er als Kind im Osten der Stadt hatte. Seit der Wende hat sich die Zahl der Pkw pro tausend Einwohner von 200 auf 340 erhöht, Dienstwagen und Mietwagen nicht eingerechnet. Da wird es insbesondere in den Kiezen der Innenstadt eng für Radfahrer und Fußgänger. „Alle Welt will heute Fahrrad fahren und selbst die großen Distanzen in Berlin lassen sich mit E-Bikes und Pedelecs schnell überwinden. Jeder sollte die Wahl haben, welches Verkehrsmittel er nutzt. Aber eine Stadt kann diese Wahl auch beeinflussen, zum Beispiel mit einem besseren Radwegenetz und der Unterstützung von (Elektro)Carsharing.“

Elektromobilitätsstudie: Erstanwender älter als gedacht

Menschen verändern nicht gerne ihr Mobilitätsverhalten, weiß der Verkehrsforscher, es sei denn, sie erkennen einen klaren Nutzen für sich. Und das ist die Krux bei der Elektromobilität. Außer einem guten Ökogewissen haben die Käufer von Elektroautos gerade keine Vorteile: Die Fahrzeuge sind teuer, haben nicht dieselbe Reichweite wie Verbrennungsfahrzeuge und können nicht mal eben mit elektrischer Energie „betankt“ werden. Es ist die Begeisterung für neue Technologien und ein ausgeprägtes Umweltbewusstsein, was die Menschen heute zum Kauf eines Elektrofahrzeugs bringt. Stefan Trommer kennt die typischen Nutzer von Elektrofahrzeugen sehr genau: Bei der größten Nutzerstudie zur Elektromobilität hat das Institut für Verkehrsforschung 3.111 Fahrer befragt. Der durchschnittliche private Fahrer eines solchen Fahrzeugs ist männlich, überwiegend gut gebildet und verfügt über ein überdurchschnittlich hohes Einkommen. Das Durchschnittsalter liegt mit 51 Jahren dabei leicht höher als bei Käufern von konventionellen Neuwagen.

Trotz der vielen Hindernisse wird sich die Elektromobilität nach und nach durchsetzen, davon ist Trommer überzeugt. Dass es so langsam geht, liegt an den derzeitigen Rahmenbedingungen: Elektrofahrzeuge sind zu teuer. Wie andere Forscher auch, geht er davon aus, dass die Marktdurchdringung über den gewerblichen Markt laufen wird: „Kurierdienste, Pflegedienste oder viele Dienstwagen fahren am Tag oft nicht mehr als 100 Kilometer und können am Abend wieder an der Steckdose hängen. Dadurch würde eine kritische Masse erzeugt, die Fahrzeuge würden günstiger im Preis werden und auch für private Nutzer interessant beziehungsweise über den Gebrauchtwagenmarkt verfügbar.“ Neben dem Umweltbewusstsein ist es inzwischen auch immer mehr der Spaß an der schnellen Beschleunigung, der Menschen zum Kauf eines Elektroautos animiert. – „Warum nicht, wenn es funktioniert“, grinst Stefan Trommer. „Trotzdem müssen die Fahrzeuge günstiger werden, daran führt kein Weg vorbei.“

Mehr Sicherheit im Robotaxi?

Mit ihrer Arbeit tasten sich die Forscher am Institut für Verkehrsforschung auch noch weiter in die Zukunft der Mobilität vor und fragen, wie unser Verkehrssystem aussieht, wenn wir eines Tages von autonomen Robotaxi durch die Gegend gefahren werden. „Das wird unser Denken über Mobilität verändern“, glaubt Trommer. „Vielleicht bringen wir dann unsere Kinder nicht mehr selbst in die Kita oder zur Schule, sondern lassen sie sicher vom Robotaxi dort abliefern“. Für eine Nutzerstudie des Instituts für Mobilitätsforschung der BMW Group (ifmo) hat der Wissenschaftler gemeinsam mit Kollegen Interviews in China, den USA und Deutschland geführt, um den Einfluss von autonomen Technologien auf unser Mobilitätsverhalten zu bewerten. Das autonome Fahren wird unser Verkehrssystem tiefgreifend verändern, ist sich Trommer sicher: „Das ist anders als bei der Einführung der Elektromobilität, wo nur der Antrieb ausgetauscht wird. Das ist ein neues Konzept und hat mit dem, was wir heute kennen, nicht mehr viel gemein. Der Begriff „Disruptive Technologie“ wird ja inzwischen inflationär verwendet, aber hier trifft er wahrscheinlich tatsächlich zu.“

Wenn uns der Pkw autonom zum Ziel bringt und dazu noch vernetzt ist, können wir in Zukunft vielleicht schon auf der Fahrt beginnen zu arbeiten: „Vielleicht ist Pendelzeit für viele von uns eines Tages Arbeitszeit“, kann sich Trommer vorstellen. Solche Veränderungen können Rückkopplungseffekte mit sich bringen, zum Beispiel auf die Siedlungsstruktur. „Die Länge des Arbeitswegs ist zukünftig vielleicht nachrangig und es zieht uns wieder mehr ins Grüne, wo auch die Kosten für Wohnen geringer sind. Welchen Einfluss wird dies dann auf den Öffentlichen Personennahverkehr, wie wir ihn heute kennen, haben?“ Viele Fragen lassen sich nicht abschließend beantworten, trotzdem muss man sie diskutieren: „Nur dann können Städte die richtigen Maßnahmen ergreifen und die Einführung der Technologien in ihrem Sinne regulieren. Die Politik muss wissen und entscheiden, wie sie mit diesen möglichen Umbrüchen umgehen will.“

Sicherheit statt Leichtmetallfelgen

Seinem Motorrad trauert Stefan Trommer etwas hinterher, er hofft, dass er nach der Familienphase damit wieder loslegen kann. Jetzt spielt erst einmal die Sicherheit und Flexibilität eine größere Rolle in seinem Mobilitätsverhalten – er würde für einen Assistenten, der gelegentlich das Steuer übernehmen kann, gern einen Aufpreis bezahlen: „Wenn ich weiß, dass meine Familie mit dieser Technik an Bord sicherer ist. In jedem Fall sinnvoller als Ledersitze, Leichtmetallfelgen oder als eine Standheizung für die wenigen echten Wintertage.“



Bild: DLR/Tennert

Stefan Trommer sieht sich als klassischen Verkehrsteilnehmer, mit der Liebe zum Fahrrad liegt er im Trend. Welches Verkehrsmittel genutzt wird, lässt sich beeinflussen, meint der Verkehrsforscher und denkt dabei zuerst an die Kommunalpolitik.



UNBEMANNT ZUR RETTUNG



Starke und anhaltende Regenfälle haben zu einer weitreichenden Überflutung des Elbe-Seitenkanals und des Tankumsees bei Gifhorn geführt. Straßen sind überflutet und vereinzelt sind Menschen im Hochwassergebiet eingeschlossen. Teile der Verkehrsinfrastruktur sind beschädigt und behindern den Einsatz der Rettungskräfte. – Ähnliche Szenarien haben sich in Deutschland bereits häufiger abgespielt. In diesem Fall handelt es sich jedoch um ein simuliertes Krisenszenario im Rahmen eines großangelegten Demonstrationsprojekts. Am Flughafen Braunschweig-Wolfsburg hebt derweil das Forschungsflugzeug D-CODE des DLR zu einer Aufklärungsmission ab. Es soll aktuelle Luftbilder zur Lageerfassung des Krisengebiets aufnehmen und damit notwendige Informationen zur Planung von Hilfeinsätzen bereitstellen. An Bord des Forschungsflugzeugs befindet sich nur ein Sicherheitspilot, es fliegt beinahe automatisch – gesteuert und überwacht vom Boden aus. Ein erster wichtiger Schritt für den Einsatz unbemannter Flugzeuge (RPAS) zum Krisenmanagement.

