

VOM FERNMEDESATELLITEN ZUR SCHWARMINTELLIGENZ

INTERVIEW: Wie die Erneuerbaren aus der Nische kamen

REPORTAGE: Schiffstanz um Helgoland für die Datenübertragung bei rauer See

BERICHT: Vulkanasche in der Luft – Suche nach dem sicheren Pfad





Bild: DLR/Gesine Born

Liebe Leserinnen und Leser,

der Blick in die Vergangenheit wird öfter verdammt als gepriesen. Etwa von Konfuzius: „Wer nur zurückschaut, kann nicht sehen, was auf ihn zukommt“. Und ehrlich gesagt, ist mein Motto auch eher: „Schau nach vorn, nicht zurück!“. Wenn wir im ersten DLR-Magazin 2016 mehr als sonst historisch werden, mag das also widersinnig scheinen. Doch ließen wir es bleiben, wäre in diesem Heft nicht von diesem kleinen, aber feinen RiesKraterMuseum zu lesen, das auch mit Know-how aus dem DLR Wissen über den Meteoriteneinschlag im Nördlinger Ries vermittelt. Auch der Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull aus dem Jahr 2010 dürfte kaum eine Rolle spielen. Aber die von ihm damals verursachten Aschewolken sind Basis für ein Szenario, das uns heute den Ausweg aus einer Luftverkehrskrise wie der damaligen zeigt. Und ein Gespräch darüber, wie die erneuerbaren Energien aus der Nische kamen, wäre deplatziert. Allerdings ist dieser Beitrag nicht nur Auftakt zu verschiedenen Aktionen, die 40 Jahre Energieforschung im DLR veranschaulichen, er zeigt auch vom Vorteil des langen Atems in der Grundlagenforschung für Wasserstofftechnologien. Und auch die Beiträge zum fünfzigjährigen Bestehen des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation hätten nicht geschrieben werden sollen. Aber allein die Schlagzeile „Vom ersten Fernmeldesatelliten bis zur Schwarmintelligenz“ weist daraufhin, worum es uns in diesem Heft geht: Um Traditionslinien exzellenter Forschung für morgen.

Wer nicht ab und zu innehält und zurückschaut, weiß nicht, wie weit er schon gekommen ist. Deshalb stimme ich auch dem wenig bekannten deutschen Aphoristiker Wilhelm Vogel zu: Die Zukunft besser zu gestalten, ist der Vergangenheit einziger Zweck.

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation



SCHIFFSTANZ UM HELGOLAND

22



SICHER FLIEGEN, AUCH IM STÖRFALL

38



FRISCHER WIND FÜR DEN TANK

10



CLEVERE LIST GEGEN NEBEL UND FINSTERNIS

42



KOMMENTAR

6

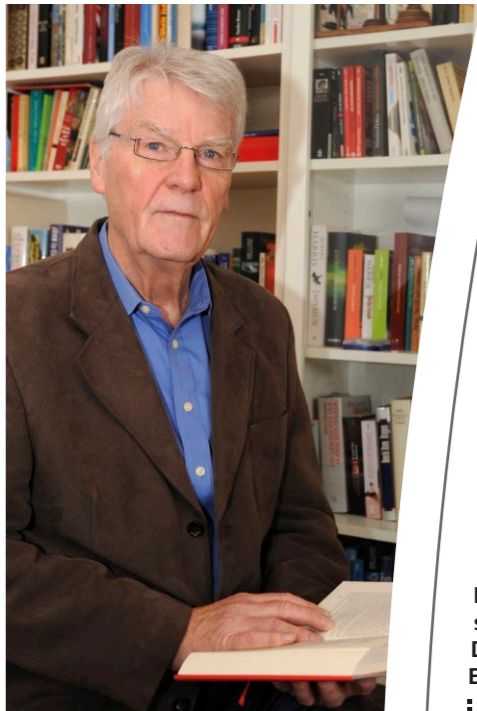


MUSEUMSSERIE

52

DLRmagazin 149

DER LANGE WEG DER ERNEUERBAREN 40 Jahre Energieforschung im DLR	4
KOMMENTAR	6
MELDUNGEN	7
FRISCHER WIND FÜR DEN TANK Wasserstoff: Energieträger mit Zukunft	8
KURZMELDUNGEN	10
VOM ERSTEN FERNMEDESATELLITEN BIS ZUR SCHWARMINTELLIGENZ 50 Jahre DLR-Institut für Kommunikation und Navigation	12
ANTENNEN MIT CHARAKTER Empfänger für die Satellitennavigation	17
FLUGFUNK IN NEUER DIMENSION LDACS für die Luftfahrtkommunikation	18
MIT DEM LICHT AUF EINER WELLENLÄNGE Optische Freiraumkommunikation	20
SCHIFFSTANZ UM HELGOLAND Datenübertragung bei rauer See	22
HOCH HINAUS Mit dem „Fliegenden Hörsaal“ unterwegs	28
RISIKO STARKREGEN Informationen über Gefährdungspotenziale	32
SUCHE NACH DEM SICHEREN PFAD Vulkanaschewolken in der Simulation	34
SICHER FLIEGEN, AUCH IM STÖRFALL Neues Assistenzsystem für Piloten	38
LIST GEGEN NEBEL UND FINSTERNIS Radarsystem für das Verkehrsmanagement	42
LEISER AN DER BAHNSTRECKE Konzept aus der Luftfahrt könnte helfen	46
318 METER FÜR STRÖMUNGSTESTS Windkanalserie: Der Gigant in Marknesse	48
FEUILLETON	
In Museen gesehen	52
Rezensionen	56
Linktipps	59



Zur Person

Dr.-Ing. Gerd Eisenbeiß war von 1990 bis 2001 Programmdirektor für Energie- und Verkehrsforschung im DLR, anschließend Vorstand für Energie- und Materialforschung im Forschungszentrum Jülich. Eisenbeiß hat an der Universität Karlsruhe Physik studiert und promoviert. 1973 ging er in die damalige Bundeshauptstadt Bonn, zunächst als Referent im Bundeskanzleramt, später im Bundesforschungsministerium. Dort war er mit den Themen Energietechnik, Energiepolitik und Informationstechnik betraut. Zudem war er in verschiedenen EU-Gremien in Brüssel für die europäische Zusammenarbeit in Forschungsangelegenheiten zuständig. Eisenbeiß war mehrfach Sprecher des Forschungsverbands Solarenergie (FVS). 1996 wurde er von der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie mit dem DGS-Solarpreis geehrt.



WIE DIE ERNEUERBAREN AUS DER NISCHE KAMEN

Wissenschaftsjournalist Tim Schröder im Gespräch mit Dr.-Ing. Gerd Eisenbeiß über die Anfänge der Energieforschung im DLR – und in ganz Deutschland

Herr Eisenbeiß, bevor Sie 1990 zum DLR kamen, waren Sie 17 Jahre lang in der Forschungspolitik tätig. Sie haben die Entwicklung der Energiepolitik und -forschung in Deutschland und Europa unmittelbar miterlebt und zum Teil mitgestaltet. Wie sah die Energiewelt damals aus?

■ Als ich 1973 als Referent für Forschung ins Bundeskanzleramt kam, war Willy Brandt Bundeskanzler. Die Forschungsagenda der sozialdemokratischen Regierung hatte nur drei Schwerpunkte: Datenverarbeitung, Kernenergie und Raumfahrt. Die Kernenergie galt als die Lösung, um für alle Zukunft den wachsenden Energiebedarf zu decken. Regenerative Energien waren quasi nicht existent.

Dann aber kam es im Herbst 1973 zur Ölkrise – und die Welt sah plötzlich anders aus ...

■ Richtig. Die Ölkrise führte der Menschheit die Endlichkeit der fossilen Rohstoffe vor Augen. Plötzlich standen Themen wie der effiziente Umgang mit Energie und alternative Energien wie Sonne und Wind auf der Agenda. Das DLR, damals noch DFVLR (Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V., d. Red.), konnte sich aus dem Stand in die Entwicklung dieser alternativen Technologien einbringen. Das Wissen aus der Entwicklung von Hubschrauberrotoren ließ sich direkt auf Windradflügel übertragen. Die Expertise aus der Entwicklung von Triebwerken wiederum konnte man für eine grundlegende Verbrennungsforschung und die Optimierung von Kraftwerken nutzen. Die DFVLR entwickelte zu der Zeit hervorragende Diagnosetechniken, um in das Innere der Flammen zu sehen. Das war so ziemlich einzigartig.

Bis sich die regenerativen Energien durchsetzen konnten, war es aber noch ein langer Weg.

■ Natürlich, aber die Forschung nahm an Fahrt auf. Auf Initiative des damaligen US-Außenministers Henry Kissinger wurde als Gegengewicht zur OPEC in Paris die Internationale Energieagentur gegründet, eine wichtige Kooperationsplattform in Sachen Energietechnik bis heute. Die IEA startete damals in Almería in Spanien ein internationales Kooperationsprojekt zum Aufbau des ersten Solarkraftwerks – einer Anlage, in der mit Sonnenenergie Dampf erzeugt wird, der wiederum eine Turbine antreibt – eine für damalige Verhältnisse völlig neue Technologie. Die DFVLR übernahm die technische Leitung, musste aber, wie alle anderen auch, erst einmal Expertise aufbauen. Ich habe mich damals als Referatsleiter im Forschungsministerium dafür stark gemacht, das internationale Großprojekt in Almería finanziell zu unterstützen. Hinzu kam die Wasserstoffforschung. Hier konnte die DFVLR durch das Wissen über Raketenantriebe einiges beitragen.

1982 gewann die CDU mit Helmut Kohl die Bundestagswahl. Sie blieben in der Forschungspolitik, waren in EU-Gremien tätig und arbeiteten später eng mit Forschungsminister Heinz Riesenhuber zusammen. Wie entwickelte sich die Energiepolitik weiter?

■ Die Erforschung von Sonnen- und Windenergie ging weiter voran. Nicht zuletzt in der DFVLR hatte sich die Wasserstoffforschung etabliert. Das Bundesforschungsministerium förderte die Idee von Wasserstoff, der mit Sonnenenergie erzeugt wird, bundesweit mit einem 100 Millionen DM schweren Programm. Letztlich gelangte man zu der Erkenntnis, dass „erneuerbarer“ Wasserstoff als Brennstoff zu diesem Zeitpunkt trotz seines großen Potenzials, etwa im Autoverkehr, viel zu teuer war. Es war daher nicht verwunderlich, dass die Industrie damals noch kein Interesse an der Wasserstofftechnik hatte. Die Wasserstofftechnik war ihrer Zeit voraus.

Und wie erging es der Sonnen- und Windtechnik?

■ 1985 bat mich Herr Riesenhuber, ein Ranking von Energie-Technologien zu erstellen, die aus einem relativ kleinen Topf gefördert werden sollten. Ich schlug vor, zusätzlich je zehn Millionen DM in die solarthermischen Kraftwerke und die Geothermie zu stecken. Er lehnte ab. Das war ein Dämpfer. Ein Jahr später aber kam Tschernobyl, und das veränderte die Sicht auf die Dinge radikal. Riesenhuber erkannte sofort, dass ein politischer Richtungswechsel und mehr Geld für die Erforschung erneuerbarer Energien nötig waren. Tatsächlich sagte er sofort zusätzliche 50 Millionen DM zu. Und auch in den Folgejahren ging die Förderung weiter. Das rettete dann die Finanzierung der Forschung für solarthermische Kraftwerke auch im DLR.

Dann wurden Sie Programmdirektor für Energie- und Verkehrsforschung beim DLR – als jemand, der die Energieforschungspolitik sehr gut kannte.

■ Das war von großem Vorteil. Ich wusste sehr genau, welche Art von Projekten überhaupt eine Chance auf Förderung hatte. Meine Verantwortung als Programmdirektor bestand ja nicht nur darin, Gelder zu verteilen und damit Forschungsschwerpunkte zu setzen, sondern auch Drittmittel einzuwerben, sowohl aus der Politik als auch der Industrie.

Dazu braucht man eine industriennahe angewandte Forschung. Dementsprechend habe ich Projekte während meiner elf Jahre am DLR unterstützt – oder auch nicht.

Oder auch nicht?

■ Die Windenergieforschung zum Beispiel. Sie war Anfang der Neunzigerjahre bereits so weit etabliert, dass andere Institutionen und auch die Industrie hier hervorragende Entwicklungsarbeit leisteten. Ich habe die Windforschung im DLR beendet. Und das hat sich als vernünftig erwiesen. Natürlich war das kein Hindernis, spezielle Kompetenzen der Werkstoffforschung oder der Aerodynamik punktuell in drittmittel-finanzierte Kooperationsprojekte einzubringen. Heute sind die DLR-Kompetenzen in Sachen Wind wieder stärker gefragt. Das ist erfreulich und verdient Unterstützung.

Wie verhielt es sich mit dem Wasserstoff?

■ Für Wasserstoff gab es auch in den Neunzigerjahren keinen Markt. Die Grundlagen waren erforscht, doch die Industrie hatte nach wie vor kein Interesse. Natürlich hat gerade das DLR hier bedeutende Forschungsarbeit geleistet – beispielsweise bei der Entwicklung der Brennstoffzelle. Ende der Achtzigerjahre hatten Forscher lange an einer Brennstoffzelle gearbeitet, die nur mit kohlendioxidfreier Luft arbeiten konnte – eine komplizierte und wenig praxistaugliche Technik. Am DLR wurde dann die



Plataforma Solar de Almería: Seit 1980 erforscht das DLR solarthermische Kraftwerksanlagen in Spanien

Membran-Brennstoffzelle entwickelt, die bis heute eine der führenden Technologien ist. Dennoch konnte ich es nicht vertreten, die Wasserstofftechnik als die Lösung für die Energieversorgung von morgen zu feiern. Während einer öffentlichen Diskussion rutschte mir damals der Satz heraus „Wasserstoff ist so leicht, dass er einem leicht zu Kopfe steigt.“ Die Wasserstoff-Befürworter haben mir das lange sehr übel genommen.

Welche Schwerpunkte haben Sie stattdessen gesetzt?

■ Unter anderem Sonnenenergie und Verkehrsforschung, die ich ab 1996 aufbauen durfte. Ich bin stolz darauf, die Solarforschung im DLR vorangetrieben zu haben. In den letzten Jahren als DLR-Programmdirektor war ich zugleich quasi Institutsleiter der Solar-Abteilungen in Köln und Almería. Vor meinem Ausscheiden 2001 gelang es dann noch, die Solargruppen in Almería, Köln und Stuttgart organisatorisch zusammenzuführen. Die Gründung eines selbstständigen Instituts für Solarforschung 2011 war das Ergebnis. Wir haben in Köln viele verschiedene Themen bearbeitet. Ende der Achtzigerjahre war auch die Solarchemie ein aktuelles Thema – die Idee, den Energiebedarf der chemischen Industrie mit Sonnenenergie zu decken. So konnte mit Unterstützung des Landes Nordrhein-Westfalen der Kölner Solarofen gebaut werden, der bis heute viele interessante Forschungsergebnisse geliefert hat. Hoch

anerkannt ist bis heute auch die DLR-Forschung für Solarkraftwerke und Wärmespeicher für sehr hohe Temperaturen, die so viel Energie speichern können, dass die Turbinen der Solarkraftwerke damit auch während der Dunkelheit betrieben werden können. Sicherlich arbeiten die DLR-Experten auf keinem Forschungsfeld ganz allein, aber ihr Beitrag war und ist ganz wesentlich.

Gab es auch Schwerpunkte jenseits der erneuerbaren Energien?

■ Ja sicher, zum Beispiel die Energieeffizienz. So haben wir an der Optimierung von Verbrennungsprozessen für Kraftwerke gearbeitet. Und nicht zuletzt die Systemanalyse war ein wichtiger Baustein des Energieforschungsprogramms – die Entwicklung von Energieszenarien, die die Energiewende in Deutschland vorbereitet oder sogar gefördert haben. Alles in allem war die Zeit am DLR für mich eine hoch befriedigende Berufsphase mit großartigen Kollegen in den Instituten und im Vorstand. Hatte mich die Ministerialzeit vom Ingenieurtitel meiner Ausbildung eher etwas entfremdet, so war diese Kompetenz im DLR wieder gefordert. Nach meiner Zeit im DLR war ich von 2001 bis 2006 Vorstand für Energie- und Materialforschung im Forschungszentrum Jülich. In dieser Zeit war ich wieder mehr als Physiker gefragt. Zugleich war ich Energie-Koordinator der Helmholtz-Gemeinschaft – und auch in dieser Rolle habe ich immer gern die DLR-Beiträge zur gemeinsamen Energieforschung gefördert.

Gab es auch Schwerpunkte jenseits der erneuerbaren Energien?

■ Ja sicher, zum Beispiel die Energieeffizienz. So haben wir an der Optimierung von Verbrennungsprozessen für Kraftwerke gearbeitet. Und nicht zuletzt die Systemanalyse war ein wichtiger Baustein des Energieforschungsprogramms – die Entwicklung von Energieszenarien, die die Energiewende in Deutschland vorbereitet oder sogar gefördert haben. Alles in allem war die Zeit am DLR für mich eine hoch befriedigende Berufsphase mit großartigen Kollegen in den Instituten und im Vorstand. Hatte mich die Ministerialzeit vom Ingenieurtitel meiner Ausbildung eher etwas entfremdet, so war diese Kompetenz im DLR wieder gefordert. Nach meiner Zeit im DLR war ich von 2001 bis 2006 Vorstand für Energie- und Materialforschung im Forschungszentrum Jülich. In dieser Zeit war ich wieder mehr als Physiker gefragt. Zugleich war ich Energie-Koordinator der Helmholtz-Gemeinschaft – und auch in dieser Rolle habe ich immer gern die DLR-Beiträge zur gemeinsamen Energieforschung gefördert.



1978: Das DLR rüstet den ersten PKW in Europa für den Betrieb mit Flüssigwasserstoff um

„RÜCKENWIND BEIM SPRUNG IN EINE KLIMAFREUNDLICHE ZUKUNFT“

Ein Kommentar von Jürgen Trittin, Mitglied des Bundestages

Seit vierzig Jahren erzeugt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt nun frischen Wind für Innovationen und Zukunftstechnologien. Dabei dringt es mit seiner Luft- und Raumfahrtforschung nicht nur in neue Sphären vor, sondern hat wesentlich dazu beigetragen, dass eine der größten Herausforderungen unserer Zeit angepackt wird: die Verhinderung der Klimakatastrophe und die Umstellung unserer Wirtschaft auf erneuerbare Energien.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR kennen sich damit aus, gegen Widerstände anzukämpfen. Mit Experimenten im Windkanal wurde schon beim Göttinger Vorgänger des DLR versucht, Luftwiderstände beim Skispringen zu minimieren und so den perfekten Sprung zu errechnen. Heute helfen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beim Sprung in ein Zeitalter ohne dreckige fossile Energien. Während meiner Zeit als Umweltminister hat das DLR belegt, dass unsere ambitionierten Ziele der Energiewende erreichbar sind und so Rückendeckung und zusätzliche Glaubwürdigkeit für dieses Jahrhundertprojekt gegeben, dem es nicht an Widerständen mangelte.