Im Projekt DRIVER demonstrierte ein neues System zur Katastrophenhilfe seine Wirksamkeit

Von Dr. Dagi Geister

Überschwemmungen, heftige Stürme, extreme Wintereinbrüche, Waldbrände, Erdbeben oder auch technische Katastrophen führen immer wieder zu Krisensituationen in den betroffenen Gebieten. Um länderübergreifend besser auf solche Ereignisse vorbereitet zu sein und die notwendige Hilfe effektiver zu organisieren, fördert die Europäische Union das Projekt „Driving Innovation in Crisis Management for European Resilience“ (DRIVER) innerhalb des 7. Rahmenprogramms. Das Projekt startete im Mai 2014 mit insgesamt 36 europäischen Projektpartnern aus 15 Ländern. DRIVER ist damit eines der weltweit größten öffentlich geförderten Demonstrationsprojekte im Bereich des Krisenmanagements.

Schnellstmögliche Lageerfassung

Im EU-Projekt DRIVER werden unter Beteiligung des DLR verschiedene Technologien für das Krisenmanagement im Katastrophenfall zusammengeführt und in einer europaweiten gemeinsamen Demonstration angewendet. Echtzeitaufnahmen aus der Luft liefern einen wesentlichen Beitrag zur Lageerfassung eines Katastrophengebiets. So können Hilfeinsätze besser geplant werden. An diesem Punkt setzen die Arbeiten des DLR an. Das Forschungsflugzeug D-CODE, eine Dornier 228-101, wird für DRIVER einerseits mit einem Experimentalsystem zur Demonstration der Eigenschaften unbemannter Flüge ausgestattet. Andererseits hat es Kamerasysteme des Earth Observation Centers (EOC) des DLR in Oberpfaffenhofen an Bord.

Mittels des auf der D-CODE eingesetzten 3K-Kamerasystems können (je nach Flughöhe) ein 80 Quadratkilometer großes Gebiet in circa zwei Minuten erfasst, georeferenzierte Luftbilder erstellt und die Ergebnisse über eine Datenlinkverbindung zur Bodenstation übertragen werden. Sobald die Bilddaten vollständig zum Boden übertragen wurden, können im Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) des EOC eine weitere Lageanalyse und die Kartierung erfolgen. So ist es möglich, aus den seriellen Luftbildern verkehrsrelevante Kriseninformationen (beispielsweise zur



DRIVER-Krisenszenarien: Überflutung und Pandemie



Mediterraner Tsunami mit zusätzlichen Gefahrenrisiken



Schneesturm mit Störungen von Stromnetzen sowie von Informations- und Kommunikationstechnologie

Befahrbarkeit von Straßen) abzuleiten. Zur realitätsnahen Visualisierung des betrachteten Krisenszenarios werden spezielle Karten bereitgestellt. Im Testzenario zeigten sie die mögliche Ausbreitung des Hochwassers am Elbe-Seitenkanal und am Tankumsee.

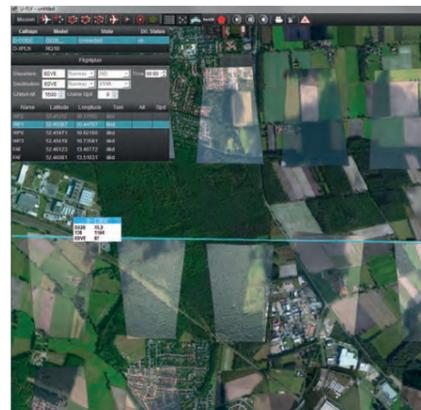
Das Institut für Verkehrssystemtechnik in Berlin erstellt parallel zu den DRIVER-Arbeiten des ZKI aus den aktuellen Luftbildern, die nahezu in Echtzeit von dem RPAS-Flugdemonstrator bereitgestellt werden, zusammen mit den Messdaten vom EOC ein aktuelles Verkehrslagebild der betroffenen Region. Mit Daten über die aktuelle und prognostizierte Verkehrssituation sowie Auskünften zu Fahrtrouten und -zeiten können die Rettungskräfte so die Logistik bei der Katastrophenhilfe besser koordinieren. Darüber hinaus lassen sich verschiedene Szenarien für das Eintreffen weiterer Rettungskräfte simulieren und bewerten.

Einsatz unbemannter Flugzeuge im Krisenmanagement

Der Einsatz von RPAS gewinnt im zivilen Katastrophenschutz und im Krisenmanagement zunehmend an Bedeutung. Der Vorteil: Unbemannte Flugzeuge können auch in sehr schwer zugänglichen oder gefährlichen Gebieten eingesetzt werden und mit ihnen ist es möglich, gefährdete oder beeinträchtigte Gebiete über einen langen Zeitraum zu beobachten. Zur Erprobung von RPAS im kontrollierten Luftraum wurde das Forschungsflugzeug D-CODE derart modifiziert, dass Steuerungsanweisungen vom Boden aus empfangen und verarbeitet werden können. Die Flug- und Missionsplanung des Flugzeugs erfolgt dabei von der Bodenstation für unbemannte Luftfahrzeuge U-FLY des Instituts für Flugführung in Braunschweig. Für Simulationen und Flugexperimente können in der U-FLY verschiedene vierdimensionale Flugwege vorab



Missionsplanung und Fernführung der D-CODE mit der Bodenstation für unbemannte Luftfahrzeuge U-FLY



Luftbilddaten der Region Tankumsee



Aus Sensordaten werden die Positionen der Versuchspersonen im Wasser erkannt



Krisenzentrum im DLR



Die Versuchspersonen werden aus dem Tankumsee gerettet



erstellt und für verschiedene unbemannte Flugzeugmuster insbesondere hinsichtlich Sicherheit (beispielsweise Flughöhen, Hindernisse und Beschränkungsgebiete) und Missionsziel (beispielsweise schnellstmögliche Erkennung von Objekten, flächendeckende Luftbilddaten) überprüft werden.

Im Rahmen des Projekts DRIVER fand im September 2015 der erste Erprobungsflug zur Demonstration unbemannter Flüge im Krisenmanagement statt. Im Krisenzentrum des DLR in Braunschweig kamen hierzu die Beteiligten des DLR sowie Piloten, Rettungskräfte und Versuchspersonen zusammen. Betrachtet wurde ein Szenario mit großflächigen Überflutungen, bei denen Menschen im Hochwassergebiet eingeschlossen und Teile der Verkehrsinfrastruktur beschädigt sind. Ziel war es, zukünftige Systeme zu erproben, mit denen die Rettungskräfte bei der Planung und Koordination ihres Einsatzes unterstützt werden können.

Im Flugversuch wurde zunächst das aktuelle Ausmaß der Krisensituation aus der Luft erfasst. Ein RPAS-Fernführer erstellte hierzu an der Bodenkontrollstation U-FLY einen Missionsplan, der möglichst flächendeckende Luftbilddaten vorsah. In einem zweiten Schritt wurde der Flugweg vom Boden aus umgeplant, um in den am stärksten betroffenen Gebieten nach Menschen zu suchen und die wesentlichen Verkehrswege aus der Luft zu beobachten. Auf der Basis der erfassten Luftbilder konnten daraufhin die Verkehrslage analysiert und verfügbare Rettungswege aufgezeigt werden. Parallel hierzu wurde ein Bildanalyseprogramm für das Krisenmanagement erprobt, mit dem auf Luftbildern Menschen in Notlage erkannt werden können. Dazu hatten sich Versuchspersonen auf den Tankumsee begeben. Einige schwammen vereinzelt im Wasser, andere hatten sich auf Booten gruppiert.

Der RPAS-Demonstrator flog Suchmuster über dem Versuchsgebiet und lieferte Aufnahmen, aus denen die benötigten Informationen für gezielte Reaktionsmaßnahmen extrahiert wurden. Bei Verdacht auf in Not geratene Personen wurde von der Bodenstation U-FLY aus die Flugroute des Flugzeugs angepasst, um schnell eine Bestätigung des „Anfangsverdachts“ zu erhalten. Auf diese Weise sollen im realen Krisenfall Rettungskräfte gezielter informiert, Hilfe an die richtigen Stellen geleitet und Hilfsgüter, wie Wasser, Medikamente oder Lebensmittel, in das Krisengebiet transportiert werden. In einem möglichen Zukunftsszenario könnten mit diesen Technologien neben der selbstständigen Erkundung des Krisengebiets weitere Aufgaben, wie die Ablieferung dringend benötigter Hilfsgüter direkt an den optimalen Standorten, von einem unbemannten Flugzeug durchgeführt werden.

In den nächsten drei Jahren werden zwei weitere Flugversuche innerhalb groß ausgelegter Demonstrationskampagnen im Rahmen des DRIVER-Projekts stattfinden. Dann werden unterschiedliche Katastrophenszenarien, wie Überflutungen in den Niederlanden oder Tsunamis in der Mittelmeer-Region untersucht. Das im Projekt DRIVER erstellte Gesamtsystem wird dann während realitätsnaher Hilfsübungen unter Beteiligung von Rettungs- und Hilfskräften, unter anderem dem Technischen Hilfswerk (THW) und Vertretern des Roten Kreuzes aus Österreich, England und Dänemark erprobt. Im Herbst 2018 endet das Projekt mit einer europaweiten Demonstration der Systeme.

Dr. Dagmar Geister ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im DLR-Institut für Flugführung und DLR-Projektleiterin von DRIVER.

RPAS-FORSCHUNG IM DLR BRAUNSCHWEIG

Das Institut für Flugführung forscht seit mehreren Jahren an Konzepten und Technologien, die eine Integration von unbemannten Flugzeugen in den kontrollierten Luftraum ermöglichen sollen. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Forschungsarbeiten liegt dabei in der optimierten Missionsplanung, mit der für ein oder mehrere RPAS – einzeln oder in Formation fliegend – Missionen mit unterschiedlichen Aufgaben (beispielsweise Überwachung, Hilfsgütertransport) und Randbedingungen (wie zeitkritische Einsätze) geplant und durchgeführt werden können. Dabei steht die Sicherheit der RPAS-Einsätze immer im Vordergrund. Neben Verfahren zur Konfliktvermeidung und Konfliktlösung wird auch an möglichen Strategien und Technologien für Fehler- und Ausfallsituationen geforscht. Diese werden regelmäßig unter Einbeziehung der Anwender zunächst in gesicherter Simulationsumgebung und in einem weiteren Schritt im Flugversuch mit dem Forschungsflugzeug D-CODE erprobt und bewertet.

JEDE NACHT AUF BILDERFANG

Fotofalle für Meteore: Das Europäische Feuerkugelnetz

Von Julia Heil

Die Sonden von Weltraummissionen wie Dawn, Rosetta oder Hayabusa nehmen Millionen von Kilometern Weg auf sich, um zu ihren Zielen zu gelangen: Weit entfernte Asteroiden und Kometen bergen die Entstehungsgeschichte des Sonnensystems in sich, denn ihre Materie hat sich im Gegensatz zu den Planeten seitdem nur relativ wenig verändert. Mit der Erforschung dieser außerirdischen Körper erhoffen sich die Wissenschaftler, besser zu verstehen, wie das Leben auf der Erde entstanden ist. Einfacher ist es, wenn kleine Stückchen dieser Entstehungsgeschichte in Form von Meteoriten (Begriffserklärung siehe nebenstehender Kasten) zu uns auf die Erde fallen. Zudem ist es ein beeindruckendes Schauspiel, wenn diese als spektakuläre Feuerkugeln ihre Bahnen über den Himmel ziehen, bevor sie auf der Erde landen. Meteore sind selten zu beobachten und noch viel seltener werden Bruchstücke gefunden. Die Kameras des vom DLR betreuten Europäischen Feuerkugelnetzes beobachten jede Nacht den Himmel, um die Bahnen von Meteoroiden zu erfassen, im Idealfall ihre Herkunft zu rekonstruieren und das Gebiet ihres Niedergangs auf der Erde auszumachen.

Ein Netz mit einem Beobachtungsraum von einer Million Quadratkilometer Größe

Etwa 100 Kilometer Abstand zueinander haben die 25 Stationen, die sich auf Süddeutschland, die Tschechische Republik, Österreich, Frankreich und Luxemburg verteilen. So deckt das Europäische Feuerkugelnetz, das vom DLR-Institut für Planetenforschung gemeinsam mit dem tschechischen Observatorium Ondrejov betrieben wird, mit seinen Kameras insgesamt eine Fläche von einer Million Quadratkilometern ab. Jede Nacht wird eine einzige Aufnahme des Himmels mit Langzeitbelichtung erstellt. Die deutschen Kameras fotografieren in einen gewölbten Spiegel, der den Nachthimmel abbildet, während die tschechischen Kameras das Firmament direkt mit einer Fischaugenlinse erfassen. Das Feuerkugelnetz existiert schon seit den Siebzigerjahren, weshalb der Großteil der Kameras noch mit klassischem chemischen Film betrieben wird. Eine Umrüstung auf Digitalfotografie ist in der Testphase. Vor der Kamera rotiert eine Art Propeller. Die Kameraaufnahme wird zwölfmal pro Sekunde unterbrochen. Die Leuchtspur eines schnellen Meteoroiden wird dadurch auf der Fotografie als unterbrochene Bahn abgebildet. Später ist es möglich, anhand dieser Spur die Leuchtdauer und die Winkelgeschwindigkeit des außerirdischen Körpers zu berechnen. Jeden Monat werden die Filme ausgetauscht und die Aufnahmen ausgewertet; bei besonderen Ereignissen geschieht dies natürlich entsprechend früher. An die Standorte der Feuerkugelstationen, die von ehrenamtlichen Helfern betreut werden, bestehen bestimmte Anforderungen, damit die Meteore auf den Fotografien möglichst gut zu erkennen sind und der Himmel idealerweise vollständig abgebildet werden kann: Die Kamera muss fest im Boden verankert sein, sie benötigt möglichst freie Sicht, weshalb der Bereich ab zehn Grad über dem Horizont frei von Hindernissen sein muss, und natürlich sollten keine künstlichen Lichtquellen in unmittelbarer Umgebung die Aufnahmen stören.

Ein rasender Feuerball

Gesteinsstücke, die, von ihrem Mutterkörper losgeschlagen, in Erdnähe kommen und schließlich mit hoher Geschwindigkeit in die Atmosphäre eintauchen, werden zu Meteoroiden und erzeugen atmosphärische Leuchterscheinungen. Meistens stammen die Brocken aus dem Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter. Diese sogenannten Boliden oder Feuerkugeln können Helligkeiten vergleichbar mit der des Vollmondes erreichen. Aber nicht der Meteor selbst sorgt für die Helligkeit, sondern es sind die Luftmoleküle entlang der Flugbahn des Objekts, die in Folge der Reibung zum Leuchten angeregt werden.

Meteoritenfälle sind möglich, wenn der Meteoroid aus festem Material besteht und relativ langsam und in einem verhältnismäßig flachen Winkel in die Atmosphäre eintaucht. „Relativ langsam“ bedeutet aber, dass die Eintrittsgeschwindigkeiten immer noch bei mehr als 15 Kilometern pro Sekunde liegen: Die Abbremsung in der Atmosphäre ist entsprechend gewaltig. Oft ist der Druck auf den Körper so groß, dass der Meteoroid



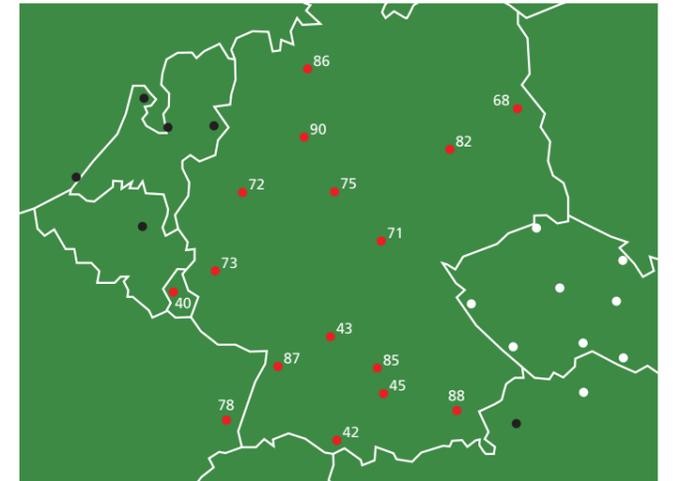
Bild: Feuerkugelnetz

Über einen gewölbten Spiegel fotografieren die Kameras den Nachthimmel. So werden jedes Jahr etwa 40 Feuerkugeln registriert.

in mehrere Stücke zerplatzt. Durch den Flug mit hoher Geschwindigkeit tritt ein Überschallknall auf, der über große Distanzen hörbar ist. Erdbebenstationen, die diesen Donnerschlag registrieren, können Aufschluss über die Anzahl der Fragmentierungen des Körpers liefern. Das, was als Meteorit letztendlich den Erdboden erreicht, sind weniger als zehn Prozent der Masse des Ursprungkörpers.