Die jüngste Klimakonferenz in Paris mit ihren nationalen Bekenntnissen zur Reduzierung des CO₂-Ausstoßes war ein großer Fortschritt im Kampf gegen den Klimawandel. Jetzt müssen die vielen Versprechen konkret umgesetzt werden – hier können sowohl die Grundlagenforschung als auch die Leuchtturmprojekte des DLR für Rückenwind sorgen. So haben seine Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu Recht den Descartes-Preis der Europäischen Kommission für ein Projekt erhalten, bei dem CO₂-neutraler Wasserstoff mit Sonnenwärme hergestellt wird. Publikationen, wie die kürzlich im Auftrag von Greenpeace erstellte Studie zur hundertprozentigen Stromversorgung der Kanarischen Inseln mit Erneuerbaren, helfen nicht nur dabei, Kritikerinnen und Kritiker von der Machbarkeit einer globalen Energiewende zu überzeugen – sie zeigen auch, dass sich diese Energiewende wirtschaftlich rechnet.

Auch im Bereich Solarenergie hat das DLR mit der Desertec-Initiative neue Maßstäbe im Zusammenspiel von Klimaschutz, Technologiepolitik und Industrie gesetzt. Auch wenn das Projekt, Sonnenenergie aus Nordafrika in die Industriezentren Europas zu leiten, am Ende aus wirtschaftlichen und politischen Gründen gescheitert ist – wir brauchen dringend weitere Initiativen, die eine Brücke zwischen angewandter Forschung, technischem Know-how und der Politik schlagen.

Ob bei der Energieerzeugung auf lokaler Ebene, der Diskussion um das Strommarktdesign der Zukunft oder der Ökostromfinanzierung: Das DLR hat mit hervorragender Grundlagenforschung und konkreten Projekten kräftigen Rückenwind für die Energiewende erzeugt. Ich bin dankbar für diese Expertise, die uns hilft, in den nächsten Jahrzehnten den Sprung in eine klimafreundliche Zukunft zu meistern.



Bild: Laurence Chaperon

Jürgen Trittin, Jahrgang 1954, ist Bundestagsabgeordneter von Bündnis 90/Die Grünen und Mitglied im Auswärtigen Ausschuss. Von 1998 bis 2005 war er Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und hat in dieser Zeit viele Projekte der DLR-Energieforschung gefördert.

INTELLIGENTE STRUKTUREN TROTZEN WINDTURBULENZEN

SmartBlades: Neue Ideen für stabile und leichte Rotorblätter

Rotorblätter, die sich dem Wind anpassen, sind im Forschungsverbund Windenergie (FVWE) entwickelt und geprüft worden. Das Rotorblatt einer Windenergieanlage ist inzwischen bis zu 85 Meter lang. Die Anlagen reichen in Höhen von über 200 Metern. Das bedeutet hohe Belastungen für das Material. Ideal wären Rotorblätter, die ihre Geometrie an die lokalen Windeinwirkungen anpassen können. Um zu erreichen, dass sich ein Rotorblatt bei starkem Wind so verdreht, dass es dem Wind weniger Angriffsfläche bietet, wurde zum einen eine sichelförmige Geometrie untersucht, zum anderen eine besondere Bauweise des Rotorblattes. Beim strukturellen Ansatz werden die Glasfasern, aus denen das Rotorblatt aufgebaut ist, so gelegt, dass es sich bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten verdrehen und den Anstellwinkel anpassen kann. Die Vorteile: Die Blätter können leichter gebaut werden. Ein anderer Ansatz sind aktive Mechanismen, die die Hinterkanten eines Rotorblattes verändern, womit Anlagenbetreiber die aerodynamischen Belastungen an einem Rotorblatt steuern können. Das Konzept kommt aus der Luftfahrt und lässt sich mit den Klappen an Tragflächen von Flugzeugen vergleichen. Die Wissenschaftler untersuchten auch, ob ein beweglicher Vorflügel an einem Rotorblatt die Effizienz von Windenergieanlagen unter stark schwankenden turbulenten Windbedingungen verbessern kann. Das Konzept des beweglichen Vorflügels wurde im Windkanal getestet und lieferte vielversprechende Ergebnisse für weitere Entwicklungen.



Durch Klappen im Rotorblatt, die den Wind umlenken, sowie bewegliche Hinterkanten und Vorflügel sollen sich Rotorblätter in Zukunft besser und schneller an die lokalen Windströmungen anpassen können.

Im 2013 gegründeten FVWE arbeiten Forscher des DLR, von ForWind (Zentrum für Windenergieforschung der Universitäten Oldenburg, Hannover und Bremen) sowie vom IWES (Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik Nordwest) mit Industrie, Politik und weiteren Forschungspartnern gemeinsam an Großprojekten der Windenergieforschung.

s.DLR.de/23ya

QUALIFIZIERUNGSLABOR FÜR SOLARKRAFTWERKE

Vorbild für Energieversorger in Indien

Das DLR unterstützt den indischen Energieversorger NTPC beim Aufbau eines Forschungszentrums, in dem Solarkraftwerke und ihre Bauteile getestet und weiterentwickelt werden. DLR-Forscher stellen Anlagen, Messgeräte sowie Know-how zur Verfügung. Vorbild für das indische Forschungszentrum ist das Test- und Qualifizierungszentrum QUARZ im DLR Köln. Dort werden Bauteile für Solarkraftwerke wie Parabolspiegel und Absorber-Rohre im Auftrag von industriellen Anbietern geprüft. Das DLR hat dafür internationale anerkannte Messverfahren entwickelt sowie Qualitätsstandards festgelegt und liefert nun Testanlagen für die Messverfahren. Dazu gehören Anlagen zur Spiegelform- und Reflexionsgradmessung, für die Fotogrammetrie und die Kollektor-Qualifizierung. Zum Einsatz kommt auch eine im DLR entwickelte Software, mit der sich Kraftwerke in ihrer Gesamtheit optimieren lassen und so mehr Strom produzieren können.

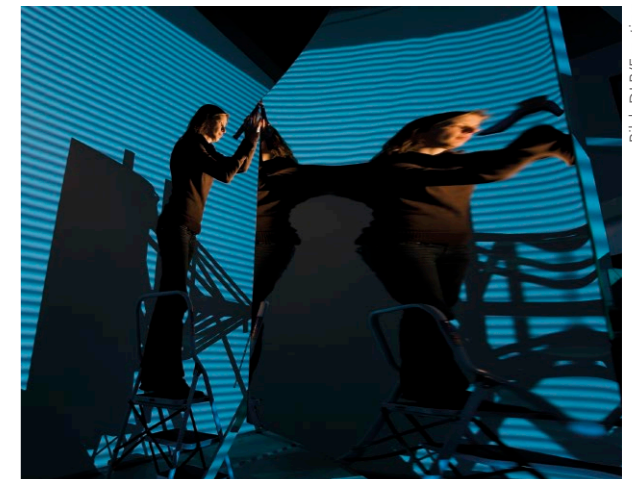


Bild: DLR/Ernsting

Zudem wird das DLR den Partner NTPC mit einem Analysetool unterstützen, das in Indien nach den besten Regionen für Solarkraftwerke sucht. „Obwohl Indien im geografischen Sonnengürtel der Erde liegt, hat das Land sehr heterogene und auch komplexe Strahlungspotenziale. Unter anderem sorgt die Asian brown cloud, eine ausgedehnte, von Menschen gemachte Smogsschicht, dafür, dass zeitweise nur wenig Sonnenstrahlung am Boden ankommt“, beschreibt Dr. Christoph Schillings, Leiter der Systemanalyse und Technikbewertung beim DLR-Institut für Technische Thermodynamik, die Situation in Indien. Neben der Sonneneinstrahlung spielen bei der Suche nach geeigneten Regionen auch die Landnutzung, Schutzgebiete, die Anbindung ans Stromnetz und die Nähe zu Ballungsräumen eine Rolle.

Wie gut reflektiert ein Solarspiegel die Strahlung der Sonne? Mit im DLR entwickelten Testmethoden werden unter anderem Spiegel unterschiedlicher Hersteller geprüft.

s.DLR.de/j95y

FRISCHER WIND FÜR DEN TANK

Energieträger mit Zukunft:
Wasserstoff, produziert mit Strom aus erneuerbaren Ressourcen

Von Denise Nüssle

Ob für saubere Mobilität, als Speicher für fluktuierende erneuerbare Energien, als Prozessgas für die Industrie oder zur effizienten Versorgung mit Strom und Wärme – Wasserstoff ist als Energieträger ein Allround-Talent. Wasserstofftechnologien spielen für die nachhaltige Umgestaltung unseres Energie- und Verkehrssystems eine Schlüsselrolle. Bislang galt die Produktion von Wasserstoff in Mengen, wie sie für das Energiesystem relevant sind, als zu teuer. Ein Überschuss an Strom aus Wind- und Sonnenenergie lässt die Wasserstoffherstellung jedoch in einem neuen Licht erscheinen. In einer Vielzahl von Projekten arbeiten die Forscherinnen und Forscher des DLR daran, diese Potenziale zu erschließen und nutzbar zu machen. Einige Einblicke.

Power-to-Gas: Wasserstoff als Speicher und Kraftstoff

Wohin mit überschüssigem Strom aus Windkraft, wenn der Wind weht, aber die Nachfrage auf dem Strommarkt gering ist und die Stromnetze an ihre Grenzen kommen? Ein Lösungsansatz ist die Herstellung von Wasserstoff mittels Elektrolyse. Elektrische Energie wird dabei in chemische Energie umgewandelt – sprich der Strom wird genutzt, um Wasserstoff zu erzeugen (Power-to-Gas). Schreitet der Ausbau der erneuerbaren Energien wie im Energiekonzept der Bundesregierung beschriebenen fort, so stehen Studien zufolge für das Jahr 2050 rund 25 Terawattstunden Strom zur Verfügung, um Wasserstoff zu produzieren – was ungefähr der Leistung von zwei Atomkraftwerken entspricht.

Dieser Wasserstoff kann dann beispielsweise in Druckbehältern gespeichert, ins Erdgasnetz eingespeist oder zum Betanken von Fahrzeugen mit Brennstoffzellenantrieb verwendet werden. Aktuell gibt es in Deutschland mehr als zwanzig Projekte und Anlagen, mit deren Hilfe Forschung und Industrie Power-to-Gas-Konzepte erproben. Gemeinsam mit E.ON und weiteren Partnern aus Industrie und Forschung haben die DLR-Energiewissenschaftler in Hamburg eine der weltweit modernsten Pilotanlagen entwickelt und im Oktober 2015 in Betrieb genommen.

Wasserstoff zuverlässig tanken

In Zukunft muss der mittels Elektrolyse gewonnene Wasserstoff genauso zuverlässig getankt werden können wie heute Benzin oder Diesel. Wissenschaftler des Stuttgarter DLR-Instituts für Technische Thermodynamik untersuchen und vergleichen dazu unterschiedliche Elektrolyseverfahren – direkt vor Ort an einer bereits existierenden Wasserstofftankstelle des Energieversorgers EnBW im Osten der baden-württembergischen Landeshauptstadt. Regelmäßig tanken dort die landeseigenen Brennstoffzellenautos sowie Brennstoffzellenbusse, die im städtischen Nahverkehr fahren.

Der benötigte Wasserstoff wird bisher mittels alkalischer Elektrolyse hergestellt, einem technisch ausgereiften und zuverlässigen Verfahren. Der ganze elektrochemische Prozess läuft dabei in Kaliumhydroxid-Lauge ab. Zusätzlich zur existierenden Anlage bauen die DLR-Forscher eine PEM-Elektrolyseanlage auf und erproben sie. Bei dieser Elektrolyseart läuft die elektrochemische Reaktion in Wasser ab, benötigt dafür aber eine spezielle Polymerelektrolytmembran (PEM). „Die PEM-Elektrolyse hat unter anderem den Vorteil, dass sie von der Anlagengröße her wesentlich kompakter ist und sehr dynamisch betrieben werden kann“, erklärt Projektleiter Dr. Fabian Burggraf. Alkalische Elektrolyseanlagen fahren am effizientesten unter kontinuierlicher Vollast. Im Gegensatz dazu können PEM-Elektrolyseanlagen schnell hoch- und runtergefahren, in unterschiedlichen Lastbereichen problemlos betrieben werden und auch einige Stunden Überlastbetrieb verkraften. „Das sind alles sehr wichtige Eigenschaften, wenn wir in Zukunft Wasserstoff aus erneuerbaren, aber stark fluktuierenden Ressourcen wie Windkraft erzeugen wollen“, fasst Fabian Burggraf zusammen.

Gleichzeitig handelt es sich um eine vergleichsweise junge Technologie mit erheblichem Forschungs- und Entwicklungsbedarf: So will das Team um Burggraf herausfinden, wie sich das PEM-System im Betrieb unter realistischen Bedingungen verhält und sich Komponenten hinsichtlich ihrer Leistung, Lebensdauer und Langzeitstabilität weiter verbessern lassen. Außerdem sollen beide Elektrolysearten in einem gekoppelten Betrieb



Zukunftstechnologie im Praxistest: EnBW-Wasserstofftankstelle in der Stuttgarter Talstraße

bewertet und miteinander verglichen werden. „Die Idee liegt nahe, beide Technologien zu koppeln, also die konstante Grundversorgung der Tankstelle mit Wasserstoff aus der alkalischen Elektrolyse abzudecken und die PEM-Elektrolyse für Spitzenlasten und als Puffer bei Bedarf dazuzuschalten“, erklärt Burggraf. Welche Steuerungs- und Regelungstechnik dazu notwendig ist, ob sich durch die Kopplung Synergien für den Praxiseinsatz schaffen lassen oder auf Dauer der Einsatz von nur einer Technologie sinnvoller ist – diesen Fragen wollen die Wissenschaftler im Zuge dieses deutschlandweit einmaligen Projekts auf den Grund gehen.

Mobilitätsbereich ist erster Markt

Was den kommerziellen Einsatz der Wasserstofftechnologie betrifft, so wird der Verkehrssektor eine Vorreiterrolle spielen. Zu diesem Ergebnis kommt eine aktuelle Studie der DLR-Institute für Technische Thermodynamik und Fahrzeugkonzepte sowie des Beratungsunternehmens Ludwig-Bölkow-Systemtechnik im Auftrag der Landesagentur für Elektromobilität e-mobil BW. Gerade für die rasche Umsetzung eines emissionsfreien Straßenverkehrs bringen mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzellenfahrzeuge gute Voraussetzungen mit: Im Gegensatz zu elektrischen Antrieben auf Batteriebasis ermöglichen sie ein schnelles Nachtanken, eine deutlich größere Reichweite und damit eine ähnlich hohe Flexibilität, wie sie Nutzer von Autos mit Otto- oder Dieselmotor gewohnt sind. Mehrere asiatische Hersteller bieten Brennstoffzellenfahrzeuge bereits in Kleinserien an. Auch die europäische und amerikanische Automobilindustrie beschäftigt sich intensiv mit dem Thema. „Ausschlaggebend für den Erfolg werden vier Faktoren sein: deutlich sinkende Kosten für Fahrzeuge und Wasserstoff, der konsequente Ausbau des Tankstellennetzes, ein ausgewogener Mix an staatlichen Anreizen für Brennstoffzellenautos und die Fortschreibung der Emissionsregulierung für konventionell betriebene Fahrzeuge“, fasst Frieder Borggrefe vom DLR-Institut für Technische Thermodynamik zusammen.

Langfristig kann auch die Industrie zu einem wichtigen Verbraucher von „grünem“ Wasserstoff werden – ihn zum Beispiel als Energieträger bei der Bereitstellung von Prozesswärme nutzen oder als Ersatz für fossile Rohstoffe in der chemischen Industrie verwenden. Aufgrund der langen Vorlaufzeiten für die Entwicklung der erforderlichen Produkte und Infrastrukturen gilt es, diese Schritte bereits heute vorzubereiten. „Um den Markt schneller zu erschließen, ist es außerdem sinnvoll, Synergien zwischen den einzelnen Sektoren bestmöglich zu nutzen“, so Borggrefe.

„Wasserstoff bietet zudem den Vorteil, dass einerseits für den Transport und die Verteilung auf die bereits vorhandene Erdgasinfrastruktur zurückgegriffen werden kann. Andererseits kann Wasserstoff dezentral an den Verbrauchsstandorten, sprich an den jeweiligen Tankstellen und bei den Industriekunden erzeugt werden“. Auch eine weitgehende Befreiung von Stromnebenkosten wie beispielsweise der EEG-Umlage oder Entgelten für die Netznutzung würde die strombasierte Wasserstoffherzeugung voranbringen.

DIE WASSERSTOFFWELT: EINE IDEE MIT GESCHICHTE

Bereits im Jahr 1874 schrieb der französische Autor und Mitbegründer der Science-Fiction-Literatur Jules Verne in seinem Buch „Die geheimnisvolle Insel“: „Das Wasser ist die Kohle der Zukunft. Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist. Die so zerlegten Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern.“ In den folgenden einhundert Jahren tauchte die Idee einer intensiven Nutzung von Wasserstoff als Energieträger immer wieder sporadisch auf.

Unter dem Eindruck der Ölkrise und der einsetzenden Umweltbewegung erlangte die Wasserstoffwelt in den Siebzigerjahren neue Relevanz. Mit dem Wissen über Wasserstoff aus Anwendungen in der Raumfahrt präsentierte zeitgleich die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) als Vorgängereinrichtung des DLR die ersten, wegweisenden Forschungsarbeiten für Wasserstoffanwendungen auf der Erde: 1978 wurde erstmals gemeinsam mit der Universität Stuttgart ein PKW für den Betrieb mit Flüssigwasserstoff umgerüstet und eine spezielle Betankungsanlage entwickelt. Versuche zur Speicherbarkeit von Wasserstoff im atomaren Zustand auch für größere Mengen folgten. 1986 wurde das von DFVLR-Mitarbeitern verfasste Buch „Wasserstoff als Energieträger“ zum wissenschaftlichen Bestseller und trug dazu bei, das Konzept einer auf erneuerbaren Energien basierenden Energieversorgung auf ein belastbares wissenschaftliches Fundament zu stellen. Viele weitere Projekte folgten, wie beispielsweise die deutsch-saudische Kooperation HYSOLAR, bei der die Erzeugung von solarem Wasserstoff mittels Elektrolyse im Mittelpunkt stand.



Elektrolyseanlage und Wasserstoffspeicher des Energieversorgers EnBW in Stuttgart

Bild: EnBW

Bild: EnBW



PREIS FÜR QUALITÄTSMANAGEMENT IM DLR

Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement in seiner Forschung würdigt das DLR seit 2003 mit einem Preis. Für 2015 ging er unter anderem an Wolfgang Jobi vom Raumfahrtmanagement. In der Raumfahrt spielen Qualitäts- und Produktsicherung wegen der außergewöhnlichen Anforderungen an die Raumfahrttechnologie eine besondere Rolle. Jobi (Bildmitte) ist Experte auf diesem Gebiet und erhielt den Preis für seine Aktivitäten zur Qualitätssicherung und kontinuierlichen Verbesserung auch über DLR-Grenzen hinaus. Beispielsweise hat er maßgeblich das Space Debris Konzept für die Bundesrepublik Deutschland mitentwickelt. Es beschreibt Maßnahmen zur Vermeidung von Weltraummüll.

Zweiter Preisträger ist Thomas Schweizer, Ausbildungsleiter im Institut für Technische Physik, für die exzellente Ausbildungsqualität der Systemelektroniker im DLR Stuttgart, die seit 2007 jährliche Kammerseieger und regelmäßig Auszeichnungen der Auszubildenden bei Landes- und Bundesleistungswettbewerben hervorbringt.