Meteoritenfunde – ein Stück Weltall zum Anfassen

Nur zehn bis zwanzig Prozent aller Feuerkugeln, das sind etwa 40 pro Jahr, werden von den Kameras des Feuerkugelnetzes aufgenommen. Gründe dafür gibt es mehrere: Tagsüber, wenn die Feuerkugeln genauso fallen wie nachts, sind die Stationen nicht aktiv. Des Weiteren funktionieren die Kameras nur bei möglichst klarem Himmel und auch bei Vollmond werden aufgrund der Überbelichtung keine Aufnahmen gemacht. Für die Lokalisierung eines möglichen Meteoritenfalls müssen Aufnahmen von mindestens zwei Kameras vorliegen. Da das Feuerkugelnetz trotz seiner Größe oft nicht in der Lage ist, die komplette Bahn der Feuerkugel fotografisch zu dokumentieren, sind ausführliche Augenzeugenberichte hilfreich. Unter den vielen Meteor-Beobachtungen geht bestenfalls eine Feuerkugel pro Jahr als Meteorit in Deutschland nieder. So ist ein Ereignis, wie der Meteoritenfall, der sich 2002 in der Nähe von Schloss Neuschwanstein in Bayern ereignete, eine wahre Sternstunde für die Planetenforscher. Die Feuerkugel wurde von mehreren Stationen des Netzes aufgezeichnet und eine genaue Rekonstruktion der Flugbahn war möglich. Freiwillige „Meteoritenjäger“ konnten in den Jahren darauf im vorhergesagten Fallgebiet Bruchstücke des Neuschwanstein-Meteoriten finden und bergen. Auch im März 2015 ereignete sich wieder ein spektakulärer Meteoritenfall über Süddeutschland, den die Meteorkameras des Feuerkugelnetzes erfolgreich dokumentierten. Anhand der Fotografien konnten die Geschwindigkeit und die Flugbahn der Feuerkugel präzise bestimmt und der Ort eines möglichen Meteoritenfalls auf die Zentralschweiz eingegrenzt werden. Fündig geworden ist man allerdings bisher noch nicht ...



Die Karte des Europäischen Feuerkugelnetzes zeigt in Rot die vom DLR-Institut für Planetenforschung betreuten Stationen, in Weiß die vom Astronomischen Institut Ondrejov und in Schwarz die Autonomen Stationen

DAS EUROPÄISCHE FEUERKUGELNETZ

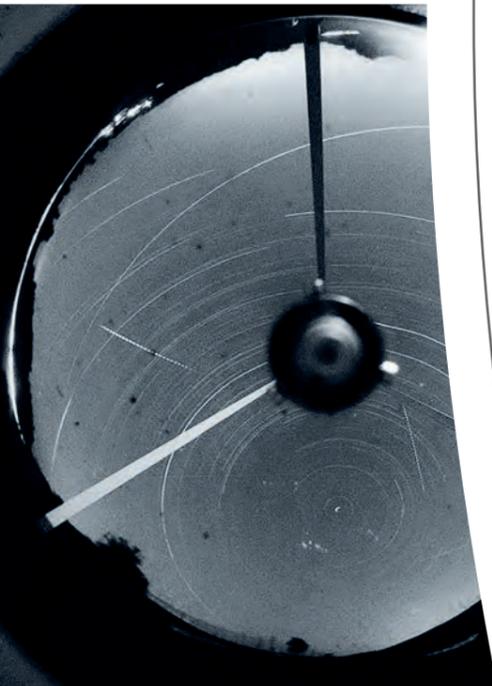
Das Feuerkugelnetz wurde ursprünglich in den Siebzigerjahren aufgebaut und besteht derzeit aus 25 Kamera-Stationen in Deutschland, Frankreich, der Tschechischen Republik, Belgien, Luxemburg und Österreich. Es wird gemeinsam vom DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin sowie dem bei Prag gelegenen Observatorium Ondrejov betrieben.

KLEINE METEOR-SCHULE

- Meteoroid: Objekte, kleiner als Asteroiden oder Kometen, die sich auf Umlaufbahnen um die Sonne befinden
- Meteor: Ein Meteoroid, der in der Erdatmosphäre verglüht; der Begriff bezieht sich auf die atmosphärische Erscheinung
- Feuerkugel oder Bolide: Ein besonders heller Meteor
- Meteorit: Was vom Meteor den Weg bis zum Erdboden übersteht, bezeichnet man als Meteorit

KONTAKT FEUERKUGELNETZ

Prof. Dr. Jürgen Oberst
DLR-Institut für Planetenforschung
Planetengeodäsie
juergen.oberst@dlr.de



Nachts sind die Stationen des Feuerkugelnetzes auf Bilderfang. Vor der Kamera rotiert ein „Propeller“, der dafür sorgt, dass die Leuchtspur eines schnellen Meteoroiden auf der Fotografie als unterbrochene Bahn abgebildet wird. Hier sind gleich zwei Feuerkugeln an ihrer gestrichelten Spur zu erkennen (Aufnahme 28./29. September 2014, Feuerkugelstation Neukirch).

KATHEDRALEN DER AERODYNAMIK

Teil 8 der Serie „Die Windmaschinen“

Von Jens Wucherpfennig

Windkanäle sind einzigartige Bauwerke, die besondere Anforderungen an die Herstellung mit sich bringen. Doch wer baut überhaupt die Windmaschinen mit ihren teils gigantischen Ausmaßen? Windkanäle sind keine gewöhnlichen Bauten – oft hunderte Tonnen schwer, mit einem Energiebedarf, der schon einmal dem einer Kleinstadt entsprechen kann, und der Fähigkeit, in ihrem Inneren einen Orkan zu erzeugen. Nicht nur Wissenschaftler können bei ihrem Anblick mit Ehrfurcht erfüllt werden. Wenn die Aerodynamik eine Religion wäre, wären die Windkanäle ihre Kathedralen. Und wie die Sakralbauten stellen auch die Windmaschinen die Erbauer vor große Herausforderungen.

Obwohl es tausende Windkanäle weltweit gibt, existieren keine Firmen, die allein von ihrem Bau leben. „Dafür werden einfach zu wenige Windkanäle neu gebaut“, sagt Dr. Andreas Bergmann, Leiter des Niedergeschwindigkeitswindkanals Braunschweig. Allerdings gibt es einige wenige Unternehmen, die auf den Entwurf von Windkanälen spezialisiert sind: Aiolus Engineering in Kanada, Jacobs in den USA und bis vor Kurzem Turbulufttechnik (TLT) aus Zweibrücken in Deutschland, die unter anderem den großen französischen Windkanal S1MA entworfen haben. Daneben gibt es noch eine Reihe weiterer Unternehmen, die kleinere Windkanäle anbieten, wie die Hyperschall- und Strömungstechnik GmbH in Lindau bei Göttingen. Diese stellen zumeist Windkanäle für die Forschung und Lehre zum Beispiel an Universitäten her. Außerdem gibt es Firmen wie die Wallner und Brand Ingenieurgesellschaft (WBI) beziehungsweise die Schreiber, Brand und Partner Ingenieurgesellschaft (SBI), die sich auf den Bau von Windkanälen für die Automobilindustrie spezialisiert haben. „Die Genauigkeitsanforderungen an Windkanäle für die Luftfahrt sind allerdings höher als die für Automobiluntersuchungen“, erläutert Bergmann.

„DAS DLR ZÄHLT ZU DEN BESTEN,
WENN ES UM DEN AERODYNAMISCHEN
ENTWURF VON WINDKANÄLEN GEHT.“

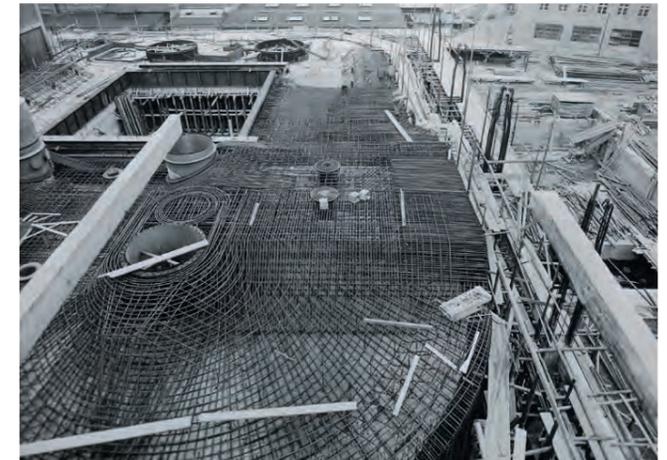
Der Bau eines Windkanals läuft ähnlich wie ein Hausbau ab. Zunächst muss sich der Bauherr, also der Windkanalbetreiber, überlegen, was sein Windkanal alles können soll. Dies wird in einem sogenannten Lastenheft festgehalten. Dann übernimmt normalerweise eine der Firmen, die auf das Entwerfen von Windkanälen spezialisiert sind – sie fungiert später auch als Architekt. Die eigentlichen Bauarbeiten werden dann ausgeschrieben. Allerdings sind die ausführenden Baufirmen zumeist bekannt. Bergmann: „Die Anforderungen an die Statik und den Stahlbau sind beispielsweise so speziell, dass nur wenige in Frage kommen und man Erfahrung mit ähnlichen Vorhaben voraussetzt.“ Die Produktion von Motoren mit mehr als zehn Megawatt Leistung können ebenfalls nur Spezialisten wie ABB, die Lloyd Dynamowerke (LDW), General Electric oder Siemens. Ähnlich wie beim Hausbau gibt es auch die Möglichkeit, einen Windkanal schlüsselfertig herstellen zu lassen. „Aber da sollte man mit Abstrichen in der Qualität rechnen“, so Bergmann.

Zu Beginn der Strömungsforschung wurden Windkanäle in Eigenbau hergestellt. So ließen die Brüder Wilbur und Orville Wright um 1900 ihren ersten Windkanal von ihrem Angestellten Charlie Taylor mit einer Luftschraube bauen, die wie ein Fahrrad angetrieben wird. Kein Wunder, waren die Flugpioniere selbst doch Fahrradhersteller, die so manche Erkenntnis aus dem Fahrradbau auf die Herstellung von Flugzeugen übertrugen.

Die Luftfahrtforschungseinrichtungen wie der Vorläufer des DLR, die Aerodynamische Versuchsanstalt Göttingen (AVA), haben ihre Windkanäle zumeist selbst konstruiert und dann von Baufirmen errichten lassen. „Das ist bis heute so geblieben“, erklärt Bergmann: „Das DLR zählt zu den Besten, wenn es um den aerodynamischen Entwurf von Windkanälen geht.“ Bergmann selbst kann auf eine langjährige Erfahrung im Bau von Windkanälen zurückblicken. Der von ihm geleitete Niedergeschwindigkeits-Windkanal Braunschweig war früher ein rein aerodynamisch optimierter Windkanal. Dann sollte er zu einem der leisesten Windkanäle der Welt umgebaut werden. „Wir hatten anfangs eine externe Firma mit dem Entwurf beauftragt. Dann haben wir festgestellt, dass wir mit unseren eigenen Berechnungen die Leistung deutlich verbessern können – und ihn nach unseren Vorgaben bauen lassen“, sagt Bergmann.



Bau des Göttinger Windkanals 6 im Jahr 1935: Man sieht die Montage der Kanalrohre und die Stahlkonstruktion für das den Kanal umgebende Gebäude



Großbaustelle für den weltweit ersten Kryokanal: Der GR II im Bau 1941

Die Braunschweiger DLR-Wissenschaftler hatten so großes Vertrauen in ihre Berechnungen, dass sie erstmals auf ein sonst übliches Vorgehen im Windkanalbau verzichteten. „Normalerweise wird von jedem Windkanal zunächst ein funktionsfähiges Modell zum Beispiel im Maßstab eins zu zehn gebaut. Damit soll die Richtigkeit der Konstruktion überprüft werden. Das haben wir in unseren Rechnern simulieren können – und damit Kosten und Aufwand gespart“, erläutert Bergmann. Kein Wunder, dass DLR-Forscher wie Bergmann als Windkanal-Experten auch bei externen Projekten gefragt sind. Vor Kurzem wurde er unter anderem vom Automobilhersteller VW als Berater beim Bau zweier neuer Windkanäle engagiert. Die eigentliche Entwicklung führte eine andere Firma aus. „Am Ende haben wir im DLR den aerodynamischen Entwurf maßgeblich beeinflusst“, so Bergmann.

Automobilfirmen sind heute die wichtigsten Auftraggeber für neue Windkanäle. „Nach dem ETW (European Transonic Windtunnel in Köln, siehe Folge 7 im DLR-Magazin 147 vom September 2015, d. Red.) und dem DNW/LLF ist in der westlichen Welt kein neuer Windkanal für die Luftfahrtforschung gebaut worden“, sagt Bergmann. Die millionenschweren Großanlagen bleiben jahrzehntelang in Betrieb – oft weit über die ursprünglich geplante Laufzeit hinaus – und werden meist modernisiert statt neu gebaut. Anders sieht es in China aus: Dort sind in den vergangenen Jahren viele neue Windkanäle für die Luft- und Raumfahrtforschung entstanden. – Ein klares Indiz für die Ambitionen des Reichs der Mitte auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrtforschung.

Beim Bau des neuen Turbinenprüfstands NG-Turb im DLR Göttingen: Der 77 Tonnen schwere Verdichter wurde durch das offene Dach eingesetzt



ÜBERSCHALLFLUGZEUGE UND EXOTISCHE ALLTRANSPORTER

Das englisch-französische Überschallverkehrsflugzeug CONCORDE ist – zusammen mit der ähnlich konfigurierten Tupolev 144 – der von Weitem sichtbare Blickfang des Sinsheimer Technikmuseums



Bild: Auto & Technik Museum Sinsheim

Luft- und Raumfahrtpräzisen in Deutschlands Süden

Schon seit etlichen Jahren erfreuen sich Luftfahrtmuseen in Deutschland und im Ausland großer Beliebtheit – einige dieser Einrichtungen, wie die beiden Schweizer Fliegermuseen in Altenrhein und Dübendorf (DLR-Magazin 138), die zum Deutschen Museum München gehörende Flugwerft Schleißheim (DLR-Magazin 140) und die britischen Luftfahrtmuseen Brooklands und Duxford (DLR-Magazin 143) stellte das DLR-Magazin schon vor. Besonders interessant wird ein solches Museum, wenn Luftfahrtgeschichte im Kontext mit anderen Technikdisziplinen wie Automobil- oder Eisenbahngeschichte präsentiert wird. Beispielhaft dafür sind das Auto & Technik Museum im schwäbischen Sinsheim und seine Dependence im pfälzischen Speyer.

Das Auto & Technik Museum Sinsheim, unmittelbar an der Autobahn A6 gelegen, macht schon von Weitem auf sich aufmerksam. Auf einem Podest thronen die beiden spektakulären Überschall-Verkehrsflugzeuge: die schon legendär gewordene britisch-französische Concorde sowie ihr russisches Pendant, die annähernd gleich konfigurierte Tupolev 144. Je näher die Besucher dem Museum kommen, desto mehr Flugzeuge rücken ins Bild, eine Vickers Viscount etwa sowie weitere Muster. Vor einigen Jahren allerdings wurde unmittelbar am Museum eine Sichtblende zur Autobahn installiert, die Rate der aus Unachtsamkeit verursachten „automobilen Kaltverformungen“ war wohl auf Dauer zu hoch ...