Aus dem Institut für Planetenforschung, das 2014 als erstes grundlagenorientiertes Forschungsinstitut im DLR die Zertifizierungsfähigkeit für sein Qualitätsmanagement-System erlangt hat, kommt die dritte Preisträgerin. Karin Eichentopf (rechts im Bild), die Qualitätsbeauftragte des Instituts und Abteilungsleiterin für Institutsplanung, hat maßgeblich dazu beigetragen. Zudem engagiert sie sich stark im Arbeitskreis Qualität, wo sie Vernetzung und Erfahrungsaustausch der 52 Qualitätsbeauftragten im DLR fördert.

ERNEUERBARE ENERGIEN FÜR DIE KANAREN

Eine Studie, die das DLR im Auftrag von Greenpeace erstellt hat, zeigt, dass die Kanarischen Inseln bis zum Jahr 2050 ihren gesamten Strombedarf aus erneuerbaren Energiequellen decken könnten. Die Kanaren verfügen über gute Bedingungen für die intensive Nutzung erneuerbarer Ressourcen: Neben Fotovoltaik und Windkraft kommen auch Solar- und Geothermie in Frage. Für die Umsetzung dieses Szenarios ist mit Investitionskosten von insgesamt 20 Milliarden Euro bis zum Jahr 2050 zu rechnen. Dem stehen jedoch Einsparungen von 42 Milliarden Euro gegenüber, die ansonsten für den Erdölankauf ausgegeben werden müssten. Damit das Energiesystem umgestellt werden kann, wären schrittweise Anlagen mit einer Gesamtleistung von 12 Gigawatt zu installieren. Aktuell wird der Energiebedarf mehrheitlich mit Erdöl gedeckt.

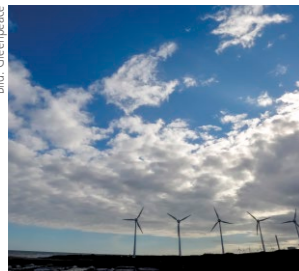
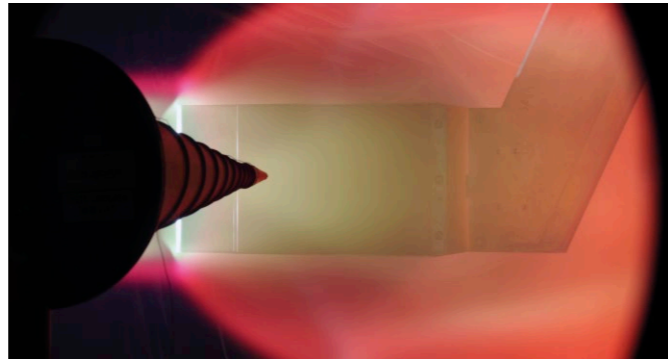


Bild: Greenpeace



KOMMUNIKATION VON RAUMFAHRZEUGEN

Der Eintritt von Raumfahrzeugen in die Atmosphäre von Planeten gehört zu den heikelsten Phasen einer Raumfahrtmission. Die enorme Hitzeentwicklung verursacht auch einen elektrisch geladenen Plasmaström. Dadurch werden Radiowellen abgeschirmt und die Besatzung kann zum Teil minutenlang nicht mit der Bodenstation kommunizieren. Am lichtbogenbeheizten Windkanal der Abteilung Über- und Hyperschalltechnologien des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik in Köln fand im Januar 2016 eine Testkampagne statt, um Lösungen für diese Problematik zu finden. Zusammen mit Wissenschaftlern der Stanford University wurden realistische Testbedingungen geschaffen. Die Versuchseinrichtung, bestehend aus einem Hitzeschild sowie einem dahinter liegenden Sender, wurde dazu einem mehrere tausend Grad heißen Plasmaström ausgesetzt. Außerhalb dieses Stroms wurde eine Antenne installiert, um die ausgehenden Radiowellen zu empfangen.

Entscheidend für den neuen Ansatz zur Lösung des „Reentry-Blackouts“ ist ein negatives Spannungsfeld, welches in der Nähe des Senders erzeugt wird. Durch die negative Spannung wird der ionisierte Plasmaström umgeleitet und ein „Fenster“ für die Radiowellen geöffnet. Dieses sogenannte Fenster kann nicht dauerhaft offen gehalten werden. Deshalb wird die Spannung gepulst, das heißt, in kurzen Intervallen von wenigen Millisekunden erzeugt. Dies ist ausreichend, um das Senden und Empfangen von Daten zu ermöglichen. Bislang wurde die Methode der gepulsten elektrischen Felder lediglich in numerischen Simulationen entwickelt. Die Testreihe stellt einen weiteren Schritt zur späteren Anwendung im All dar.

ZAHLE DER FLUGPASSAGIERE WÄCHST

Für 2030 prognostizieren DLR-Wissenschaftler 175 Millionen Flugpassagiere in Deutschland. Das geht aus dem Luftverkehrsbericht des DLR über das Jahr 2014 hervor. Das entspricht einem jährlichen Durchschnittswachstum von 3,3 Prozent. Aktuell sind es etwa 105 Millionen Fluggäste pro Jahr. Da aber immer mehr Flugzeuge über immer größere Kapazitäten an Sitzplätzen verfügen, rechnen die Experten für 2030 nicht mit erheblich mehr Starts an deutschen Flughäfen. Die DLR-Studie geht von 1.070.000 Starts pro Jahr aus, was einem Plus von 130.000 Starts entspricht. Der jährliche Zuwachs bei den Starts läge damit bei nur knapp einem Prozent. Beim Frachtaufkommen ist das Wachstum besonders groß: Bei einer langfristig positiven globalen Wirtschaftsentwicklung wird mit 7,3 Millionen Tonnen Frachtaufkommen im Jahr 2030 gerechnet.



Bild: Fraport AG/Enonteam Stefan Reibische



NEUES HELMSYSTEM IN FLUGVERSUCHEN GETESTET

Für Hubschrauberpiloten hat das DLR eine Anzeige entwickelt, die in den Helm integriert ist. Sie unterstützt Piloten besonders bei der Landung unter schlechten Sichtbedingungen. In Flugversuchen mit dem DLR-Hubschrauber ACT/FHS, einem umgebauten Eurocopter EC135, wurde getestet, ob das Helmdisplay die Beanspruchung des Piloten im Landeanflug verringern kann. Dabei wurden Sensordaten und flugrelevante Informationen direkt im Sichtfeld des Piloten eingeblendet. Zusätzlich ist das Helmsystem mit einem Head-Tracker ausgestattet, der die Blickrichtung des Piloten erfasst. Dadurch können mit Hilfe eines leistungsfähigen Grafikrechners nicht nur statische Anzeigeformate, sondern auch mit der Außensicht konforme virtuelle Elemente, beispielsweise Hindernisse, dargestellt werden.



Bild: Laboratorio di Fluidodinamica delle Macchine der Politecnico di Milano

NEUE ERKENNTNISSE FÜR LEISERE TRIEBWERKE

Um dem Kern des Fluglärms auf den Grund zu gehen, nahmen DLR-Wissenschaftler Flugzeugtriebwerke auseinander und erstellten physikalische Modellierungen. In umfangreichen Tests gingen sie der Frage nach, wo genau der Lärm entsteht und wie sich Lärmquellen bei bestimmten Umbauten an Triebwerkbauteilen verändern. Den Triebwerkakustik-Forschern ist es dabei erstmals gelungen, die Physik hinter dem sogenannten Kerntriebwerkschall zu vermessen und in einem numerischen Modell darzustellen. Damit lassen sich nun die Prozesse bei der Entstehung von Kerntriebwerkschall genau aufzeigen. Das bedeutet nicht nur ein allgemein besseres Verständnis von Lärm-entstehung, sondern ermöglicht nun auch das Design von leiseren und umweltfreundlicheren Triebwerken.

START FÜR EUROPAS „DATENAUTOBAHN IM ALL“

Mit einer Proton-Rakete ist am 29. Januar 2016 mit EDRS-A der erste Laserknoten des Europäischen Datenrelais-Systems EDRS ins All gebracht worden. Es ist der Startschuss für Europas neue „Datenautobahn im All“. Das European Data Relay Satellite System (EDRS) gilt als Meilenstein in der Telekommunikation. Als Private-Public-Partnership zwischen der Europäischen Weltraumorganisation ESA und Airbus Defence and Space soll es Datenvolumen von bis zu 1,8 Gigabit pro Sekunde zur Erde senden. Herzstück des Systems, das aus den beiden geostationären „Verteiler“-Knoten EDRS-A und – ab 2017 – EDRS-C besteht, sind die in Deutschland entwickelten und gebauten Laserkommunikations-Terminals. Für die Steuerung der Nutzlasten sowie für die Kontrolle des EDRS-C-Satelliten ist das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum des DLR in Oberpfaffenhofen zuständig.



Bild: International Launch Services

REGIONALMELDUNGEN

STUTTGART: Der Nahverkehrsbus kommt nach Bedarf. Im Projekt „Reallabor Schorndorf“ arbeiten Stuttgarter DLR-Wissenschaftler mit regionalen Partnern an einem neuen Buskonzept, in dem Fahrgäste per Smartphone-App, Heimcomputer oder Telefon Abholort und -zeit mit der Busleitstelle vereinbaren können. Für das neue Konzept, das ohne Haltestellen auskommen soll, werden jetzt entsprechende Anwendungen, beispielsweise Nutzeroberflächen, erarbeitet, um die Fahrtenwünsche auszuwerten und umzusetzen. 2018 soll es einen Pilotversuch geben.

NEUSTRELITZ: Der DLR_School_Lab-Preis wurde Ende 2015 im Neustrelitzer Schülerlabor übergeben. Thema des Schülerwettbewerbs waren atmosphärische Streueffekte wie Regenbogen oder Morgenröte. Diese mussten im Labor demonstriert und untersucht werden. Die Preisträger kamen aus Fulda und Parchim und erhielten von der Gesellschaft von Freunden des DLR 2.500 Euro, die für eine Aktivität des Gewinnerteams mit dem DLR_School_Lab verwendet werden sollen.

BERLIN: Die sogenannte SUMO-Konferenz, bei der es um die Simulation von Straßenverkehr und Mobilitätsverhalten geht, findet in diesem Jahr am 24. und 25. Mai statt. Dann werden im DLR Berlin wieder verschiedene Werkzeuge zur Routensuche für Fahrzeuge, zur Visualisierung der Simulation und zur Berechnung von Schadstoffemissionen diskutiert.

LAMPOLDSHAUSEN: Die seit nunmehr 18 Jahren existierende Ariane-Städtepartnerschaft, die 20 Städte verbindet, die an der europäischen Trägerfamilie mitarbeiten, steht 2016 unter der Präsidentschaft von Lampoldshausen. Damit wird die Bedeutung des dort ansässigen DLR und von Airbus Defence and Space als Testzentrum für Raumfahrtantriebe gewürdigt.

GÖTTINGEN: Bei der bereits zum siebten Mal durchgeführten Physikolympiade im DLR Göttingen dominierten Jugendliche aus Leipzig und Dresden den Wettbewerb. 50 Schülerinnen und Schüler im Alter zwischen 15 und 18 Jahren hatten sich unter 650 Teilnehmern durchgesetzt und die 15 besten Nachwuchsphysiker ermittelt. Nach einer weiteren Runde geht es für die fünf Sieger im Sommer aufs internationale Parkett nach Zürich, wo Jugendliche aus mehr als 80 Ländern der ganzen Welt um olympische Medaillen wetteifern werden.

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



50 JAHRE DLR-INSTITUT FÜR KOMMUNIKATION UND NAVIGATION

VOM ERSTEN FERNMEDESATELLITEN BIS ZUR SCHWARMINTELLIGENZ

Gewachsene Kompetenzen für neue Informationskanäle,
Exploration, Sicherheit und Navigation der Zukunft
Von Bernadette Jung und Susanne Haas

In der Gründerzeit der deutschen Raumfahrt plant die Bundesrepublik den Start eines eigenen ersten Forschungssatelliten: AZUR. Ab 1964 arbeitet eine Gruppe unter Philipp Hartl mit Nachdruck an dem Großprojekt. Daraus geht 1966 das Institut für Satellitenelektronik als Vorgänger des heutigen Instituts für Kommunikation und Navigation hervor. 50 Jahre danach sind die Technologien andere. Die Begeisterung, bessere Kommunikations- und Navigationsmöglichkeiten zu ergründen und gänzlich Neues zu schaffen, ist aber unverändert geblieben.

Seit seiner Gründung 1966 war das Institut für Kommunikation und Navigation an zahlreichen bahnbrechenden Entwicklungen und Projekten der Luft- und Raumfahrt beteiligt. Ein Höhepunkt war 1974 der Start von SYMPHONIE, dem ersten europäischen Fernmeldesatelliten. Das damalige Institut für Satellitenelektronik hat maßgeblich an der Entwicklung und Demonstration des Satelliten mitgewirkt. 1974 erfolgte die Informationsübermittlung zwischen Satellit und Boden noch ausschließlich mit Funksignalen. Heute arbeitet das Institut an Verfahren, die stattdessen optische Signale verwenden. Sprache und Bilder wurden anfänglich analog übermittelt. Die spätere Digitalisierung wurde von den Wissenschaftlern aus dem Oberpfaffenhofener DLR-Institut über Jahrzehnte vorangetrieben: von den ersten Versuchen mit codierter Signalmodulation bis zur Gestaltung des zukünftigen digitalen Flugfunks.

Auch im Bereich der Satellitennavigation nimmt das Institut – damals wie heute – eine führende Rolle ein. 1982 wurde einer der allerersten europäischen GPS-Empfänger gebaut. Heute konzipiert das Institut für Kommunikation und Navigation des DLR die robustesten Empfänger weltweit. Noch weiter reichen die ersten Arbeiten in der Ionosphärenforschung zurück: Bereits vor über 100 Jahren waren Wissenschaftler und Ingenieure am heutigen DLR-Standort Neustrelitz auf diesem Gebiet aktiv. Vor Kurzem wurden dort die ersten Algorithmen zur Bestimmung der Elektronendichte in der Ionosphäre vorgestellt.

Vorreiter für neue Technologien zu sein, ist für Prof. Dr. Christoph Günther, der das Institut seit über zehn Jahren führt, Ziel und Anspruch zugleich. Es geht ihm darum, Neues auszuloten und die Grenzen des Möglichen zu verschieben. Sein Credo: Ergebnisse erzielen, die sowohl von hoher Relevanz sind als auch erstmals erreicht werden.

Satellitensysteme stehen weiterhin im Mittelpunkt der zahlreichen Forschungsarbeiten. Die 177 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts widmen sich aber auch Themen aus den Bereichen Luftfahrt, Verkehr und Sicherheit. Das Spektrum der Arbeiten reicht dabei von Grundlagenfragen bis hin zur Technologie-Demonstration. Die Projekte sind auf fünf Missionen ausgerichtet, die in den nachfolgenden Abschnitten angesprochen werden. Dabei liegt im Zusammenspiel von Theorie und Experiment eine besondere Stärke des Instituts. Die Theorie liefert das Fundament für Algorithmen und definiert das Maß für das Erreichbare, beispielsweise in Bezug auf Datenraten oder Positionsgenauigkeit. Prototypen dienen dann dazu, die Praktikabilität der neuen Ansätze nachzuweisen, Hürden bei der Umsetzung zu erkennen und zu beheben. Darüber hinaus dienen die Versuche dazu, Modelle zu erarbeiten und so die Theorie weiterzuentwickeln. Besonderes Augenmerk wird im Institut darauf gelegt, Ergebnisse in die industrielle Umsetzung zu überführen. Dazu beteiligt es sich an der Entwicklung von Standards, kooperiert mit Firmen und unterstützt Ausgründungen.

Mission 1: Globale Vernetzung von Mensch und Maschine

In unserem Alltag hat die Vernetzung drastisch zugenommen. Viele Systeme sind vom Internetzugang abhängig und die meisten Bürger wollen auf einen Breitbandanschluss nicht mehr verzichten. Flächendeckend lassen sich Kommunikationsnetze am kostengünstigsten über Satellitensysteme realisieren. Dabei gibt es zwei Optionen: Konstellationen von mehreren hundert bis mehreren tausend Satelliten in circa 1.000 Kilometer Höhe oder einige wenige äußerst leistungsfähige geostationäre Satelliten in rund 36.000 Kilometer Höhe. Die niedrigfliegenden Satelliten ermöglichen über Land kurze Übertragungszeiten. Doch ihre Entsorgung nach etwa fünf Betriebsjahren ist zurzeit ungeklärt. Die geostationären Satelliten benötigen Kapazitäten im Bereich von Terabits pro Sekunde. Hier ist die Anbindung an das Internet die größte Herausforderung. Ihr will sich das Institut mit optischer Kommunikation stellen, denn dort sind die verfügbaren Bandbreiten um einen Faktor 1.000 größer. Allerdings erschweren sowohl Wolken als auch der schwankende Brechungsindex



Wissenschaftler der Abteilung Satellitennetze vor der optischen Bodenstation auf dem Dach des Institutsgebäudes in Oberpfaffenhofen. Links im Vordergrund sieht man die Transportable Optische Bodenstation TOGS.

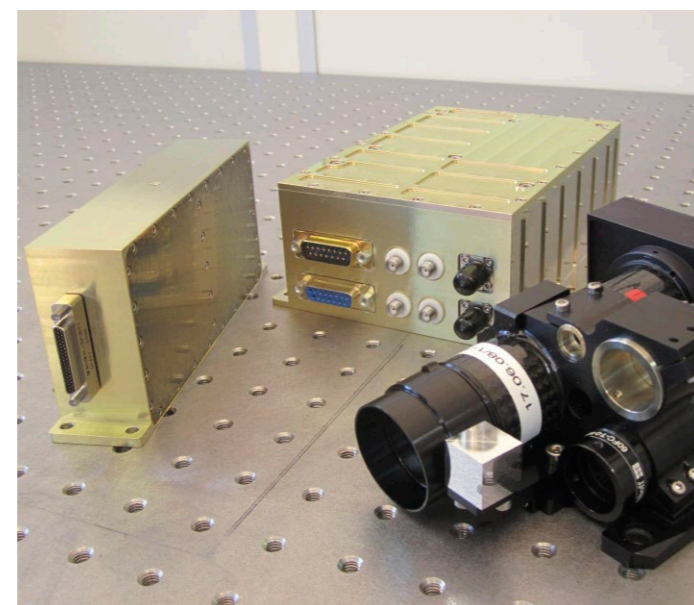
der Atmosphäre die Übertragung. Eine geschickte Platzierung von Bodenstationen ermöglicht es, bei Bewölkung auf eine alternative Station auszuweichen. Um weitere atmosphärische Störungen unter Kontrolle zu bekommen, werden neue Ansätze verfolgt. Erste Übertragungstests finden im ersten Quartal 2016 statt. Bei Erfolg werden für Welt- und Luftraum erstmals Übertragungsraten möglich, die vergleichbar sind mit denen von Glasfasernetzen.

Zwischen Nutzern auf der Erde und Satelliten bleibt aufgrund möglicher Wolkenbedeckung des Himmels die klassische Funkübertragung das Verfahren der Wahl. Auch in diesem Bereich hat das Institut Pionierarbeit geleistet: Es entwickelte neue verlustarme Verfahren, um unkoordiniert Frequenzen nutzen zu können. Und es entwickelte die leistungsfähigsten Fehlerschutzcodes überhaupt. Auf der experimentellen Seite wurde erstmals die Netzkodierung über Satellit demonstriert, mit einer potenziellen Halbierung der benötigten Bandbreite und Satellitenleistung. Jeder eingesparte Fernmeldesatellit spart Kosten von mehreren hundert Millionen Euro.