Für Luftfahrt-Freaks ist zweifellos das sogenannte Flight Deck auf der Halle 2 von besonderem Interesse. Acht Flugzeuge, darunter als „Eyecatcher“ weltweit einmalig die Überschallverkehrsflugzeuge Concorde und Tupolev 144. Während die Concorde zwischen 1976 und 2003 für die beiden Herstellerländer Großbritannien und Frankreich immerhin zu einem beachtlichen Prestige-Erfolg (nicht etwa zu einem kommerziellen Erfolg) wurde, kam das russische Pendant sozusagen nie auf einen grünen Zweig. Möglicherweise hätte es noch zu einer Karriere in der damaligen Sowjetunion gelangt, aber nach dem tragischen Absturz während eines Präsentationsfluges auf dem Pariser Aero Salon 1973 war selbst unter den seinerzeit obwaltenden planwirtschaftlichen Regularien nicht mehr an einen kommerziellen Erfolg zu denken. Nur für eine kurze Zeit gab es einen Liniendienst zwischen Moskau und dem kasachischen Almaty. Doch es sollte sich schnell herausstellen, dass das Flugzeug technisch nicht ausgereift war. Es folgten noch einige Forschungsflüge, dann wurde das ambitionierte Projekt eingestellt. Ein einziges Exemplar fand den Weg heraus aus Russland, und das steht jetzt in Sinsheim – einträchtig vereint mit dem französisch-britischen Konkurrenzmodell Concorde – und ragt als Blickfang über das Technikmuseum hinaus. Interessant sind auch die zahlreichen Infotafeln und Video-clips über den Transport der beiden „Supervögel“ in den Jahren 2000 und 2003 auf dem Luft-, Land- und sogar Wasserweg ins Auto & Technik Museum Sinsheim.

Beide Flugzeuge sind – wie auch viele andere – begehbar. Der „Aufstieg“ in die beiden Überschallverkehrsflugzeuge gerät allerdings schnell zur schweißtreibenden Arbeit, ragen doch beide Typen bereits in lichter Höhe in der für sie typischen Steigflug-Konfiguration hoch hinaus. Bis man an der leider recht milchigen Plexiglas-Trennscheibe zum Cockpit angelangt ist, sind die Knie schon ein bisschen weich ... Neben den beiden Überschall-Airlinern laden auch noch eine klassische Junkers Ju 52, eine ebenfalls schon legendäre Douglas DC 3 („Dakota“), eine russische Iljuschin Il 18 sowie die kleinere Il 14, eine britische Vickers Viscount sowie auch ein Löschflugzeug, die Canadair CL 215, zum Besuch ein. Spektakulär sind mehrere spiralförmige Rutschen an einigen Flugzeugen, welche Kindern und anderen Wagemutigen einen Blitzabstieg hinunter in den Eingangsbereich bieten.

Der Rundgang schließlich durch die einzelnen Museumshallen ist eine kurzweilige „tour d’horizon“ durch Jahrzehnte dauernde Technikgeschichte einer Fülle von Land- und Luftfahrzeugen. Chromblitzende amerikanische Straßenkreuzer zählen ebenso dazu wie herrliche Daimler-Benz-Karosserien oder großartige Maybach- und Horch-Typen. Nicht minder interessant: eine Zusammenstellung von Ferrari-Traumwagen, von historischen Bugatti-Preziosen, aber auch von sogenannten Brot- und Butter-Autos, womit man in den Sechzigern noch tagtäglich zuverlässig zur Arbeit fuhr. Sehr schön und museumsdidaktisch überaus gelungen ist, dass das



Blick auf eine Mig 15, einen Kamov KA 26-Landwirtschaftshelikopter sowie das robuste Zubringerflugzeug Antonov An 2



Bild: Auto & Technik Museum Sinsheim

Mit prächtigen Maybach-Luxuskarossen, im Vordergrund der Maybach „Zeppelin“, glänzt die Sinsheimer Automobilsammlung



Bild: Auto & Technik Museum Sinsheim

Zeitgemäßes Ambiente: Hinter einer innenbetriebenen Einradkonstruktion macht vor allem ein Großorchestrieren mächtigen akustischen Eindruck



Die in Speyer präsentierte zweimotorige Beech 50 „Twin Bonanza“ war in den Fünfzigerjahren ein beliebtes Geschäftsreiseflugzeug

Bild: Technik Museum Speyer

Museum es nicht beim bloßen Hinstellen der Fahrzeuge belässt. Sorgfältig arrangiert veranschaulichen Figuren und andere Accessoires das Milieu in den einzelnen Epochen. Unter anderem zeigen die diversen Autos und Motorräder der nicht mehr existierenden Firma NSU, dass dieses Kürzel über Jahrzehnte eine technik- und kulturhistorische Bedeutung erlangte (und heutzutage als Synonym für Umtriebe aus der rechtsradikalen Schmutzdecke befremdlich wirkt). – Doch zurück zu den Highlights dieser Halle: Dazu zählt sicher eine sehr große Sammlung aktueller wie auch älterer Formel-1-Rennwagen, die man aus solcher Nähe schließlich nur selten zu sehen bekommt.

In den weiteren Hallen finden sich historische Nutzfahrzeuge, eine prächtige Motorrad Sammlung, mehr als 20 riesige Dampflokomotiven (darunter mehrere Versionen des berühmten „Krokodils“) sowie mehrere – vor allem akustisch – überaus beeindruckende Tanz- und Konzertorgeln. Reichlichen Raum nimmt überdies eine sehr breit sortierte Militaria-Ausstellung ein, zahlreiche Panzer und Ähnliches finden erstaunlicherweise immer wieder ihre Bewunderer. Fragwürdig wirkt es allerdings zuweilen, in welcher Weise Väter offensichtlich unbedarfte ihre kleinen Kinder für dieses „Kriegsspielzeug“ zu begeistern versuchen. Ob sich das die Museumspädagogen immer so gedacht haben?

Die Luftfahrt schließlich kommt auch in diesen Hallen nicht zu kurz, wengleich die Präsentation der jeweils sehr plakativ an die Decke gehängten Segelflugzeuge, Sport- und Reiseflugzeuge, Hubschrauber und selbst erster Beispiele der heute so populär gewordenen Ultralight-Flugzeuge ohne weiteren Kontext mitunter etwas zusammenhanglos erscheint.

Lebendige Raumfahrtgeschichte

Keine 40 Kilometer weiter westlich liegt das Technik Museum Speyer – in Sichtweite des berühmten Doms. Die Dependence der Sinsheimer Einrichtung verdankt ihre Existenz der Tatsache, dass Anfang der Neunzigerjahre die Erweiterungsmöglichkeiten des Sinsheimer Museums erschöpft waren und sich den Privatinitiatoren sowie dem Trägerverein die Möglichkeit bot, auf dem Gelände der ehemaligen Pfalz-Flugzeugwerke in Speyer ein zweites Museum zu errichten.

Auch hier kommen Luftfahrt-Interessierte auf ihre Kosten. Die Attraktionen stammen allerdings aus der Raumfahrt. Unbestrittenes Glanzstück der umfangreichen und thematisch breit angelegten Sammlung ist ein Prototyp der früheren sowjetischen Raumfähre BURAN. Dieser etwa 80 Tonnen schwere Koloss wurde in den Achtzigerjahren gebaut und auf 25 Testflügen innerhalb der Erdatmosphäre sowie bei weiteren Rolltests erprobt. Im November 1988 war der erste und einzige (unbemannte) Weltraumflug des Raumgleiters BURAN erfolgt. Nach zwei Erdumkreisungen wurde der Flug mit einer automatischen Landung erfolgreich beendet. Nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion wurde zu Beginn der Neunzigerjahre das ehrgeizige Projekt

aufgrund vielfältiger wirtschaftlicher und technischer Probleme endgültig eingestellt. Auf schier abenteuerlichen Wegen gelangte der Raumgleiter nach Zwischenstationen in Sydney und Bahrain im Jahr 2008 nach Speyer.