Nach dem schweren Seebeben im Pazifik im Jahr 2004 und verschiedenen weiteren Naturkatastrophen wurde die globale Alarmierung als Spezialfall globaler Kommunikation ein wichtiges Thema. Den Wissenschaftlern im Institut für Kommunikation und Navigation gelang es, mit Alert4All ein System zu konzipieren, zu implementieren und dessen Funktionsfähigkeit zu demonstrieren, das die Bürger über eine Vielzahl von Kanälen informiert: über Satellit gesteuerte Sirenen, terrestrische Satelliten und digitales Fernsehen, Satelliten-Navigationsempfänger, Gebäudesicherheitssysteme, Internet und Apps auf dem Smartphone oder Tablet.

Mission 2: Kommunikationslösungen für Wissenschaft, Exploration und Aufklärung

Jeder Fotograf freut sich über eine höhere Auflösung seiner Kamera. Das gilt auch für Wissenschaftler, die mit Hilfe von Kameras die Erde oder ferne Planeten beobachten. Auch beim Katastrophenmanagement oder bei Friedensmissionen ist gutes Bildmaterial von großem Wert. Allerdings sind in diesen Fällen die Kameras auf Flugzeugen und Satelliten installiert. Es werden also Übertragungssysteme benötigt, mit denen möglichst große Datenmengen in kurzer Zeit übertragen werden können. Hier bietet die optische Übertragung außergewöhnliche Möglichkeiten: Sie erlaubt höhere Übertragungsraten bei gleichzeitiger Verkleinerung



Einzelelemente des OSIRIS-Systems. Mit dem miniaturisierten Laser-Sendeterminal, das 2016 auf dem DLR-Satelliten BIROS erstmals fliegen wird, werden Daten per Laser zur Erde geschickt.



Erste Fahrt mit einem Antikollisionssystem für Züge. Die öffentliche Demonstration des Railway Collision Avoidance System, kurz RCAS, in einem realen Zug auf einer Teststrecke der Bayerischen Oberlandbahn im Jahr 2010 verlief erfolgreich. Inzwischen wird das im DLR konzipierte System industriell umgesetzt.

der Ausrüstungen. Im Jahr 2008 demonstrierte das Institut erstmals eine optische Verbindung zwischen einem Flugzeug und dem Boden und 2013 erstmals mit einem Aufklärungsflugzeug der Luftwaffe. Diese Entwicklungen werden von der ViaLight Communications GmbH industriell umgesetzt, einer Ausgründung aus dem DLR.

Ende April 2016 soll der DLR-Satellit BIROS starten. Er ist mit einem 1,65 Kilogramm leichten Terminal ausgerüstet, das ein Gigabit pro Sekunde aus dem erdnahen Orbit übertragen wird. Diese Technologie ist auch für die Anbindung kleiner Kommunikationssatelliten an das Internet geeignet.

Mission 3: Sicherer und effizienter – Verkehr in der Luft, zur See und an Land

In Nebel und Wolken fehlen im Luft- und Seeverkehr die optischen Orientierungsmöglichkeiten. Deshalb wurden im 20. Jahrhundert neben Radar Funknavigationssysteme entwickelt. Mit GPS entstand erstmals ein System, das global verfügbar ist und fast überall für fast alle Zwecke eingesetzt werden kann. Mit der zunehmenden Zahl der Satelliten und Systeme wird es möglich, noch bestehende Einschränkungen immer weiter abzubauen. Dies ist eines der Ziele, das sich das Institut gesetzt hat. So soll es möglich werden, mit marginaler Unterstützung Flugzeuge zuverlässig zu landen oder Schiffe anzulegen. Hierfür müssen alle natürlichen Fehlerursachen untersucht und eliminiert werden, doch auch die Aufgabe, mutwillige Störungen durch Menschen zu unterdrücken, nimmt an Bedeutung zu. Dafür entwickelt das Institut die robustesten Empfänger überhaupt. (Der diesem Überblicksartikel folgende Beitrag „Antennen mit Charakter“ informiert über diese Entwicklung.)

Mit robuster und zuverlässiger Satellitennavigation werden völlig neue Verfahren für den Luft- und Schiffsverkehr möglich, die zu einer deutlich höheren Effizienz bei mindestens gleichbleibender Sicherheit führen. Dafür müssen sich die Verkehrsteilnehmer allerdings absprechen können.

Da die Funksysteme in Luft- und Schifffahrt weitgehend sprachbasiert und analog sind, werden neue robuste digitale Funksysteme benötigt. Für die Luftfahrt hat das Institut erfolgreich ein System konzipiert, das ohne neue Frequenzen auskommt. (In einem Interview unter dem Titel „Flugfunk in neuer Dimension“ ab Seite 18 wird dieses vorgestellt.) Inzwischen hat die International Civil Aeronautical Organisation ein Standardisierungsverfahren hierzu eingeleitet. Von zusätzlichem Interesse ist, dass die Kommunikationssignale dieses Systems auch für die Navigation eingesetzt werden können. Dadurch entsteht ein Notfallsystem, das bei Störung der Satellitennavigation verwendbar ist. Hierzu dienen auch Inertialsensoren und Radar, bei Schiffen auch Sonar.

Mit Kollisionsvermeidungssystemen werden in der Luftfahrt Zusammenstöße heute bereits wirkungsvoll vermieden. Wissenschaftler des Instituts für Kommunikation und Navigation streben eine noch frühere Koordinierung der Antikollisionssysteme an und wollen sie auch auf andere Verkehrsträger anwenden. Besonders erwähnenswert ist das „Railway Collision Avoidance System“, das am Institut konzipiert wurde und inzwischen durch das Start-up Intelligence on Wheels industriell umgesetzt wird. Mit ihm soll vor Zugkollisionen auf Nebenstrecken und in Rangiersituationen gewarnt werden.

Mission 4: Navigationssysteme

Galileo steht kurz vor der Einführung erster Dienste – die Gesellschaft für Raumfahrtanwendungen (GfR) des DLR spielt dabei eine zentrale Rolle. Das Institut für Kommunikation und Navigation unterstützt den Aufbau des Systems mit der Vermessung von Signalen. Hierbei kommt die 30-Meter-Antenne im DLR Weilheim zum Einsatz. Eine genaue Kenntnis der Signalverzerrungen ist besonders für die sicherheitskritische Navigation von Bedeutung, da die Verfahren Messungen auf dem Flugzeug und am Boden verwenden und Verzerrungen diese Empfänger typischerweise unterschiedlich beeinflussen. Auch die Untersuchung des Einflusses der Ionosphäre auf die Signale und insbesondere die



Dieser autonom agierende Multikopter ist Teil eines Schwarms. Jeder kartiert mit Hilfe eines Ultraschallsensors selbstständig die Umgebung. Im Versuch werden Bodenprofile mit einer Plane simuliert. Die einzelnen Messungen werden an die anderen Schwarmmitglieder kommuniziert, sodass ein Gesamtbild der Umgebung entsteht.

Vorhersage des Ionisationszustands spielen für viele Dienste eine wichtige Rolle – diese Fähigkeit wird im Auftrag der ESA zurzeit weiterentwickelt, sodass Warnungen ausgesprochen werden können und selbst in Phasen von Sonnenstürmen zuverlässige Vorhersagen gelingen. Die Charakterisierung der Ionosphäre war darüber hinaus entscheidend für die Zulassung GPS-basierter Flugzeug-Landeverfahren in Deutschland.

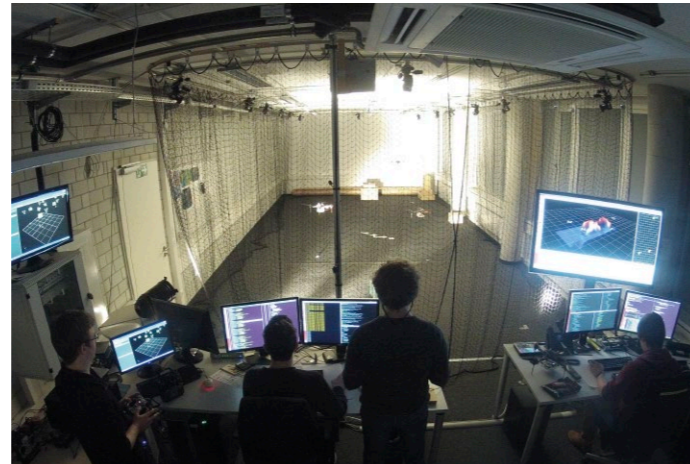
Ein besonderer Fokus der Arbeiten des Instituts im Bereich von Navigationssystemen liegt auf Entwicklungen für die nächsten Generationen des Galileo-Systems. Hierzu zählen ein neues Zeitsystem, neue Signale, deren Vermessung auf dem Satelliten und am Boden sowie die Kommunikation mit dem Satelliten und dem Nutzer. Eine wichtige Rolle spielen dabei Algorithmen, die die Verfügbarkeit hoher Genauigkeit und Sicherheit weiter erhöhen.

Mission 5: Autonome Navigation und Exploration

Nicht überall stehen GPS und das Galileo-System zur Verfügung. Auch in Gebäuden und U-Bahnanlagen sind Positionsdaten von großem Interesse. Hierfür entwickelten die DLR-Forscher SLAM-Verfahren (SLAM – Simultaneous Localization and Mapping), die eine Lokalisierung in Gebäuden mit kostengünstigen Sensoren ermöglichen. Trägt man einen dieser Sensoren beim Durchlaufen eines Gebäudes mit sich, so registriert er Daten wie Beschleunigung und Drehrate, Magnetfelder oder auch Radiosignale. Das Besondere: Der Sensor selbst hat keine Möglichkeit, die Umgebung bildlich zu erfassen. Am Ende lässt sich aber aus den gewonnenen Daten der abgelaufene Weg



Gewaltige Antennen halten die Kommunikationsverbindung von der Erde zum Satelliten und umgekehrt. Für das Galileo-System ist es notwendig, Signalverzerrungen genauestens zu kennen. Dazu vermisst das Institut für Kommunikation und Navigation die Signale. Hierbei kommt die 30-Meter-Antenne des DLR in Weilheim zum Einsatz.



Die Wissenschaftler der Gruppe „Schwarmexploration“ überprüfen ihre Algorithmen auf dem sogenannten Holodeck, einem Speziallabor des Instituts

schätzen und eine Karte erstellen, deren Genauigkeit im Dezimeterbereich liegt. Ein Team von Forschern, das an diesem Thema arbeitet, ist 2014 zu Google gewechselt.

Ein hohes Maß an Autonomie ist nicht nur auf der Erde von Interesse, sondern auch in der Exploration, beispielsweise von fremden Planeten. Hier kommt ein weiteres Element hinzu, nämlich die Entscheidung über den nächsten Schritt. Heute erfolgt diese Entscheidung überwiegend ferngesteuert von der Erde aus. Das ist langsam und anfällig gegen Ausfälle. Deshalb entwickelt das Institut für Kommunikation und Navigation Systeme mit Schwarmintelligenz, wie sie etwa bei Ameisen vorliegen. Jeder arbeitet für sich, aber in Absprache mit seinen Nachbarn. Wenn ein System ausfällt, geht es weiter, nur ein wenig langsamer. Am Institut gelang es auf diese Weise, mit einem Schwarm von Quadroptern ein Höhenprofil sehr effizient zu bestimmen.

Zukunftsweisende Technologien mit hohem gesellschaftlichen Nutzen sind auch zukünftig vom DLR-Institut für Kommunikation und Navigation zu erwarten. Für Institutsdirektor Christoph Günther sind dabei Neil Armstrongs Worte zu den ersten Schritten auf dem Mond Programm: Der Erste ist derjenige, der wahrgenommen wird. – Das galt vor 50 Jahren wie heute.

Susanne Haas ist im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation unter anderem für Öffentlichkeitsarbeit zuständig.
Bernadette Jung ist Standortkommunikatorin im DLR Oberpfaffenhofen.

ANTENNEN MIT CHARAKTER

GALANT – robuster Empfänger für die Satellitennavigation

Von Achim Dreher und Achim Hornbostel

Signale von GPS und Galileo sind sehr störanfällig, da sie mit äußerst geringer Leistung empfangen werden. Genau genommen liegt diese Leistung bei einem Zehntel Femtowatt, eine Zahl, die 15 Nullen nach dem Komma hat! Dennoch sind Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit in vielen Anwendungen von zentraler Bedeutung. In der Luftfahrt, der Seefahrt oder beim autonomen Fahren müssen sich Menschen und Steuersysteme voll auf die geschätzte Position und Lage verlassen können. Das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation hat mit dem GALANT-Empfänger ein System entwickelt, das höchste Maßstäbe erfüllt.

Die Entwicklung begann vor rund zehn Jahren, mit Blick auf den Aufbau des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo: So leitet sich der Name GALANT von „Galileo-Antenne“ ab. Heute umfasst das System mehrere Frequenzbereiche und ist für Galileo- und für GPS-Signale geeignet. Grundidee ist, die Antennencharakteristik so zu formen, dass sie Störsignale räumlich ausblendet und gleichzeitig einen verbesserten Empfang der erwünschten Signale bewirkt. Damit kann die Satellitennavigation in Zukunft noch umfassender für sicherheitskritische Anwendungen genutzt werden.

Vorgetäuschte Signale sicher enttarnt

In kommerziellen Navigationsgeräten werden heute Empfänger verwendet, die mit einzelnen Antennenelementen arbeiten. Für sicherheitskritische Anwendungen sind diese Empfänger weniger geeignet. Besitzt ein Empfänger dagegen mehrere Antennenelemente, hat dies den Vorteil, dass die Empfangscharakteristik der Array-Antenne mittels digitaler Strahlformung flexibel gestaltet werden kann. Die empfangenen Signale können gezielt überlagert und in einem Mikroprozessor verarbeitet werden, sodass das Antennendiagramm die gewünschten Eigenschaften aufweist, und zwar getrennt für jeden Satelliten. So kann sich GALANT an verschiedene Empfangssituationen anpassen. Über die Array-Antenne lassen sich mit Hilfe von geeigneten Algorithmen auch die Richtungen der einfallenden Satellitensignale schätzen. Durch den Vergleich mit der tatsächlichen Position der Satelliten enttarnt das System auch vorgeschaltete und irreführende Satellitensignale, wie sie durch sogenannte „Spoofers“ oder durch Wiederabstrahlen von empfangenen Signalen mit einem Repeater (Meaconing) erzeugt werden.



Einzelne Antennenelemente zum Array zusammengefügt machen die Navigation zuverlässiger

GALANT wird in Oberpfaffenhofen am DLR-Institut für Kommunikation und Navigation laufend erweitert und mit zusätzlichen Funktionen ausgestattet. Ein Ziel ist die konforme Integration des Arrays in die Oberfläche von Flugzeugen, Fahrzeugen oder Schiffen. Unerlässlich ist auch ein kompakter Aufbau, etwa für künftige Anwendungen im Automobil-Bereich. In weiteren Projekten wird im Verbund mit anderen Partnern an der Miniaturisierung der Antenne gearbeitet.



Versuche zeigten, dass sich Störsignale mit der GALANT-Technologie unterdrücken lassen

Erfolgreiche Einsätze im Feld

Die Leistungsfähigkeit des Antennensystems wurde mehrfach demonstriert. Experimente in der Galileo-Testumgebung GATE bei Berchtesgaden haben gezeigt, dass Störsignale mit Hilfe der GALANT-Technologie erfolgreich unterdrückt werden können. Insbesondere konnte eine Interferenzsituation, die am Flughafen Newark in New Jersey ein GPS-basiertes Landesystem außer Betrieb gesetzt hatte, nachgestellt werden. Während Vergleichsempfänger keine Position lieferten (Empfänger wie sie werden in Fahrzeugen und Mobiltelefonen verbaut) und teilweise große Fehler verursachten, war die Ortsbestimmung mit dem GALANT-Empfänger zuverlässig und genau. Auch Störungen durch einen Repeater, wie sie zur Wartung in Flughangars eingesetzt werden, lassen sich von dem System zuverlässig detektieren. Weitere Testkampagnen haben zur See, in der Luft und auf der Straße stattgefunden. Als mittelfristiges Ziel soll diese Technologie einen weiten Kreis von sicherheitskritischen Diensten schützen, die Flugzeuge beim Landen führen, Schiffe beim Anlegen unterstützen und Fahrzeuge auf der Straße halten. Darüber hinaus ist es sinnvoll, diese Verfahren auch zum Betrieb der Systeme Galileo und EGNOS selbst heranzuziehen.

Dr. Achim Dreher ist Leiter der Antennengruppe im Institut für Kommunikation und Navigation, **Dr. Achim Hornbostel** leitet die Gruppe Algorithmen und Endgeräte.

FLUGFUNK IN NEUER DIMENSION

Magazin-Interview mit Dr.-Ing. Michael Schnell



Zur Person

Dr.-Ing. Michael Schnell arbeitet seit 1990 am Institut für Kommunikation und Navigation des DLR in Oberpfaffenhofen. Er leitet die Forschungsgruppe Aeronautische Kommunikation und ist Themenverantwortlicher des Instituts für den Bereich Luftfahrt. Arbeitsschwerpunkte in seiner Forschungsgruppe sind die Modernisierung der Kommunikations- und Überwachungstechnologie in der zivilen Luftfahrt sowie die Integration unbemannter Flugsysteme (Drohnen) in den zivilen Luftraum. Darüber hinaus berät er die Deutsche Flugsicherung (DFS) in verschiedenen Gremien bei Eurocontrol und in der ICAO. Er ist designierter Vorsitzender der ICAO-Arbeitsgruppe zur LDACS-Standardisierung. Von 2003 bis 2014 war er zudem Dozent am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er ist Autor/Co-Autor von über 100 Veröffentlichungen, darunter 20 Zeitschriftenbeiträge.

Der Luftverkehr wächst unaufhörlich. Fluglotsen bilden sein Rückgrat. Eine effiziente und sichere Kommunikation ist für sie – und damit für den gesamten Luftverkehr – von essenzieller Bedeutung. Über ein neues Kommunikationssystem für die Luftfahrt von morgen sprach für das DLR-Magazin Susanne Haas mit Dr.-Ing. Michael Schnell, dem Leiter der Forschungsgruppe Aeronautische Kommunikation des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation.

Wie kontrollieren und führen Fluglotsen eigentlich heute den Luftverkehr?

Die Lotsen stehen im ständigen Funkkontakt mit den Piloten. Zusätzlich erhalten sie Informationen über die aktuellen Positionen der Flugzeuge in dem Kontrollbereich, den sie verantworten. Die Flugzeugpositionen werden dabei sowohl passiv, mittels Radar, als auch aktiv, mittels automatisierter Abfrage der Flugzeuge, ermittelt. Damit haben die Fluglotsen ein komplettes Lagebild und können so den Luftverkehr steuern. Eventuelle Konflikte werden frühzeitig erkannt und entsprechende Kursänderungen rechtzeitig eingeleitet. Die Anweisungen an die Piloten, beispielsweise Richtung oder Flughöhe zu ändern, erfolgen heute überwiegend mittels analogem Sprechfunk, also wie bei einem Walkie-Talkie.

Warum ist dies nicht mehr ausreichend?

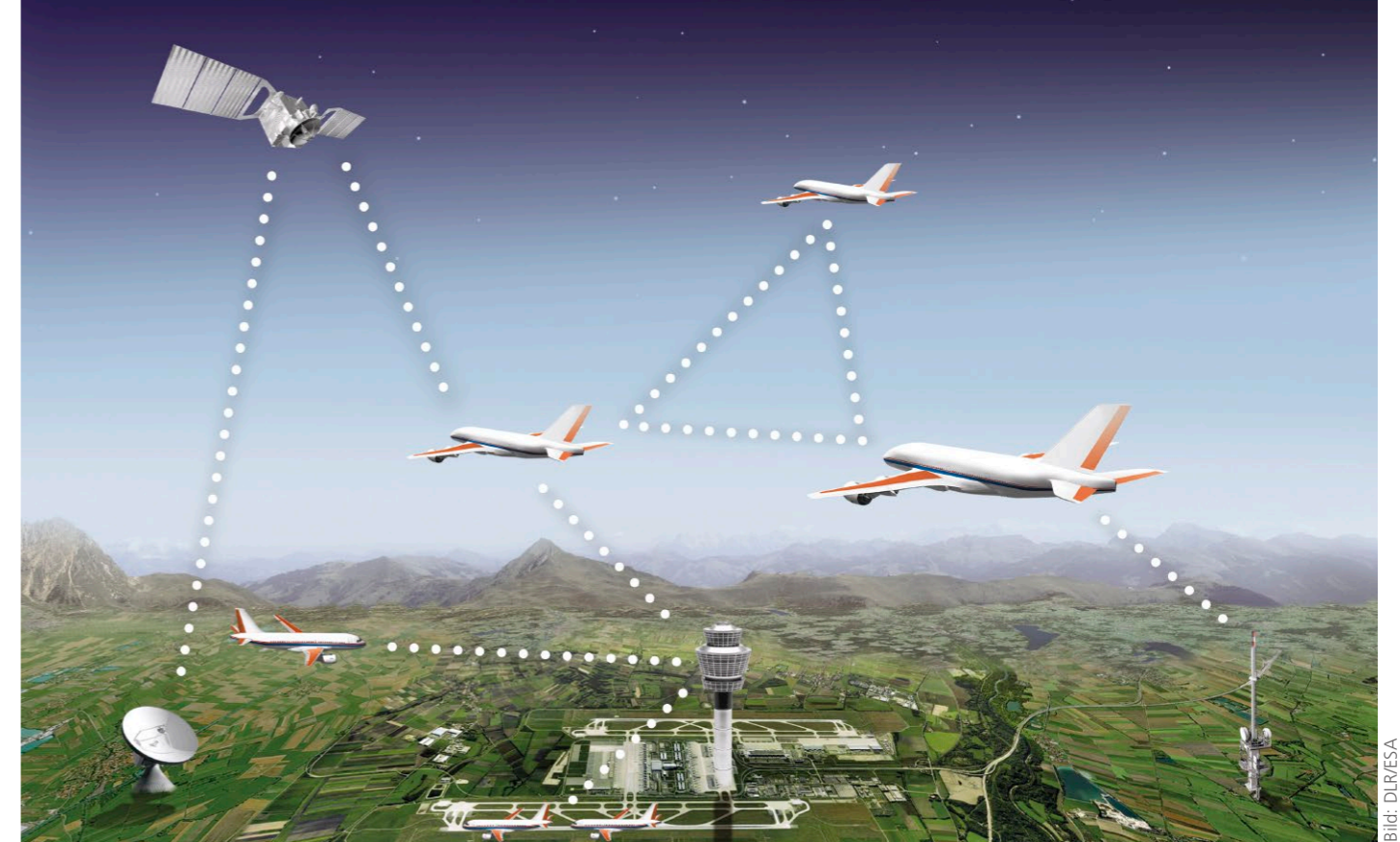
Die dem heutigen Sprechfunk zugrunde liegende analoge Technik wurde bereits Ende der Dreißigerjahre eingeführt, sie ist sicher und robust, aber veraltet und umständlich in der Handhabung. Die Piloten müssen sich mündlich an- und abmelden und die Funkfrequenzen von Hand eingeben. Außerdem belegt der analoge Sprechfunk aufgrund seiner Ineffizienz ein breites Frequenzspektrum und bindet damit Frequenzressourcen. Diese aber sind begrenzt und begehrt, was spätestens die Versteigerung der Mobilfunklizenzen deutlich machte. Da die Anzahl der Flugbewegungen aber weiter anwachsen wird, steigt auch der Kommunikationsbedarf. Um diesen abdecken zu können, werden neue Kommunikationstechniken benötigt, die zur Verfügung stehende Frequenzen wesentlich effizienter nutzen als die heute verwendete analoge Sprechfunktechnik. Das digitale Kommunikationsverfahren LDACS gewährleistet die notwendige Spektrumseffizienz. Ein weiterer Grund für die Einführung von LDACS ist die aktuell stattfindende Modernisierung des gesamten Luftverkehrsmanagementsystems. Damit der zunehmende Luftverkehr auch künftig sicher abgewickelt werden kann, werden neue Kontroll- und Managementverfahren entwickelt und eingeführt. Diese sind deutlich effizienter, aber auch komplizierter zu handhaben als bisherige, und benötigen daher die Unterstützung durch eine schnelle und sichere digitale Datenübertragung. So werden beispielsweise Flugzeugen in Zukunft vierdimensionale Trajektorien vorgegeben, also Flugpfade mit Zeitstempel. Diese Trajektorien können vom Fluglotsen aufgrund ihrer Komplexität nicht mehr per Sprechfunk kommuniziert werden. Hier ist die digitale Datenübertragung gefordert.

Was wird sich durch LDACS ändern, was wird besser werden?

Mit LDACS können mehr Informationen schneller und effizienter zwischen Piloten und Fluglotsen ausgetauscht werden. Zudem unterstützt LDACS die Einführung neuer Verfahren im Luftverkehrsmanagement. LDACS ist damit eine Schlüsseltechnologie für die Integration des Flugzeugs in das zukünftige Informationsnetzwerk des Luftverkehrsmanagementsystems.

Wie funktioniert das neue Kommunikationssystem?

Im Prinzip funktioniert es ähnlich wie der Mobilfunk. Die LDACS-Bodenstation entspricht der Mobilfunkbasisstation und das Funkgerät im Flugzeug dem Smartphone. Der Funktechnologie von LDACS wurden die modernen Kommunikationsverfahren von Mobilfunk und WLAN-Übertragung zugrunde gelegt. Allerdings mussten diese Verfahren speziell an die Anforderungen der Luftfahrtkommunikation und die Gegebenheiten des verwendeten Frequenzbereichs, dem L-Band, angepasst werden. Das L-Band wird bereits von Funkdiensten für die Luftfahrt verwendet, insbesondere von radargestützten Navigationsdiensten. Deshalb mussten die LDACS-Signale so ausgelegt werden, dass sie die bestehenden Funkdienste im L-Band nicht stören und auch selbst von diesen nicht gestört werden.



Vernetzte Kommunikationsinfrastruktur mit LDACS als wesentlicher Komponente unterstützt durch Satellitenkommunikation: Das Flugzeug wird dabei vollständig in das Informationsnetzwerk für das Luftverkehrsmanagement integriert.

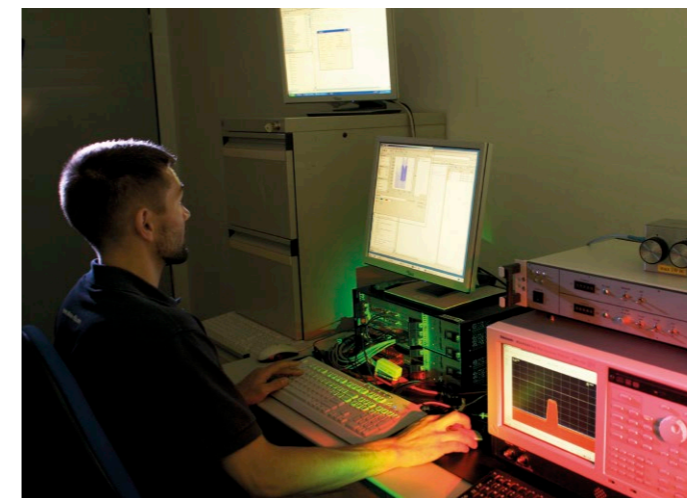
Welche Rolle spielt das DLR bei der Entwicklung von LDACS?

Das DLR hat seit Beginn der Arbeiten im Jahre 2007 eine führende Rolle inne. Die LDACS-Entwicklung wurde zunächst gemeinsam mit den beiden österreichischen Partnern Frequentis AG und Universität Salzburg, seit 2012 zusätzlich mit der Firma Rohde & Schwarz vorangetrieben. Auf die DLR-Wissenschaftler gehen die ersten theoretischen Überlegungen zurück, auch das Systemdesign und die anschließenden Simulationen gestaltete das DLR federführend. Die entwickelte LDACS-Technologie wurde vom DLR in Hardware umgesetzt und so der weltweit erste LDACS-Demonstrator aufgebaut, mit dem die Technologie unter Laborbedingungen getestet werden konnte. Flugversuche mit einem von Rohde & Schwarz realisierten Prototypen sind in Planung. Zudem unterstützen wir die Standardisierung und Umsetzung von LDACS in allen relevanten Gremien aktiv. Dies sind vor allem die Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt, Eurocontrol, die europäische Organisation für Zivilluftfahrt EUROCAE, die sich speziell mit der Standardisierung der Elektronik beschäftigt, und die

Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO. Die gewonnenen wissenschaftlichen Ergebnisse haben wir auf verschiedenen internationalen Konferenzen sowie in Zeitschriften veröffentlicht.

Wie geht es weiter, wann wird LDACS eingeführt?

Das Communications Panel der ICAO hat beschlossen, 2016 eine Arbeitsgruppe für die Standardisierung einzusetzen. Aufgrund unserer Expertise ist das DLR für den Vorsitz dieser Arbeitsgruppe vorgesehen. 2018 soll ein erster Standardentwurf verfügbar sein. Ein finaler Standard ist für 2020 angestrebt. Danach sind Industrie, Flugzeughersteller und Fluggesellschaften in der Pflicht, den Standard aufzunehmen und zu implementieren. Moderne, effiziente Kommunikation für das zivile Luftverkehrsmanagement mit all ihren Vorteilen kann bereits ab 2020 Wirklichkeit werden. LDACS wird sicherlich mehrere Jahrzehnte im Einsatz bleiben. Denn die LDACS zugrunde liegende Funktechnologie ist sehr flexibel und skalierbar und kann gut an zukünftige Anforderungen angepasst werden.



Umsetzung des LDACS-Designs in einen Demonstrator: Die Eigenschaften des LDACS-Systems werden darin in realistischer Umgebung getestet und vermessen.

LDACS – LUFTFAHRTKOMMUNIKATION DER ZUKUNFT

LDACS (englisch: L-band Digital Aeronautical Communications System) steht für die künftige Kommunikation zwischen Fluglotsen und Piloten. Es handelt sich um ein digitales Übertragungsverfahren von Informationen zur Luftverkehrskontrolle und zum Luftverkehrsmanagement. Ähnlich wie der Mobilfunk ermöglicht es sowohl Sprachkommunikation in CD-Qualität als auch schnellen Datenaustausch. Das digitale Luftfahrtkommunikationssystem im L-Band integriert das Flugzeug in das Informationsnetzwerk des Luftverkehrsmanagementsystems.

MIT DEM LICHT AUF EINER WELLENLÄNGE

Christian Fuchs hegt eine Leidenschaft für optische Freiraumkommunikation

Von Elisabeth Schreier

Das optische Freiraumkommunikation für Außenstehende wie ein Buch mit sieben Siegeln scheint, ist Christian Fuchs durchaus bewusst. Mit einem leichten Schmunzeln gesteht der Wissenschaftler ein, dass Freunde und Bekannte an seiner Arbeit zwar durchaus sehr interessiert sind, aber die meisten diese Thematik nicht mit ihrem Alltag verbinden. Dabei wird die Übertragung von Daten per Laserstrahlen in unserem täglichen Leben bald schon eine wichtige Rolle spielen – davon ist Christian Fuchs überzeugt. Seit fast zehn Jahren forscht der 34-jährige Nachrichtentechniker im DLR an der Weiterentwicklung dieser Technologie.

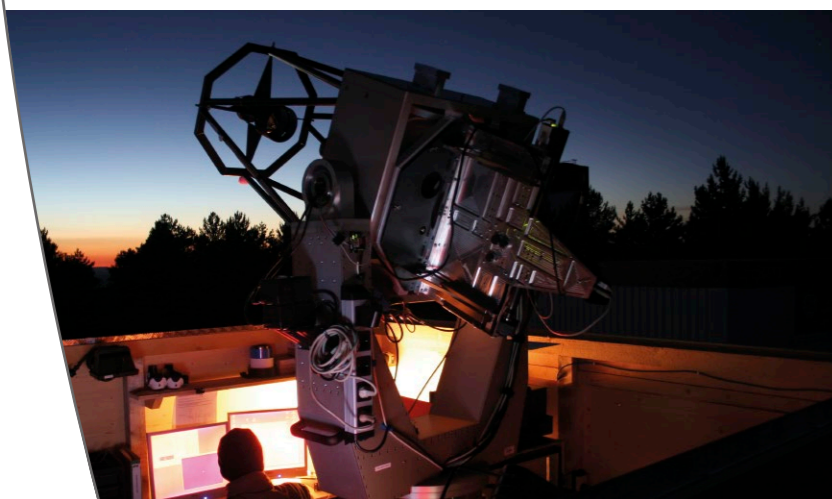
Seit seinem ersten Jahr ist Christian Fuchs „DLRler“ mit Herz und Seele. Angefangen hat alles mit der Suche nach einem Projekt für seine Masterarbeit. Nach einigen Praktika und Uni-Projekten war ihm klar: Forschung ist seine Leidenschaft und sollte ihn auch in Zukunft begleiten. „Am liebsten wollte ich in der Raumfahrt arbeiten“, erinnert sich Christian Fuchs an seine Berufsfindungsphase. „Dass ich nun das Thema optische Freiraumkommunikation bearbeite, ist mehr oder weniger Zufall. Ich habe es aber bis jetzt noch keinen Tag bereut.“ Diese Leidenschaft für ein erst mal eher sperrig klingendes Thema zeigte er bereits bei seiner Masterarbeit 2005/2006 – und überzeugte. Gleich nach seiner Abschlussarbeit bekam er eine Stelle im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation.

Seit 2011 ist er Leiter der Gruppe Optische Kommunikationssysteme am Institut für Kommunikation und Navigation. Zusammen mit seinem gut zehnköpfigen Team arbeitet er daran, die Übertragungsraten von Flugzeugen und Satelliten zum Boden in Zukunft deutlich zu erhöhen. „Der Nutzen der Laserkommunikation ergibt sich aus der hohen Bündelung des Lichtstrahls, wie man sie auch bei einem Laserpointer beobachten kann. Dadurch erreicht ein viel größerer Teil der Leistung den Empfänger als bei der Funkkommunikation“, erklärt Christian Fuchs. Die Laserkommunikation erlaubt es, große Datenmengen von hochauflösenden optischen, Infrarot- und Radar-satelliten zum Boden zu übertragen. Im Vergleich zum bisher üblichen Senden und Empfangen von Funksignalen ist diese Art der Übertragung mittels Licht deutlich effizienter. Dies ermöglicht Datenraten von einem Gigabit pro Sekunde und mehr. Für größere Satelliten sind Datenraten von über einem Terabit pro Sekunde angedacht.

Einsatz rund um die Welt

Durch seine Projekte hat Christian Fuchs auch die Möglichkeit, viel mit anderen Kollegen in Instituten zusammenzuarbeiten. Besonders spannend ist für ihn das Projekt OSIRIS. Dafür entwickelte sein Team ein experimentelles Laserkommunikationssystem, das für kleine Satelliten optimiert ist. Die aktuelle Generation ist in den BIROS-Satelliten des DLR-Instituts für Optische Sensorsysteme integriert worden und soll nach dem Start 2016 auf Herz und Nieren getestet werden. Das System des Instituts soll ein Gigabit pro Sekunde schaffen, mit einem Satellitenterminal, das lediglich 1,65 Kilogramm wiegt. „Das ist um Größenordnungen besser als alles, was bisher geflogen worden ist“, schwärmt Fuchs.

Die Gruppe von Fuchs ist auch für den Empfang der Daten zuständig. Dafür haben die Wissenschaftler zwei Empfangsstationen gebaut: die optische Bodenstation in Oberpfaffenhofen, die fest auf dem Dach des Institutsgebäudes installiert ist, und die Transportable Optische Bodenstation TOGS (Transportable Optical Ground Station), die weltweit eingesetzt werden kann.



Bei einer Kampagne in Südspanien bereitet Christian Fuchs die optische Bodenstation vor

Bei der Datenübertragung per Lasertechnik muss einiges beachtet werden. Witterungseinflüsse und atmosphärische Effekte erschweren den Datenempfang. Damit Versuche wie OSIRIS davon nicht negativ beeinflusst werden, wurden die Bodenstationen und Messgeräte von Christian Fuchs und seinem Team für diesen Anwendungsfall optimiert. Bei der Kommunikation mit BIROS soll unbedingt alles funktionieren. „Es wird sehr spannend sein, nach monatelanger Arbeit erste Live-Daten von unserem Terminal auf BIROS zu empfangen und zu sehen, ob alles so funktioniert wie geplant. Die im Vorfeld durchgeführten ersten Tests mit einem System der NASA, das derzeit auf der ISS installiert ist, waren vielversprechend. Mit den geplanten Experimenten werden wir Daten zum Übertragungsverhalten der Atmosphäre bei einer



wichtigen Frequenz gewinnen. Für die Auslegung künftiger Systeme und zur Standardisierung der Technologie wird das entscheidend sein. Bei einem so weitreichenden Projekt zum Erfolg beizutragen, ist schon ein sehr gutes Gefühl“, sagt Fuchs nicht ohne Stolz.

Christian Fuchs' Projekte schweben aber nicht nur in den Sternen. Um schneller Ergebnisse erzielen und somit wertvolle Erfahrungen sammeln zu können, kommen bei zahlreichen seiner Projekte auch Flugzeuge zum Einsatz. Nach anfänglichen Erfolgen auf einer DLR-Propellermaschine war auch die Übertragung von einem Bundeswehr-Tornado mit einer Spezialentwicklung erfolgreich, die zusammen mit der Ausgründung ViaLight im Auftrag von Cassidian (heute Airbus) durchgeführt wurde. Im Projekt DoDfast (Demonstration of Optical Data link fast) wurde hierfür ein Micro Laser Terminal (MLT) in eine Plattform auf dem Tornado integriert. Neben den starken Vibrationen an Bord war die Optimierung der mobilen Empfangsstation TOGS eine weitere Herausforderung. Es galt, das Flugzeug mit sehr hoher Geschwindigkeit und extrem hoher Genauigkeit zu verfolgen, um das empfangene Laserlicht auf einer winzigen Fotodiode fokussiert zu halten. Dies erforderte eine Optimierung der Systeme und der eingesetzten Software, welche das Team während zahlreicher Bodentests im Vorfeld der Versuche rund um Oberpfaffenhofen

durchgeführt hat. Dass er bei seiner Arbeit eben nicht nur am Schreibtisch sitzt, sondern es auch mal in den Feldversuch geht, und dann noch mit so aufregenden Flugobjekten, schätzt Christian Fuchs sehr.