Die große Raumfahrt Halle beherbergt zudem die Dauerausstellung „Apollo and beyond“ mit zahlreichen Exponaten. Hervorzuheben ist die originale Landekapsel der Sojus-Mission TM 19, mit der unter anderem der deutsche Wissenschaftsastronaut Ulf Merbold im November 1994 nach seinem Aufenthalt auf der Raumstation MIR zur Erde zurückgekehrt war. Weitere überaus interessante Großexponate sind das Trainingsmodul des europäischen Raumlabors SPACELAB, welches dem Museum vom DLR zur Verfügung gestellt wurde, sowie ein 1:1-Modell des europäischen ISS-Moduls COLUMBUS. Ein 1:1-Modell der Apollo-Mondlandefähre sowie zahlreiche weitere Ausrüstungsgegenstände wie auch Raumanzüge lassen wichtige Meilensteine der amerikanischen wie auch der europäischen Raumfahrt lebendig werden.

Glanzstück der Luftfahrtausstellung ist auf dem Freigelände eine Boeing 747-200, die selbstverständlich – sogar einschließlich eines der beiden Tragflügel – begehrbar ist. Nicht minder spektakulär ist das große russische Transportflugzeug Antonov 22, dessen leistungsstarke Kuznezov-Turbinen vier gegenläufige Propellerpaare antreiben.

Auch in Speyer fehlen nicht die schon nahezu obligatorischen Typen verschiedener Junkers- und Messerschmitt-Baureihen. Zudem schweben auch hier Sport- und Reiseflugzeuge an der Decke, eingerahmt von mehreren neuzeitlichen Kampf- und Trainingsflugzeugen. Eher zu den Raritäten zählen die im Freigelände gezeigten mittelgroßen Airliner VFW 614 sowie die ebenfalls zweistrahlige Dassault Mercure, die als Vorläufer des europäischen Airbus gilt. Der Mercure war allerdings – hauptsächlich aufgrund ihrer deutlich zu niedrigen Reichweite von nicht viel mehr als 1.000 Kilometern – absehbar kein kommerzieller Erfolg beschieden.

Personenwagen, Nutzfahrzeuge, Dampflokomotiven, Schiffsmotoren, eine beachtliche Sammlung der herrlichen Münch-Motorräder („Mammut“) und vieles mehr findet der Besucher im Museum Speyer. Aus dem Rahmen fallen hingegen mehrere maritime – ebenfalls begehrbare – Großexponate wie das U-Boot U9 der Bundesmarine, der Seenotkreuzer „John T. Essberger“ sowie das große Hausboot der bekannten Kelly-Musikerfamilie.

Den Abschluss eines so breit gefächerten und überaus lohnenswerten Museumstages bieten hier wie auch in Sinsheim aufregende Filmabenteuer im großen IMAX 3D-Kino. Hier können die Besucher mit allen Sinnen noch einmal eintauchen in die weite Welt der Technik-Abenteuer.

Hans-Leo Richter



Die Vielzahl der im Technik Museum Speyer ausgestellten Flugzeuge und Schiffe auf einen Blick



Von Russland über Sydney und Bahrain nach Speyer: der Prototyp der Raumfähre BURAN ist das Highlight der umfangreichen Raumfahrtausstellung



Originalgetreuer Nachbau des Mondlande-Moduls der Mission Apollo 17; die Astronautenfigur veranschaulicht gut das Größenverhältnis

AUTO & TECHNIK MUSEUM SINSHEIM UND TECHNIK MUSEUM SPEYER

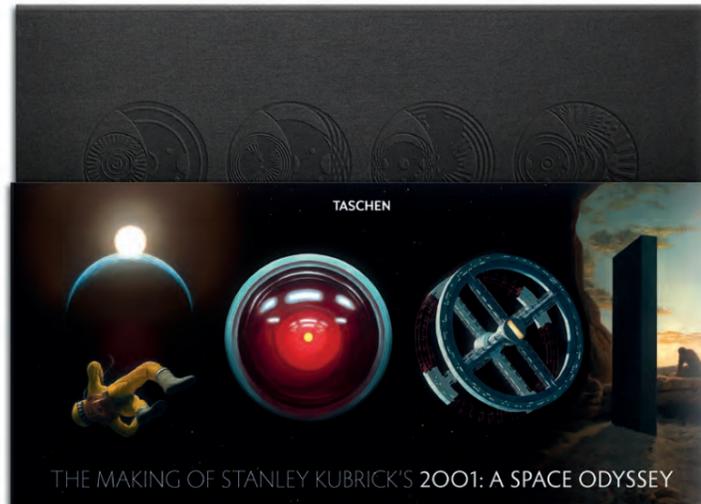
Öffnungszeiten: täglich 9 bis 18 Uhr, sonn- und feiertags bis 19 Uhr

Eintritt: Kinder bis 5 Jahre gratis, Kinder 6 bis 14 Jahre: 12 Euro, Erwachsene: 14 Euro, Kino extra.

Begleitprogramm siehe www.technik-museum.de

MONUMENTAL UND DETAILLIERT

Zwischen dem Menschen und seinen Maschinen gibt es eine tiefe emotionale Verbindung. Zumindest hat Stanley Kubrick dies behauptet. Kein Wunder, dass der Bordcomputer HAL 9000 als Maschine mit Intelligenz und Gefühlen in die Filmgeschichte einging. Piers Bizony's Buch **The Making of Stanley Kubrick's 2001: A Space Odyssey (Taschen Verlag)** ist ein Monumentalwerk, das solche Kommentare, den Schaffensprozess und die Hintergründe für Kubricks Science-Fiction-Film mit jeder Menge Bildern liefert (Texte englisch). Ein schwerer Brocken in schwarzem Einband, schmal und hoch – wie der geheimnisvolle Monolith, der im Film nicht nur in der frühesten Vergangenheit der Menschheit, sondern auch in ihrer Zukunft auftaucht. Es ist ein unpraktisches Format, das großformatige Bilder nur auf umständlichen Aufklappseiten zeigen kann. Doch dadurch erhält das Buch einen eigenen Charakter, passend zum Film, der zunächst bei den Kritikern auf Ablehnung und Unverständnis stieß, sich dann aber zum Kult-Film entwickelte.



Bizony erzählt die mühsame Entstehungsgeschichte, bei der Autor Arthur C. Clarke und Stanley Kubrick beschlossen, Roman und Film gleichzeitig und gleichberechtigt zu entwerfen. Kubrick war ein Besessener, der bis ins letzte Detail nach Umsetzungen suchte, die den Film in seinen Augen perfekt machen würden. Zu seinem Team gehörten auch

Hans-Kurt Lange, der für die „Future Projects Division“ der NASA die visionären Entwicklungen zeichnete, und Frederick Ordway, der im Team von Wernher von Braun Projekte koordinierte. Bizony's Buch über einen Film und ein Buch zeigt daher Entwürfe, die in einem technischen Konstruktionsbüro wohl kaum auffallen würden.

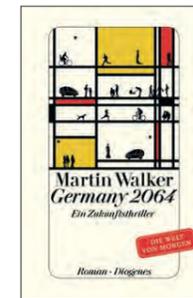
Bis zur Vollendung haben es aber nur wenige dieser Entwürfe gebracht, denn Kubrick war kritisch: Auch wenn er noch keine konkrete Vorstellung hatte – traf ein Entwurf nicht seinen Geschmack, war das Nein eindeutig. Er brachte Modellbauer an den Rand der Verzweiflung, lehnte Entwürfe des Computerherstellers IBM ab und konnte nur knapp davon abgehalten werden, das ursprüngliche Ziel im Film, den Jupiter, gegen den Saturn mit seinen faszinierenden Ringen auszutauschen – und so die Verantwortlichen für die Spezialeffekte ins Schwitzen zu bringen. Selbst der in mehreren Wochen hergestellte Monolith fand letztendlich keine Gnade – und wurde an einen Bildhauer verkauft. Heute steht das aus der unerwünschten Filmrequisite geschaffene Kunstwerk „Crystal Crown“ in London und erinnert an das Silberjubiläum von Queen Elizabeth. Für den Film ist jede Wandtafel, jedes Schalterpult, jeder Raumfahrtanzug akribisch bedacht und ausgewählt worden.

Computergenerierte Special Effects waren in den Sechzigerjahren noch Zukunftsmusik, und so zeigen die Fotos die riesigen Modelle, mit denen das Filmteam arbeitete. Die Zentrifuge, die den Astronauten an Bord eine künstliche Schwerkraft verschafft, war in Wirklichkeit ein großes Hamsterrad, das sich mit Kamera und Personal drehte. Ausstiege in die Schwerelosigkeit oder farbige Galaxien erforderten Einfallsreichtum. Detailliert hat Bizony die Methoden beschrieben und mit Fotos belegt.