Wenn es um den Einsatz von optischer Freiraumkommunikation geht, kann Fuchs spontan gleich eine Handvoll Möglichkeiten nennen. So unterstützt seine Abteilung das Projekt VABENE++. Es soll im Rahmen der Katastrophenhilfe Einsatzkräfte dabei unterstützen, beispielsweise mit Hilfe von Luftbildern das Verkehrssystem wieder funktionsfähig zu machen. Die bei Überflügen entstandenen Bilder können mit der Lasertechnologie leicht und schnell übertragen werden. Von besonderer Bedeutung ist die Laserkommunikation weiterhin für den globalen Internetzugang. Hierbei wird die Verbindung zwischen Satelliten und Internet über Laser realisiert. Bodenstationen an verschiedenen Orten stellen dabei sicher, dass mindestens bei einer Verbindung höchstwahrscheinlich Wolkenfreiheit herrscht. Die Anzahl der benötigten Bodenstationen ist dabei sehr viel geringer als bei Funksystemen. Letztere benötigen diese Stationen, um die Kapazität bereitzustellen. „Im Funkbereich messen wir die verfügbare Bandbreite in Gigahertz, in der Laserkommunikation in Terahertz. Das ist tausendmal mehr!“, erläutert Christian Fuchs voller Begeisterung.



Letzte Einstellungen an der Bodenstation für einen Satelliten-Downlink

Dass bei der weltweiten Forschung zur optischen Freiraumkommunikation das DLR eine entscheidende Rolle spielt, treibt Christian Fuchs an. Deswegen will er in den nächsten zehn Jahren unbedingt die internationale Sichtbarkeit seines Instituts fördern, neue Kontakte knüpfen und so spannende Projekte mit unterschiedlichen Partnern realisieren. Ganz will er die Forscherrolle jedoch nicht aufgeben: „Natürlich wächst man immer stärker in die Position des Projektleiters rein und ist mehr und mehr mit Koordinierungsaufgaben beschäftigt, aber ich würde mir auch in Zukunft eine Mischung zwischen Forschen und Managen wünschen. Den Freiraum, selbst auch noch technisch zu arbeiten, möchte ich mir nicht nehmen lassen.“

Von den Projekten, die 2016 auf der Agenda von Fuchs stehen, ist der Start des BIROS-Satelliten am aufregendsten. Dieser wird, sobald er in seiner Umlaufbahn angelangt ist, wertvolle Fernerkundungsdaten per Laser zur Erde senden. Sollte dies funktionieren, wäre das ein riesiger Erfolg für den Wissenschaftler und sein Team. Ein Erfolg, den man jemandem wie Christian Fuchs mehr als gönnt. Jemandem, der so voller Leidenschaft und Freude für seinen Job und sein Themengebiet ist.



SCHIFFSTANZ UM HELGOLAND

Messkampagne zur Übertragung großer Datenmengen bei rauer See

Von Manuela Braun

Gischt sprüht über die Mauer der Hafemole und schäumt über den dunklen Stein. Noch liegt die „Hermann Marwede“ recht ruhig im geschützten Hafenbecken. Hinter dem Kai sieht das anders aus. Mittlerweile türmen sich rund um Helgoland die Wellen drei Meter hoch. Der Wind bläst mit über 50 Kilometern in der Stunde – auf der Beaufort-Skala entspricht das der Windstärke 7. „Steifer Wind“ nennt sich das. Einzelne Böen pusten schon mal mit Windstärke 8 gegen Wasser, Schiff und die bunten Holzhäuser an Helgolands Hafepromenade. „Schön ist das nicht“, sagt Thomas Müller, der von seinem Kapitänssessel scheinbar unbeeindruckt durch die Scheiben der kleinen Kommandobrücke blickt. „Na ja.“ Kurzes Zucken mit den Schultern. Es gab schon Einsätze, bei denen der Seenotrettungskreuzer sich durch Acht-Meter-Wellen kämpfen musste.

Der Mann von der Deutschen Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger ist also eindeutig Schlimmeres gewöhnt. Die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation nicht. Und doch haben sie es sich genau so und nicht anders gewünscht. „Wir wollen herausfinden, wie sich eine solche Umgebung auf die Signalausbreitung auswirkt“, hatte Projektleiter Ronald Raulefs als Ziel gesetzt. Da saß er allerdings in seinem Büro im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation in Oberpfaffenhofen. Alles stand fest auf unbeweglichem Boden, nichts schwankte. Und sein Laptop war nicht wie jetzt mehrfach mit Klebeband an der Tischplatte befestigt. Gleich aber wird man jede Bewegung der See zu spüren bekommen. Die „Marwede“ hat 2,8 Meter Tiefgang und ist bei ihren 46 Metern Länge eher ein Leichtgewicht. Wenn jemand in Seenot ist, muss das Schiff schnell vor Ort sein können und nicht schwerfällig herumschippern.

Funkverkehr zwischen Seenotretter und Eisbrecher

Noch als die „Marwede“ in der Werft lag, hatten die Forscher die zusätzlichen DLR-Antennen angebracht, die während der Messfahrten konstant ein Signal ausgeben und über GPS die exakte Position bestimmen werden. Einen Tag vor der Fahrt auf hoher See hatten Thomas Jost, Paul Unterhuber und Wei Wang, Michael Walter und Siwei Zhang die Geräte eingebaut und gesichert – selbst bei hohem Wellengang darf sich nichts selbstständig machen und auf der Kommandobrücke umherfliegen. Nun ist der Seenotrettungskreuzer eine schwankende, fahrende Sendestation auf See. Die Empfangsstation ist ebenfalls auf der Nordsee unterwegs: Die „Neuwerk“, ein Schiff des Wasser- und Schiffsamts Cuxhaven, bildet bei dieser Mission das Gegenstück zur „Marwede“. Normalerweise ist das 80-Meter-Schiff in der Nordsee als Küstenwache und Notfallschlepper oder in der Ostsee als Eisbrecher unterwegs. Dieses Mal steuert Kapitän Dietmar Seidel sein Schiff ausnahmsweise für die Wissenschaft durch die Wellen.

Bevor der „Tanz“ auf hoher See beginnt: Vormann Thomas Müller steuert den Seenotrettungskreuzer „Hermann Marwede“ durch den Hafen von Helgoland. Im Hintergrund liegt die „Neuwerk“ der Küstenwache noch an der Mole.

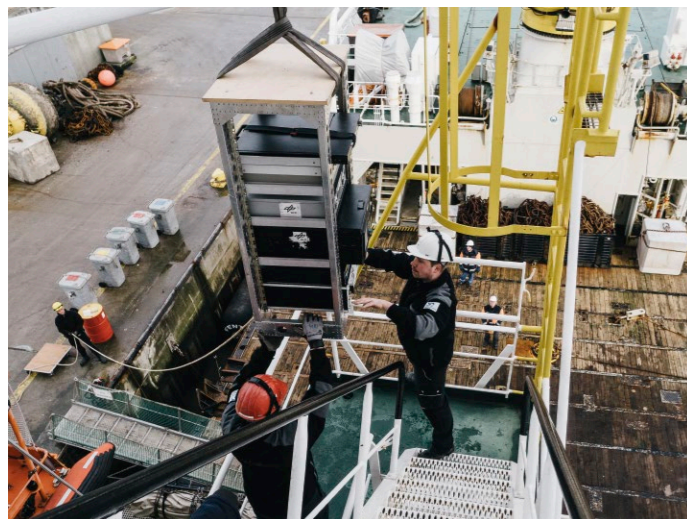




Das Team der „Marwede“ bespricht die unterschiedlichen Formationen, die es im Zusammenspiel mit der „Neuwerk“ für die Messkampagne abfahren soll

Jede Menge Szenarien haben die Wissenschaftler des DLR für ihre Messungen an diesem Mittwoch vorgesehen. Mal sollen die beiden Schiffe möglichst nah parallel zueinander fahren, mal voreinander kreuzen oder auch in großer Entfernung senden und empfangen. Bisher hat noch niemand untersucht, wie sich Schiffskörper, raue See oder auch die Rotoren eines Windparks auf die Signalausbreitung im Breitband auswirken. Bei der üblichen Kommunikation zwischen Schiffen über Sprechfunk wird halt nur eines übertragen: die Stimme. Die Übertragung von hohen Datenmengen ist im maritimen Bereich nicht möglich – es sei denn, die kostenaufwändige Kommunikation über Satelliten kommt ins Spiel.

Mit neuen Erkenntnissen über den Übertragungskanal bei realistischen Bedingungen auf See könnten in Zukunft Schiffe wie die „Marwede“ oder die „Neuwerk“ per Video erste medizinische Anweisungen senden, schon bevor sie mit ihrem medizinischen Personal am Einsatzort selbst ankommen. Auch Radarbilder zur Verkehrslage auf See könnten zwischen Schiffen ausgetauscht werden. Die Messkampagne des Instituts für Kommunikation und Navigation soll mit diesem Projekt im DLR-Forschungsverbund Maritime Sicherheit dazu beitragen, dass ein Modell entwickelt werden kann, das abbildet, wie das Signal bei der Übertragung durch äußere Einflüsse verändert wird. Dann könnte die Industrie später Sende- und Empfangsanlagen daran anpassen.



Unübliches Terrain für die DLR-Messtechnik: Mit dem Kran geht es hoch hinaus auf die Schiffsbrücke der „Neuwerk“.

Von Wellental zu Wellental

Der zweite Vormann Thomas Müller blättert auf der „Marwede“ in den Vorgaben der Forscher. Mit dem Finger fährt er die Wunschrouten ab und diskutiert mit dem dritten Vormann, Norbert Sarnow. „Das fahren wir besser in Nord-Süd-Richtung ab, damit wir nicht so sehr seitlich schwanken.“ Am schwarzen, klobigen Telefonhörer der Steuerkonsole ist jetzt der Kapitän der „Neuwerk“ zu hören. Die erste Formation, die von den beiden Schiffen gefahren werden soll, steht fest: Die „Marwede“ fährt in das ruhige Gewässer zwischen Helgoland und der vorgelagerten Düneninsel, die „Neuwerk“ nimmt den Weg um die Düneninsel herum. Das Funksignal wird dabei von der Düneninsel abgeschattet. „Dann ist das jetzt die erste Figur, die wir tanzen“, sagt Kapitän Dietmar Seidel über Sprechfunk.

Es ist nicht der Tanz dieser ersten Figur, der dann einigen der DLR-Forscher auf den Magen schlägt. Es ist die zweite Konstellation, bei der die „Marwede“ das ruhigere Gewässer verlässt und einmal um die Klippeninsel herumfährt. Für die Lange Anna – ein 48 Meter hohes Stück Felsen im Nordwesten Helgolands und Wahrzeichen der Insel – hat schnell niemand mehr ein Auge. „Alle jetzt mal wieder in die Kommandobrücke rein“, ruft Rettungssanitäter Ulrich Wenzel. Der Seenotrettungskreuzer springt wie ein störrischer Bulle durch die Wellen, sackt ins Wellental ab und springt dann wieder in Richtung Himmel. Wer jetzt noch vollkommen entspannt guckt, gehört mit großer Wahrscheinlichkeit zu den sieben Seenotrettern, die solche Fahrten zur Genüge kennen.



Die „Marwede“ kämpft sich als mobile Sendestation durch die raue See

Vergeblich arbeiten die Scheibenwischer gegen die Wassermassen. Die „Neuwerk“ ist nur noch ein kleiner, verschwommener Punkt am Horizont. Über Handy kommt die Nachricht: Auch dort schlägt die ruppige Fahrt nicht nur Wissenschaftlern, sondern sogar auch einem neuen Mannschaftsmitglied auf Gemüt und Magen. Die Messgeräte des DLR hingegen laufen auf beiden Schiffen ohne Probleme. Gefunkt wird auf einer Frequenz von fünf Gigahertz. Später, zurück im heimischen Labor, wird die erste Sichtung der Messungen zeigen, dass alles so geklappt hat, wie es die Wissenschaftler geplant hatten, und die Daten locker für mehrere Doktorarbeiten reichen.

Zweite Runde durch die Nordsee

Kurz vor 13 Uhr ist dann der erste Durchlauf geschafft. Die „Neuwerk“ fährt in den Hafen, damit die Wissenschaftler in 26 Meter Höhe in den Antennenmast des Schiffes klettern können, um dort eine Antenne



Deutschlands lichtstärkster Leuchtturm wird zum Standort für die Signalübertragung zwischen Schiff und Land. Hoch über Helgoland installieren die DLR-Wissenschaftler ihre Antennen.

auszutauschen. Statt der Einzelantenne soll im zweiten Teil ein Antennen-Array mit 32 Antennenelementen die unterschiedlichen Richtungen der Signalreflexionen getrennt erfassen. Die „Marwede“ fährt auf Warteposition in ruhigere Gewässer zwischen den Inseln. Kurze Pause vom Auf und Ab durch die Wellen – für das Gleichgewichtsorgan von manchem ist das die notwendige Abwechslung, um die so schwankende Welt wieder in den Griff zu bekommen. Dann beginnt das gleiche Programm, inklusive der stürmischen Fahrt vor Helgoland und einer „Neuwerk“, die sich nur 50 Meter entfernt ihren Weg durch die Wellen bahnt.

Als es dunkel wird, fahren die Schiffe in den ruhigen Hafen. Neben der „Neuwerk“, die wie ein schwimmendes Hochhaus am Kai liegt, wirkt die „Marwede“ auf einmal wie ein kleines Boot. Zum stürmischen Wind hat sich nun noch Regen gesellt. Mit Akku-Lampen beleuchten die Wissenschaftler die Wägelchen, die ihre Empfangsgeräte vom Kai zum Leuchtturm auf der Felseninsel fahren. Nach der Kommunikation von Schiff zu Schiff soll auch gemessen werden, wie die Kommunikation vom Land zum Schiff durch die Umgebung beeinflusst und verändert wird. Vom Dach des schwimmenden Hochhauses schwebt langsam ein Metallkorb vollgepackt mit Messgeräten am Kran hinunter. Das spart wenigstens den Transport über enge Treppenaufgänge von Deck zu Deck. Im 35 Meter hohen Leuchtturm an Land sieht dies am nächsten Tag anders aus.

Messen unter dem Leuchtturm

160 Stufen geht es im Turm nach oben. Acht Stockwerke, bis die Plattform unterhalb von Deutschlands lichtstärkstem Leuchtturm erreicht ist. Auf den Fensterbänken im obersten Stockwerk liegen Brot, Aufschnitt und Käse. Die Bordverpflegung vom vorherigen Tag hat bei der ruppigen Seefahrt niemand gegessen, jetzt dient sie als Mahlzeit für die Messkampagne an Land. Irgendjemand hat sogar daran gedacht, Kaffeepulver mit auf den Leuchtturm zu nehmen. Das Team wird den ganzen Tag vom Turm aus arbeiten, während die „Marwede“ als Sendeanlage ihre Routen abfährt. „Das hier war das sperrigste Teil“, sagt Michael Walter und tippt leicht vorwurfsvoll gegen den Metallrahmen, in dem mittlerweile Empfänger, Recorder und Bildschirm eingebaut sind.

Eine Etage höher pfeift der Wind über die Außenplattform des Leuchtturms. Christian Gentner und Markus Ulmschneider vermessen die exakte Position der DLR-Antenne. Nur wenn die Wissenschaftler ganz genau verorten, wo sich Empfänger und Sender befinden, kann der Übertragungskanal zwischen beiden präzise analysiert werden. Unten im Hafen liegt die „Marwede“ noch an der Mole. Wer sich am vergangenen Tag

als seefest erwiesen hat oder sich erneut eine mehrstündige Schifffahrt zutraut, geht dort gerade an Bord. Heute zählt auch die Fahrt zum 25 Kilometer weit entfernten Windpark zu den geplanten Szenarien. Die Wissenschaftler wollen herausfinden, wie Teile des gesendeten Signals an den Rotorblättern reflektiert werden und dann gestreut zum Schiff gelangen.

Raus bis zum Windpark

Dass überhaupt gefahren wird, hat „Marwede“-Vormann Thomas Müller erst am Morgen entschieden. „Gucken wir mal, wie das Wetter wird“, hatte er am Vorabend abgewunken, als er zum Feierabend in der Messe der „Marwede“ saß. Höhere Wellen und ein stärkerer Wind waren angekündigt. „Wenn die Windstärke zu hoch ist, nehm' ich keinen mit an Bord.“ Am Vormittag sollen sich die Wellen bis zu 3,5 Meter auftürmen und erst am Nachmittag wieder auf drei Meter abschwächen. Immerhin regnet es an diesem Donnerstag nicht. Alles aber noch im grünen Bereich, hat der Kapitän der „Marwede“ beschlossen. Die Messkampagne kann also stattfinden.

Per Handy gibt Wei Wang das „Okay“ an Ronald Raulefs, der mit an Bord der „Marwede“ ist. „Wir sind hier oben mit allem startklar.“ Die Antennen sind stabil am Gitter der Außenplattform des Leuchtturms von Helgoland befestigt, die Atomuhren in Sender und Empfänger arbeiten synchron, die Nordsee bietet die für die Messungen begehrten Wellen. Auf dem Bildschirm des Empfängers sind die ersten Ausschläge zu sehen, die sich aus dem dichten Balken mit dem Grundrauschen abheben. Die „Marwede“ sendet, am Leuchtturm wird gelauscht. Die Messungen werden bis in den Nachmittag hinein gehen und mit der Fahrt zum Windpark und zurück enden.

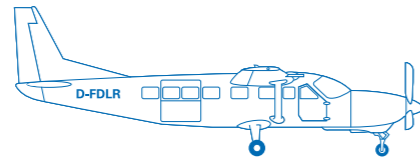
Datenausbeute fürs heimische Labor

Die Aussichten für weitere Messungen am nächsten Tag sind schlecht. Sturm ist angesagt, die „Marwede“ wird einsatzbereit für den Notfall im Hafen bleiben. Das Equipment im Leuchtturm wird abgebaut und muss wieder acht Etagen nach unten befördert werden. Erst am Samstag werden die Wissenschaftler vom Hafen aus auf „Meereshöhe“ empfangen, während der Seenotrettungskreuzer vor Helgoland seine Bahnen bis hinter den Horizont von Helgoland zieht. Projektleiter Ronald Raulefs ist trotzdem mehr als zufrieden. Das Team wird mit jeder Menge Daten nach Oberpfaffenhofen ins Institut zurückkehren. „Und zwischendurch einen Tag nur Land unter den Füßen zu haben, ist echt gut.“



Ausrichtung und Position der Antenne müssen exakt bestimmt werden, um die gewonnenen Daten im heimischen Labor analysieren zu können

HOCH HINAUS



Studium in der Cessna 208B Grand Caravan, dem „Fliegenden Hörsaal“

Von Julia Heil

Es ist ein sonniger Herbstnachmittag. Die Cessna 208B Grand Caravan wartet im Hangar des DLR Oberpfaffenhofen auf ihre „Fracht“. Normalerweise nutzen Meteorologen, Verkehrsforscher oder Physiker das Forschungsflugzeug. Doch für zwei bis drei Wochen im Jahr ist die Cessna mit Studenten unterwegs. Sie nutzen sie als „Fliegenden Hörsaal“: Ein Praktikum nahe den Wolken. Ende September 2015 sind es Studierende der Universität der Bundeswehr München. Noch sitzen die zwölf Passagiere mit der Studienrichtung Luftfahrzeugtechnik zusammen mit ihren Betreuern im sogenannten Computer-Pool, einem Raum im Untergeschoss der Universität. Im letzten Semester hörten sie die Vorlesung Flugmechanik. Dort wurde das Verhalten von Flugkörpern bei verschiedenen Manövern anhand von Daten zu Position, Fluglage und Geschwindigkeit besprochen. Jetzt soll mit einem Flugpraktikum auf den zuvor gehörten Stoff aufgebaut werden. Der angehende Maschinenbauingenieur Marius Rohkamp ist gespannt, was ihn am morgigen Tag erwarten wird: „Die Vorlesung war eher theoretisch, man muss ja zunächst Grundlagen für das schaffen, was nachher in der Realität kommt. Aber dass wir wirklich in ein Flugzeug steigen, wie hier im flugtechnischen Praktikum für Flugmechanik, das ist einzigartig.“ Am 29. September 2015 werden die Studenten ihr Praktikum also nicht in einem Simulator verbringen, sondern in etwa 2.000 Meter Höhe über dem bayerischen Voralpenland. „Ich bin gespannt, wie morgen Theorie und Praxis zusammenkommen“, sagt der Student. Und es ist ihm anzusehen, dass er sich auf die Flüge freut.

KLEIN, ABER OHO: DIE CESSNA 208B GRAND CARAVAN

Sie ist mit einer Länge von 12,7 Metern und einer Spannweite von 15,9 Metern relativ klein und verhältnismäßig langsam, aber dennoch wendig: Die Cessna 208B Grand Caravan. Die Einsatzmöglichkeiten dieses Flugzeugtyps sind vielfältig. Er ist für Fallschirmsprünge, die brasilianische Luftwaffe oder den Paketdienst FedEx im Einsatz. Und für die Forschung: Das DLR zählt seit 1998 eine Cessna zu seiner Flotte. Sie ist in Oberpfaffenhofen stationiert und wird für Flüge mit optischen und meteorologischen Sensoren, für Experimente zur Fernerkundung und zur Erforschung der unteren Atmosphäre in Höhen bis zu 6.000 Metern genutzt. Dafür sind die geringe Größe und die Mobilität dieser einmotorigen Turboprop-Maschine ideal. Mit ihrer Hilfe dokumentieren die Wissenschaftler zum Beispiel die Veränderung von Wald- oder Ackerflächen. Sie führen kleinräumige atmosphärische Messungen durch, indem sie in kleinere Wolken fliegen und ihnen Proben entnehmen. Daten zu Oberflächenstrukturen, die bei Überflügen gewonnen werden, dienen auch dazu, Satellitendaten zu kalibrieren. Selbst für die Verkehrsforschung kam die Cessna schon zum Einsatz: Für das Projekt VABENE wurden Kamerasysteme eingebaut, um Verkehrsdaten in Echtzeit zu erfassen.



Sie wollen hoch hinaus, die Studierenden der Universität der Bundeswehr München. Der „Fliegende Hörsaal“ des DLR macht's möglich. In der wendigen Cessna praktizieren sie die Theorie im Flug – und sind begeistert.



Mit der Atmosphärenforschungssonde MetPod, die an einem Unterflächenträger der Cessna angebracht ist, können Messungen zur Physik der Atmosphäre durchgeführt werden. Dank eigens dafür modifizierter Sensorik lassen sich Druck, Temperatur, Feuchte, Windrichtung und -geschwindigkeit mit einem Instrument erfassen.

Ein Flugzeug – viele Möglichkeiten

An diesem Nachmittag sind auch die DLR-Piloten Thomas van Marwick und Dr. Marc Puskeiler von der Einrichtung Flugexperimente aus dem ungefähr vierzig Auto-Minuten entfernten Oberpfaffenhofen zur Universität gekommen. Sie erklären den Studenten die Besonderheiten des „Fliegenden Hörsaals“. „Die Ausstattung der Cessna ist nicht mehr serienmäßig, für den Einsatz als Forschungsflugzeug musste so einiges modifiziert werden“, merkt Thomas van Marwick an.

Ein Beispiel für diese Sonderausstattung ist die Atmosphärenforschungssonde MetPod, die unter einer der Tragflächen angebracht ist. Mit ihr können Messungen zur Physik der Atmosphäre durchgeführt werden. Seit dem Einbau in die Cessna wird der MetPod auch für den „Fliegenden Hörsaal“ genutzt und ist besonders für angehende Meteorologen und Flugwetterberater interessant. So fliegen Meteorologie-Studenten aus Fürstenfeldbruck mit der Cessna schon durch Föhnwellen und untersuchen die Luftströmungen. Auch für die Ingenieure aus München ist das System von Bedeutung. Der MetPod liefert ihnen neben den meteorologischen Daten auch Lage- und Beschleunigungsinformationen, die sie benötigen, um Flugleistung und Stabilität des Flugzeugs zu berechnen. Außerdem wird die Kraft gemessen und aufgezeichnet, die der Pilot bei verschiedenen Flugmanövern zur Steuerung der Cessna aufbringen muss. Die Daten sollen von den Studenten bei den verschiedenen Manövern der Cessna protokolliert und im Nachhinein ausgewertet werden. Sie erhalten so valide Informationen über die Kräfte- und Bewegungsdaten des Flugzeugs, die ein Flugversuchsingenieur benötigt, um das Flugverhalten genau beurteilen zu können. Gleichzeitig sammeln sie in diesem außergewöhnlichen Praktikum auch Testflugerfahrungen.

Die Manöver für das Praktikum wurden für die angehenden Ingenieure gut vorbereitet: Der zuständige Projektgenieur des DLR, Robert Uebelacker, hat das Programm des Flugtages entwickelt und die einzelnen Versuche zusammengestellt. Die Piloten Thomas van Marwick und Klaus Dietl werden sie mit drei verschiedenen Gruppen abfliegen. Neben den beiden Piloten ist bei jedem Flug auch ein Flugversuchsingenieur mit an Bord. Für jede Gruppe ist der Flug ein bisschen anders: Für den ersten Flug, bei dem die Manöver mit einem hecklastigen Flugzeug geflogen werden, bedeutet das, zusätzlich zum strikten Beladepfad noch 100 Kilogramm Blei mitzunehmen. Beim dritten Flug wird die Cessna dann kopflastig beladen. Während es beim ersten und dritten Flug eher um die Manövereigenschaften geht, stehen im zweiten Flug die Performance-Eigenschaften des Flugzeugs im Mittelpunkt. „Das machen wir, damit ihr am Ende ein möglichst breites Datenspektrum mit nach Hause nehmen könnt“, erläutert Thomas van Marwick.



Oliver Brieger leitet den Forschungsflugbetrieb. Das Foto zeigt ihn vor dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon, einer Dassault Falcon 20E.

Testflugerfahrung – live

Dienstag, 29. September, 8:00 Uhr: Strahlend blauer Himmel, keine Wolken, motivierte Studenten – beste Bedingungen. Doch ein wenig Nervosität ist bei der morgendlichen Begrüßung in den Hallen der DLR-Einrichtung Flugexperimente schon zu spüren. „Ich schaue einfach mal, was auf mich zukommt, wenn ich gleich ins Flugzeug steige“, sagt eine Studentin, als wolle sie sich Mut machen. Die erste Gruppe wird direkt zum Briefing für den Flug geschickt, den Übrigen gibt Robert Uebelacker eine kurze Einführung zum DLR-Standort. Eine Stunde dauert der Flug mit der Cessna, zusammen mit dem Briefing sind das für jede Gruppe zwei Stunden. Damit die Zeit für die Wartenden nicht zu lange wird, bekommen sie Einblicke in einige Institute des DLR.

10:15 Uhr: Die erste Gruppe ist gelandet, sie wird gespannt erwartet. Begeistert berichtet Marius Rohkamp: „Das waren 0,4 g bei unserem Push Over!“ Auch bei der zweiten Gruppe sieht man nach der Landung heitere Gesichter, ihr Flug verlief ebenfalls einwandfrei. Dann ist Mittag. Das Essen sorgt bei der letzten Gruppe für Diskussionen: Zu viel könnte gleich bei der Manöverstabilität zum Problem werden, zu wenig auch ... Kurz vor dem Flug gibt der Flugversuchsingenieur Stephan Storhas letzte Tipps: „Wichtig ist, dass ihr die Zeit aufschreibt. Und denkt daran, auf den Kerosinverbrauch zu achten, damit ihr nachher berechnen könnt, wie viel die Cessna während der Manöver gewogen hat.“ Bevor alle den Raum verlassen, rät er den Studenten: „Am besten, ihr teilt euch die Arbeit auf, denn manche Manöver sind so schnell wieder vorbei, dass einer allein gar nicht alle Daten erfassen kann.“

Dann geht es für die dritte und letzte Gruppe hinaus vor den Hangar, wo der „Fliegende Hörsaal“ wartet. Einsteigen bitte! Auf sechs der Sitzplätze haben Studenten Platz genommen, auf dem siebten sitzt Stephan Storhas. Das Entscheidende ist – neben Klemmbrett und Stift – das digitale Cockpit an jedem Platz: Seit ihrem Umbau im Jahr 2006 sind in jede der sieben Rückenlehnen der Cessna Bildschirme integriert. In der oberen Hälfte des Bildschirms kann man anhand der virtuellen Cockpit-Instrumente die Basisdaten des Flugzeugs wie Höhe, Temperatur, Position, Druck und Geschwindigkeit ablesen. In der unteren Hälfte können die Manöver in einem Graphen visualisiert werden. Die Aufgabe der Studenten ist es, bei den verschiedenen Flugmanövern die wichtigen Daten in vorgefertigte Testkarten einzutragen. „Willkommen an Bord“, begrüßt der Copilot Klaus Dietl die Passagiere, „wir müssen noch kurz warten, bis das System hochgefahren ist und wir die Rollfreigabe haben und dann geht's auch schon los“. – „Wir wär'n so weit“, gibt Stephan Storhas zurück. Die Cessna beginnt zu rollen, wird immer schneller und hebt schließlich ab.

Von der Phygoide zur Manöverstabilität

Das erste Manöver ist die Phygoide, bei dem der Pilot van Marwick die Flugbahn des Flugzeugs aus einem stabilen – ausgetrimmten – Zustand um 20 Grad neigt. Dann lässt er das Steuer los und versetzt die Cessna so in eine sinusförmige Schwingung. Die Studenten sollen die Dämpfung und die natürliche Frequenz der Schwingung bestimmen, um herauszufinden, ob das Flugzeug dynamisch stabil ist, wenn es schließlich von selbst wieder in den ausgetrimmten Zustand zurückkehrt. – Das tut es. Zunächst zeichnet sich die sinusförmige Schwingung im Graphen auf dem Bildschirm ab. Das Flugzeug schwankt wie ein Schiff auf hoher See, aber nach kurzer Zeit ist davon nichts mehr zu spüren und die Cessna fliegt wieder stabil. „Habt ihr alles?“, erkundigt sich Stephan Storhas. Keine Einwände; das Mitschreiben war offenbar kein Problem.

Anders ist dies bei der Untersuchung der Manöverstabilität, besonders beim Push Over, bei dem eine einzelne Parabel mit 20 Grad Neigungswinkel geflogen wird und verschiedene Daten abgelesen werden müssen. „Wir machen zuerst einen Test, damit ihr wisst, wie sich das anfühlt“, erklärt Storhas. Gleich wissen alle, was er meint: Beim ersten Mal kann sich bei knapp 0,2 g kaum einer auf die Zahlen konzentrieren. Die Stifte beginnen zu schweben, genau wie ihre Besitzer. Beim zweiten und dritten Versuch klappt es besser, auch die Datenübertragung. Glücklicherweise werden die Informationen zusätzlich zu den eigenen Mitschriften von zwei Rechnern gespeichert und können für die Auswertung am Ende des Flugtages in digitaler Form mit nach Hause genommen werden. Die Messkarten füllen sich schnell und beim „Stall“, dem Strömungsabriss, bei dem das Flugzeug zur Seite wegkippt, sind die Passagiere der Cessna schon so routiniert, dass sich niemand mehr von den Warnsignalen, die das Abreißen der Strömung ankündigen, aus der Fassung bringen lässt.

Die sechzig Minuten vergehen im Flug und viel zu schnell landet die Cessna wieder auf dem Rollfeld in Oberpfaffenhofen. Als Belohnung gibt es Gummibärchen. „Seid ihr glücklich?“, fragt Stephan Storhas zum Abschluss. Die Gesichter sprechen für sich. Zum Abschluss des Tages, bevor sich die Studenten wieder auf den Rückweg nach München machen, kommen alle noch einmal im Aufenthaltsraum zusammen. „Von unserer Seite sagen wir vielen Dank und wir freuen uns, wenn wir im nächsten Jahr wieder vorbeikommen können“, verabschiedet sich Fabian Rüger, der Betreuer des Praktikums seitens der Bundeswehr-Universität.

Währenddessen läuft bei den DLR-Flugbetrieben das Alltagsgeschäft weiter. Der „Fliegende Hörsaal“ gehört mittlerweile schon zum festen Programm. „Egal, ob es jetzt der Meteorologe oder der Luftfahrtstudent ist, der aus dem Flugzeug aussteigt, am Ende sind alle zufrieden, obwohl der Flug immer etwas anders abläuft als gedacht“, resümiert Christian Mallaun, der Verantwortliche für die Mess- und Sensortechnik des „Fliegenden Hörsaals“. „Für uns ist dieses Konzept außerdem interessant für den Nachwuchs des DLR, denn schon manchen Studenten, der bei uns im „Fliegenden Hörsaal“ saß, haben wir dann später bei den DLR-Flugexperimenten begrüßen dürfen.“



Kurz vor dem Start verteilen die Studenten die Aufgaben untereinander. So konzentriert sich jeder bei den verschiedenen Manövern nur auf bestimmte Werte.

Julia Heil im Gespräch mit Oliver Brieger, Leiter des DLR-Forschungsflugbetriebs

Flugzeugverhalten selbst erfahren

Das DLR stellt sein Forschungsflugzeug Cessna schon seit 2006 verschiedenen Universitäten als Trainingsplattform zur Verfügung ...

• ... genau, das Konzept des „Fliegenden Hörsaals“ ist ein fester Bestandteil der Jahresplanung der Cessna. Es gibt fortgeschrittenen Studenten Einblick in den Flugversuch, also konkret in die Planung sowie in die verschiedenen Abläufe. Und es zeigt, wie Daten aufzubereiten sind, um die Charakteristika der Maschine herauszuarbeiten. Das Programm ist als Ergänzung zu der normalen Flugmechanik-Vorlesung gedacht. Bei uns können die Studenten das Erlernte praxisnah erfahren. Für ungefähr zwei bis drei Wochen rüsten wir die Cessna mit dem „Fliegenden Hörsaal“ aus. Dann haben wir sieben Arbeitsplätze an Bord, mit den entsprechenden Displays, an denen Studenten alle flugrelevanten Parameter in Echtzeit beobachten können.

Das DLR bietet Studenten ja immer mal wieder Sommer-schulen an. Ist das auch für die Cessna im Gespräch?

• Ja. Wir planen eine Summer School und möchten so alle Universitäten, die in Deutschland Luft- und Raumfahrttechnik anbieten, zusammenholen. Diese sollen dann ihre Studierenden für ein zweiwöchiges Flugversuchspraktikum zu uns schicken. Die Studierenden können dabei alles Mögliche selbst erfahren, von der Bewertung der Flugeigenschaften des Flugzeugs über die Stall-Eigenschaften, also den Strömungsabriss, bis zu den Flugleistungen. Das Ziel dabei ist es, das Flugzeug insgesamt mit seinen Eigenschaften zu vermessen, und jede Gruppe, die mitfliegt, hat ihren Anteil daran. Das Programm hat also auch einen integrativen Charakter für die Universitäten. Am Ende soll alles in einer gemeinsamen Abschlussarbeit zusammengetragen werden, für die die Studenten dann auch die entsprechenden Credit Points bekommen.

Wie sieht dann die Zukunft des „Fliegenden Hörsaals“ aus?

• Die Summer School läuft zusätzlich zum normalen Programm. Aktuell befinden wir uns noch in der Konzeptionsphase, wir planen den Start derzeit für September 2016. Abgesehen von der Summer School für die Luftfahrtstudenten möchten wir das Spektrum des „Fliegenden Hörsaals“ erweitern und das Forschungsflugzeug als Ausbildungsstätte für zukünftige Meteorologen nutzen. Derzeit wird diese Möglichkeit schon durch angehende Wetterberater der Bundeswehr genutzt. Mit den Messinstrumenten, die wir an Bord haben, kann man nämlich sehr gut in den erdnahen Luftschichten messen und beispielsweise Turbulenzen untersuchen.

DER „FLIEGENDE HÖRSAAL“

2006 wurde die Cessna C208B Grand Caravan zum „Fliegenden Hörsaal“ umgebaut und bietet seitdem neben einem Arbeitsplatz für einen DLR-Flugversuchsingenieur sechs individuelle Messplätze mit Bildschirmen für Studenten der Luft- und Raumfahrt und der Atmosphärenwissenschaften. Die Flüge können durch die enge Zusammenarbeit mit den Flugversuchsingenieuren des DLR individuell an die Anforderungen der Studentinnen und Studenten angepasst werden.

Kontakt:

Robert Uebelacker
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Flugexperimente (FX), Projektmanagement
robert.uebelacker@dlr.de

Dr. Felix Geiger
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Flugexperimente (FX), Projektmanagement
felix.geiger@dlr.de

RISIKO STARKREGEN

Ein System des Earth Observation Center im DLR informiert über Gefährdungspotenzial

Von Peter Fischer

Montag, 28. Juli 2014: Das Gewittertief Quintia verschiebt sich vom Norden Frankreichs westwärts nach Deutschland. Dies hat schwerwiegende Konsequenzen für einige Regionen in Nordrhein-Westfalen, vor allem für die Menschen in Münster und Greven. Ab 13 Uhr regnet es mehrere Stunden so stark, dass man von einem historischen Ausmaß spricht. Niederschläge von bis zu 292 Liter pro Quadratmeter innerhalb von sieben Stunden werden gemessen. Zum Vergleich: Im Jahresmittel werden für Münster jährlich etwas mehr als 750 Liter pro Quadratmeter erwartet. Die Bilanz des Tages fällt für die Stadt dementsprechend verheerend aus – mehr als 14.000 Haushalte tragen Sachschäden vor allem durch überflutete Keller davon. Der Gesamtschaden wird auf circa 80 Millionen Euro geschätzt. An diesem Juli-Tag kommt das öffentliche Leben teilweise zum Erliegen. Straßen sind überflutet, mehrere Personen werden verletzt, zwei Menschen kommen bei Unfällen ums Leben.

Ereignisse wie dieses bestätigten tragischerweise einen Handlungsbedarf. Denn es wird so etwas zukünftig öfter geben. Zeitreihenanalysen belegen für die letzten vier Jahrzehnte speziell in den Herbst- und Wintermonaten einen Trend zu mehr Niederschlag. Es ist aber nicht nur mit mehr Regen zu rechnen, sondern vor allem mit einer Zunahme extremer Niederschlagsereignisse. Dementsprechend gefragt sind verlässliche Aussagen zu Gefährdungspotenzialen bestimmter Gebiete.