Für den nur oberflächlich Interessierten mögen die Informationen in Bizony's „Making of“ zu ausufernd sein. Für die aber, die sich für Filmgeschichte, Science-Fiction oder schlichtweg Stanley Kubrick interessieren, ist der 560-Seiten-Klotz eine Fundgrube an Wissen und spannenden Fotos, die mit Muße betrachtet werden wollen.

Manuela Braun

VIEL ZUKUNFT, WENIG THRILLER



Baden-Württemberg ist nicht gerade das Erste, was einem beim Stichwort Zukunftsthiller in den Kopf kommt. Überhaupt: Science-Fiction spielt sich selten in Deutschland ab. Krimiautor Martin Walker, der seine Verbrechen sonst in Frankreich stattfinden lässt, hat das mit **Germany 2064. Ein Zukunftsthiller (Diogenes)** geändert. Eine Sängerin wird in einer Konzertpause entführt – und das ruft Ermittler Bernd Aguilar und seinen Roboter Roberto auf den Plan. Roberto gehört zur neuesten Generation der „Automatisierten Partner“. Doch die Suche nach der Sängerin gerät so weit in den Hintergrund, dass man stellenweise vergisst, dass die Dame verschwunden ist. Walker ist nämlich nicht nur Schriftsteller, sondern auch Mitglied des Think Tanks „Global Business Policy Council“, einer internationalen Beratungsgesellschaft. Und so nimmt er die Ergebnisse eines Symposiums über Deutschland in 50 Jahren und rankt sie um eine etwas zerfaserte Krimi-Handlung. Doch so dünn die Handlung ist, so interessant ist die Zukunft, die Walker und seine Kollegen zeichnen. Roboter werden menschlicher, Rindfleisch und Baumwolle gibt es nicht mehr, weil ihre Produktion zu viele Ressourcen verbraucht. 3D-Drucker haben der Billigproduktion im Ausland Konkurrenz gemacht. Wer den Krimi liebt, wird enttäuscht, wer Denkanstöße mag, wird fündig.

Manuela Braun

ÜBERFLIEGER

Fliegen ist kinderleicht, so scheint es, wenn man sich durch dieses ausgesprochen ansprechende, leichtverständliche und gut recherchierte Buch blättert. Kindgerecht verpackt erlebt man die **Faszination Fliegen (Ravensburger)** anhand interessanter Einblicke in die Welt der fliegenden Kisten und der Männer, die sie steuern. Nicht nur, dass der Luftverkehr mit seinen Piloten, Fluglotsen, Superjumbos und Riesenflughäfen aufregend bebildert und mit Liebe zum kuriosen Detail dargestellt ist. Auch die fliegende Tierwelt findet mit allerlei erstaunlichen Rekorden immer wieder einen Platz und die abenteuerlichen Taten der Flugpioniere werden erwähnt. Acht- bis Zwölfjährige werden direkt auf ihre Erfahrungen angesprochen. Einfache Experimente und pointierte Grafiken regen das intuitive Verständnis an. Ausklappseiten lassen die jungen Leser bei der Lektüre zu Entdeckern der Lüfte werden. Auch Eltern lernen auf den 56 großformatigen Seiten noch das eine oder andere über die vielfältigen Facetten des Fliegens.

Falk Dambowsky

ABENTEURER

Die Hörspiel-Inszenierung der Bilderbuchgeschichte **Lindbergh. Die abenteuerliche Geschichte einer fliegenden Maus (Hörverlag)** von Torben Kuhlmann nimmt die Hörer mit auf eine Reise ins Hamburg des 20. Jahrhunderts. Dort lebt die mutige Maus Charlie, deren sehnlichster Wunsch es ist, nach Amerika auszuwandern. Dort vermutet sie nämlich ihre verschwundene Familie und Freunde. Da an Bord der Ozeanriesen zu viele Gefahren lauern, beschließt sie, ein Fluggerät zu bauen, das sie über den Luftweg an das Ziel ihrer Träume bringt – in die Stadt mit der Freiheitsstatue. Das Hörspiel ist aufwändig und atmosphärisch dicht inszeniert, die Dauer mit 45 Minuten passend und Bastian Pastewka als Sprecher gut gewählt. Manche Szenen sind für die jüngeren Hörer – Altersempfehlung des Verlags ist ab fünf Jahren – ziemlich spannend. Ihnen tut eine kleine Pause gut. Die Unterhaltungen des Erzählers mit dem Zeichner der Geschichte sorgen für die kleine Auszeit. Die älteren Zuhörer mag das stören. Für die Kleinen ist es Zeit zum Durchatmen. Alles in allem: gute Unterhaltung für die ganze Familie.

Elke Heinemann

LINKTIPPS

... ZUM MONDSÜCHTIG WERDEN

<http://bit.ly/1Q0wen9>

Schwelgen im Meer von Mond-Bildern: 12.000 Fotos ihrer Apollo-Missionen hat die NASA auf flickr veröffentlicht. Von der Erde, von der Mondoberfläche und von den Mondfähren sowie dem berühmten Mondauto. Und natürlich von den Astronauten. Das Project Apollo Archive (PAA) gibt es seit 1999. Im Jahr 2004 hat das Johnson Space Center damit begonnen, die Apollo-Fotos, die mit Hasselblad-Kameras gemacht wurden, einzuscannen. Die Bilder stehen nun im Originalzustand von damals kostenfrei zur Verfügung. Das Project Apollo Archive ist einfach fantastisch.

WÖRTERBUCH MAL ANDERS

<http://www.visuwords.com/>

Online-Wörterbücher und -Lexika gibt es zahlreich im World Wide Web. Bei der englischsprachigen Website Visuwords handelt es sich um eine Kombination aus Thesaurus und Online-Wörterbuch. Analog zu einer Mind Map spannt sich vor den Augen des Betrachters ein ganzes Netz von Verbindungen auf, bei dem der gesuchte Begriff im Zentrum steht und beliebig verschoben oder erweitert werden kann. Ein schönes Tool, wenn man beim Brainstorming nicht weiterkommt oder etwas mehr sucht als nur die Bedeutung eines Begriffs.

DIE ISS MIT BLOSSEM AUGE SEHEN

<http://spotthestation.nasa.gov>

Die ISS ist der dritthellste Himmelskörper. Daher brauchen Weltraumbegeisterte kein Teleskop, um sie zu sehen. Die englische Website Spot the Station hilft, die Sichtung des nächsten Überflugs zu planen: Standort auswählen und schon werden die wichtigsten Daten aufgelistet. Wer das deutsche Projekt Heavens Above schon kennt, kann auch dieses Portal der NASA spannend finden.

TECHNIK – MENSCH – NATUR

www.universum-bremen.de

Ein lichter Kontrast zu manch anderer musealen Website ist die des Universums in Bremen: Klar, übersichtlich und mit ebenso überraschender wie anmutiger künstlerischer Grafik macht sie potenziellen Besuchern Lust darauf, sich die originellen Expositionen zu Technik, Mensch und Natur einmal live anzusehen und damit in Interaktion zu treten.

LUFTFAHRHISTORIE

www.luftfahrtarchiv.eu

Geschichte, Flugzeuge, Technik, Biografien – was das Herz des Luftfahrtfans begehrt, wurde auf dieser Seite zusammengetragen: schnörkellos, aber sehr informativ. Neckisch: die animierte Beschreibung der Flugmanöver. Erstaunlich: die große Zahl aufgelisteter Luftfahrtmuseen. Eine Fundgrube.

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 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, 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: Manuela Braun, Dorothee Bürkle, Philipp Burtscheidt, Falk Dambowsky, Julia Heil, Elke Heinemann, Andreas Schütz und Jens Wucherpfennig

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 53106-1509-1002



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Titelbild

Der Großraum Berlin in einem Falschfarbenkomposit
(Aufnahme: Sentinel-2, 12. September 2015)
© Copernicus Sentinel data (2015)/ESA