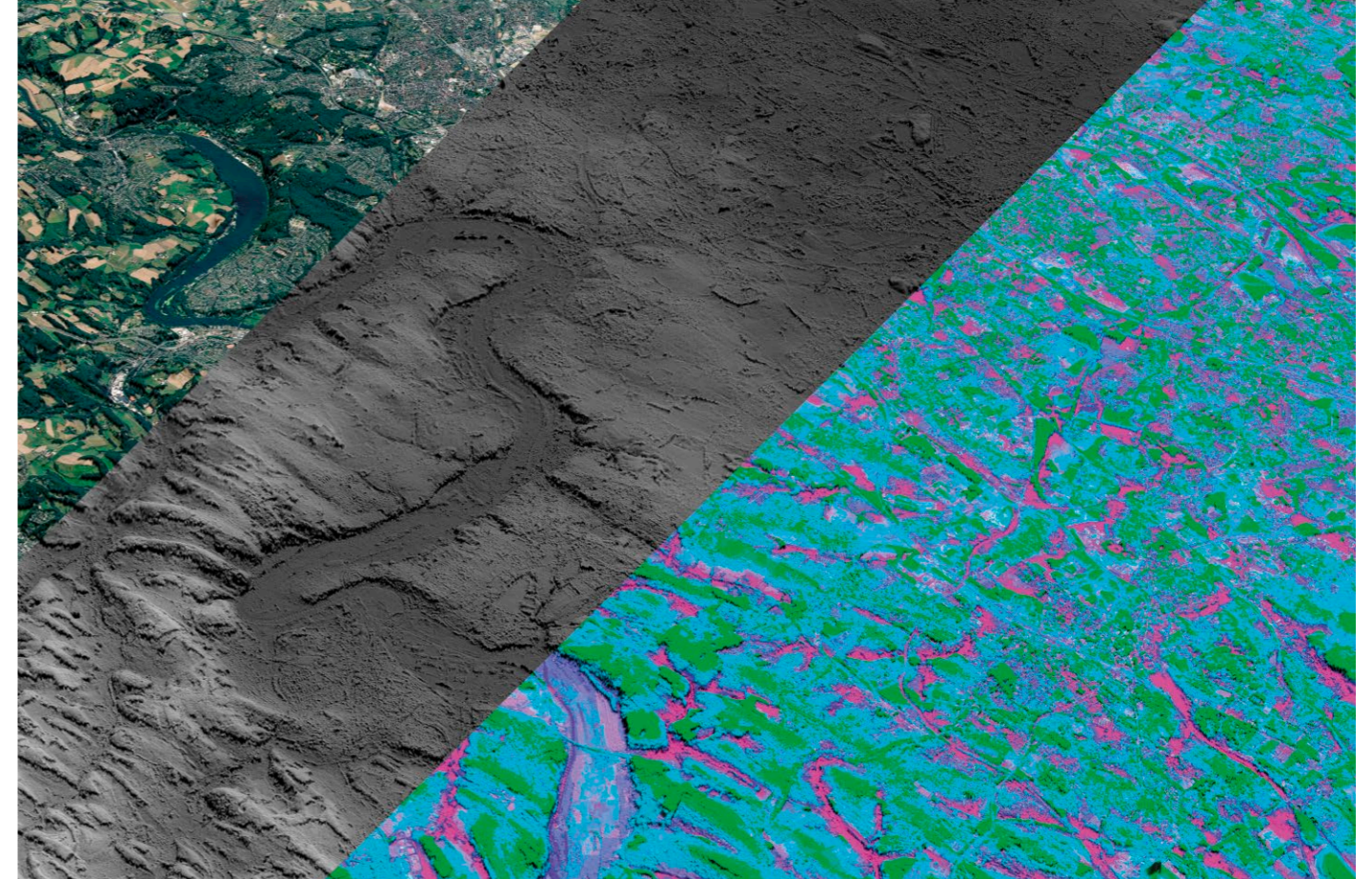
Bestehende Systeme, welche zum Beispiel von deutschen Versicherungsunternehmen und der öffentlichen Hand verwendet werden, geben präzise Auskunft über die Gefährdungslage durch Hochwasser. Ein Schlüsselement derartiger Zonierungen ist die Nähe zu Fließgewässern. Doch die Faustregel, je weiter weg vom nächsten Fluss, desto besser gegen Hochwasser geschützt, hat einen Haken. Denn tückischerweise führen Starkregen auch abseits von Fließgewässern überraschend zu schweren Überschwemmungen.

Diese stetig zunehmende Gefährdungssituation und das damit verbundene unkalkulierbare Risiko beschäftigen die Westfälische Provinzial Versicherung, einen Innovationspartner des DLR, seit mehreren Jahren. Das Technologiemarketing des DLR identifizierte die thematisch passenden Abteilungen im DLR und brachte Vertreter aus Wissenschaft und Wirtschaft an einen Tisch. Im Oktober 2013 wurde ein Kooperationsprojekt initiiert. Ziel war nicht weniger als die Ermittlung des Gefährdungspotenzials durch Starkregen, punktgenau und exemplarisch auf einzelne Gebäude bezogen.



Starkregen kann auch abseits von Fließgewässern überraschend zu Überschwemmungen führen. Geländemodelle, die Senken erkennbar machen, können Hinweise auf gefährdete Gebiete geben.

Bild: Provinzial



Überlagerung eines Flusslaufbildes: von links ein Echtfarbensatellitenbild, ein Geländemodell und eine Risikokartierung (gefährdete Gebiete in Pink und Lila, sichere Gebiete in Grün)

Das DLR-System verwendet nicht – wie andere bislang existierende Werkzeuge – hydrologische Basisdaten. Diese allein sind für Aussagen zur Starkregengefährdung unzureichend. Stattdessen werden Geländemodelle statistisch ausgewertet und klassifiziert. Die zugrunde liegende Idee ist eigentlich ganz einfach: Da Wasser immer bergab fließt, sind Senken im Gelände potenziell höher gefährdet als Erhebungen. Selbst auf meteorologische Daten wie Niederschlagsmessungen kann so verzichtet werden. Die Genauigkeit der Modellberechnungen wurde durch den Vergleich mit historischen Schadensdaten, die von der Westfälischen Provinzial Versicherung über einen Zeitraum von zehn Jahren aufgezeichnet worden sind, nachgewiesen.

Während der Projektlaufzeit erlangte die Thematik traurige Aktualität – Münster, Sitz der Westfälischen Provinzial Versicherung, wird von dem eingangs erwähnten Starkregeneignis getroffen. Obwohl man aus einem derart singulären Ereignis keine generell gültigen Aussagen ableiten kann, sollte es doch möglich sein, mittels des entwickelten Demonstrators die Realität zumindest grob abzubilden. Und tatsächlich: Die Gefährdungskarte des DLR und die Schadensmeldungen vor Ort korrespondieren miteinander.

Das Simulationswerkzeug bündelt das Wissen im Bereich der 3D-Modellierung und Geo-Statistik des Earth Observation Center (EOC), das sich aus dem Institut für Methodik der Fernerkundung und dem Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum zusammensetzt. Für die Demonstration wurden hochauflösende Geländemodelle genutzt, die mit einem ebenfalls am EOC entwickelten Verfahren aus Aufnahmen des indischen Cartosat-P5-Satelliten gewonnen wurden. Die Risikomodellierung lässt sich problemlos mit beliebigen Geländemodellen durchführen. So testeten die Wissenschaftler des EOC die Modellierung an Geländemodellen, die aus Radardaten abgeleitet wurden. Im Rahmen der Mission TanDEM-X wird derzeit am EOC ein globales Geländemodell von bislang unerreichter Auflösung fertiggestellt, das für eine derartige Anwendung gut geeignet ist. Mit Hilfe des neuen Verfahrens und unterschiedlicher Höhendatensätze sind Risikomodellierungen auf unterschiedlichen Skalen möglich: von hochgenauen, lokalen Analysen bis hin zu globalen Aussagen.

Das am EOC durchgeführte Projekt wurde im Oktober 2015 abgeschlossen. Verschiedene Organisationen bekundeten ihr Interesse an den Ergebnissen der Studie. Die Starkregenzonierung wird in ähnlicher Form voraussichtlich ab Ende 2016 bundesweit von der Versicherungswirtschaft eingesetzt.

Die neue Methode zur Risikoanalyse ist nicht nur für die Versicherungswirtschaft von besonderer Relevanz. Auch bei der Planung und Durchführung von Baumaßnahmen und Infrastrukturprojekten könnten die Ergebnisse wertvoll sein. Als Anwender kommen sowohl die öffentliche Hand als auch private Unternehmen in Betracht. In der Immobilienwirtschaft könnten Objekte aufgrund ihrer Gefährdung neu bewertet sowie Prävention betrieben werden. Und auch der einzelne Hausbesitzer kann von den Ergebnissen profitieren. Wären die Informationen zu den Gefährdungszonen, beispielsweise übers Internet, frei verfügbar, so könnte der Einzelne bei Bedarf geeignete Maßnahmen zum Hochwasserschutz treffen.

Das im DLR entwickelte System zur Gefährdungsprognose hat zudem das Potenzial, in Zukunft auch Risiken anderer Naturereignisse und Wettergefährdungen für Menschen und Siedlungen modellieren zu können, wie sie beispielsweise durch Stürme oder heftigen Bodenfrost drohen. Geoinformationen können zur Klärung einer Vielzahl von Fragestellungen aus dem Bereich zivile Sicherheit hinzugezogen werden. Die Westfälische Provinzial Versicherung AG plant, in Zukunft eng mit den DLR-Wissenschaftlern zusammenzuarbeiten, um weitere Risikomodellierungen zu optimieren.

Peter Fischer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Photogrammetrie und Bildanalyse im DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung in Oberpfaffenhofen.

SUCHE NACH DEM SICHEREN PFAD

Vulkanasche in der Simulation zeigt Auswege aus der Krise

Von Angela Schmitt

Die Piloten gehen im Cockpit die letzten Punkte der Checkliste durch. Für heute ist kein Gewitter angekündigt. Indessen: Eine Aschewolke, die sich von Island her ausbreitet. Muss der Flug kurzfristig verschoben oder abgesagt werden? Kann die Aschewolke umflogen werden oder breitet sie sich in entgegengesetzter Richtung aus? Ist der Zielflughafen zur Ankunftszeit frei von Asche und geben die Fluglotsen die Maschine überhaupt zur Landung frei?

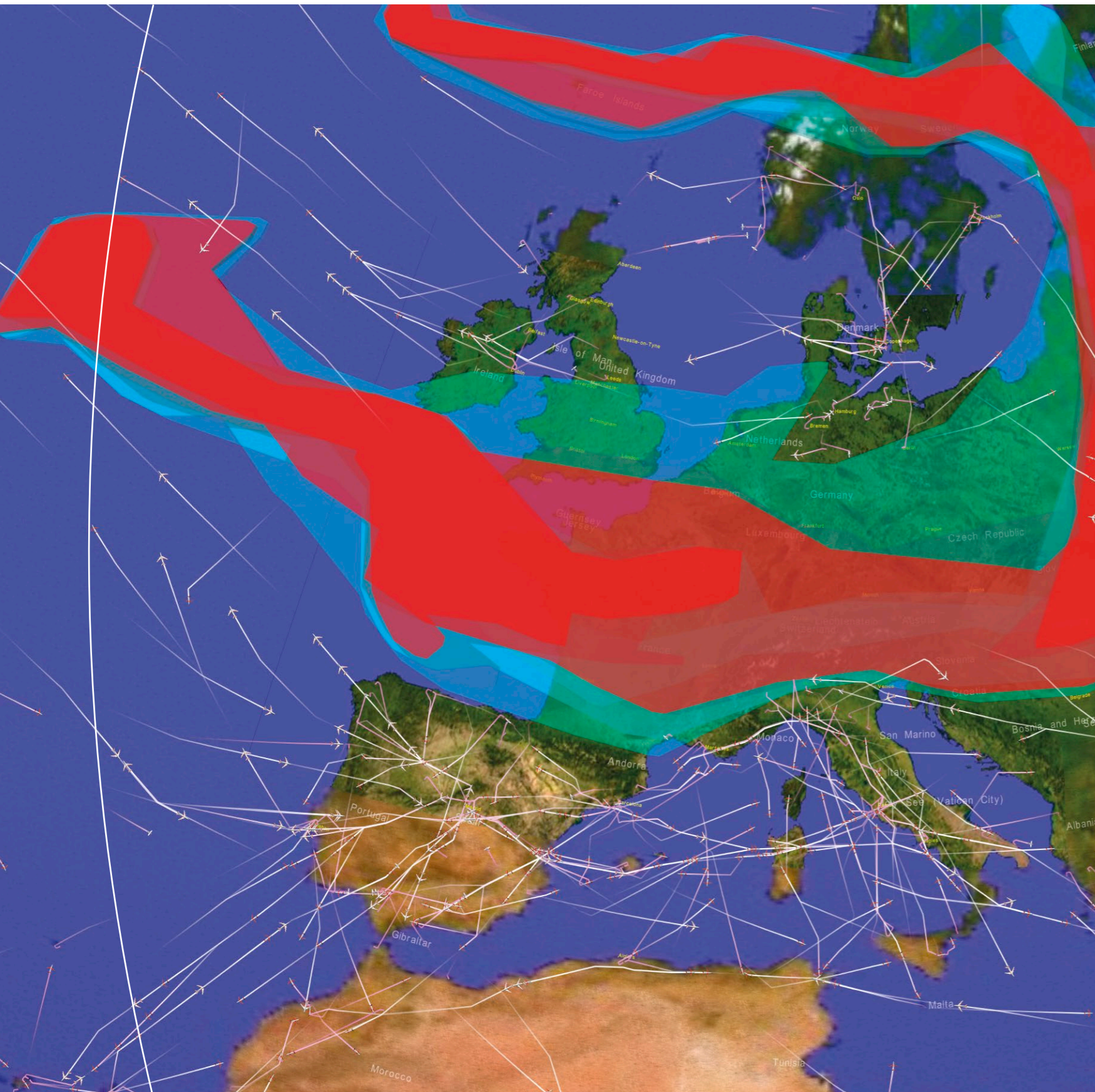
Das DLR-Projekt „Volcanic ash impact on the Air Transport System“ (VolCATS) untersucht das Thema Asche im Flugverkehr und wie die daraus entstehenden Probleme behoben werden können. Die hochgeschleuderte Asche eines Vulkanausbruchs schränkt den für den Luftverkehr nutzbaren Luftraum stark ein. Der freie Luftraum muss dann effizient genutzt werden, um die negativen Auswirkungen sowohl für die Airline als auch für die Passagiere so gering wie möglich zu halten. Mit verschiedenen Simulationen identifizieren die Wissenschaftler im DLR Braunschweig die Gründe für aschebedingte Flugausfälle oder Verspätungen und entwickeln Handlungsstrategien für besseres Umgehen mit dem Problem Aschewolke. Ziel ist es, so viele Flüge wie möglich durchzuführen und die Entscheidung, ob geflogen wird oder nicht, bestmöglich zu unterstützen.

Fliegen bei einem Vulkanausbruch

Generell gilt: Das Fliegen durch Wolken sichtbarer Asche ist verboten. Bricht ein Vulkan aus, sammelt eine zentrale Stelle alle für den Flugverkehr relevanten Daten. Diese Informationen werden für den Piloten, die Fluggesellschaft und die zuständige Flugsicherung so aufbereitet, dass alle eine fundierte Entscheidung treffen können. Entscheiden sie, dass geflogen werden kann, behält der Pilot dennoch das letzte Wort: Nur er kennt die Situation vor Ort, nur er entscheidet in letzter Instanz, ob geflogen wird oder nicht. Damit dieses Krisenkonzept aufgeht, ist eine effiziente Kommunikation zwischen allen beteiligten Akteuren erforderlich.

Das von den Wissenschaftlern simulierte Krisenszenario basiert auf den aufgezeichneten Aschewolken des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull im April 2010. Auf Basis dieser Daten werden zwei unterschiedliche Versionen erstellt: Eine simuliert den schlimmsten Fall, indem sich viel Asche weit ausbreitet. Die andere zeigt den optimistischen Fall, bei dem Aschewolken für geringere Höhen und kleinere Bereiche vorhergesagt sind.

Um diese Versionen durchzuspielen, erweiterten die Braunschweiger Forscher die Umgebung des Leitstandsensors ACCES (Airport and Control Center Simulator). In den realitätsnah nachgebauten Leitstand speisten sie alle geplanten Flüge eines Tages ein, an dem in Europa der Flugbetrieb durch die Aschewolke stark eingeschränkt war. Sie berechneten die Flugbahnen (Trajektorien) der ursprünglich geplanten Flüge und konnten so untersuchen, ob die Strategien, die sie inzwischen entwickelt haben, tatsächlich zu mehr durchgeführten Flügen an diesem Tag geführt hätten. Am betrachteten Tag fanden circa 5.000 Flüge statt. Zum Vergleich: Bei normalem Verkehrsaufkommen wären es circa 22.000 Flüge gewesen. Ein neu entwickeltes Modul, der sogenannte Trajektorien-Optimierer, sucht effiziente Flugbahnen zum Umfliegen der Aschewolken. Im Leitstand zeigt eine zentrale Bildwand die grafisch aufbereiteten Flugbahnen.



Simulation des Luftverkehrs über Europa bei vorhergesagten Vulkanaschewolken (rote und hellblaue Zonen; DLR-Software: FATS)

Der Trajektorien-Optimierer ermittelt die kürzesten oder schnellsten aschefreien Flugbahnen. Diese können sich je nach Windverhältnissen voneinander unterscheiden. Die Fluggesellschaft kann dann nach eigenen Kriterien entscheiden, welche Flugtrajektorie geflogen werden soll. Daraufhin analysieren die Experten, ob die getroffenen Entscheidungen positive oder negative Effekte auf die Gesamtzahl der möglichen Flüge gehabt hätten.

Im Projekt VolcATS wurden zwei unterschiedliche Luftraumstrukturen untersucht: einmal die derzeit angewendete Struktur, in der der Luftraum in kleinere Bereiche, sogenannte Sektoren, unterteilt ist. Für jeden Sektor gibt es zwei Lotsen. Diese führen die Flugzeuge sicher und effizient durch ihren Sektor. Das Problem dabei: Optimierte Ausweichrouten könnten zu viele Flugzeuge durch dieselben, an Aschewolken angrenzende, Sektoren führen und diese so überlasten. Im simulierten Ascheszenario wird deshalb auch eine sektorenübergreifende Struktur analysiert. Bei dieser Variante wird nicht mit einzelnen Sektoren gearbeitet, sondern ein einzelner Lotse betreut eine bestimmte Anzahl von Flügen vom Start bis zur Landung. Mit entsprechender Koordinierungsunterstützung können somit auch mehrere Lotsen gleichzeitig in einem Gebiet mit hoher Verkehrslast arbeiten. Großflächige Störungen würden dann die Kapazität eines Luftraums nicht so stark beeinflussen wie es im derzeitigen auf Sektoren basierten Luftraum der Fall ist.

Unterschiedliche Strategien im Test

Ein Szenario beginnt: In der Planungsphase werden die Vorhersagen für die Aschewolke bekannt gegeben. Die Experten stellen fest, dass ein bisher geplanter Flug nicht mehr stattfinden kann. Eine aschefreie Flugbahn konnte zwar berechnet werden, jedoch besteht ein Konflikt mit einem anderen Flug. Im Krisenstab des Leitstandsensors diskutieren die betroffenen Fluggesellschaften ihre Pläne auf kurzen Kommunikationswegen und entscheiden über die konkreten Flüge. Das Ergebnis ihrer Diskussion wird über ein eigens entwickeltes Programm direkt in das Informationssystem der Fluggesellschaften eingespeist. Der aktualisierte Flugplan wird anschließend vom Luftverkehrsmanagement angenommen und im Gesamtlagebild aktualisiert.

Ein Ergebnis der simulierten Krise: Die Fortschritte in der Vorhersage von Aschewolken in den letzten Jahren lassen dem Luftverkehrsmanagement mehr Raum zur Planung. Alle sechs Stunden werden Informationen zur Ausbreitung von Aschewolken aktualisiert, ähnlich wie Wetterinformationen. Das bedeutet, dass alle sechs Stunden ein aktuelles Informationspaket verfügbar ist. Dieses Informationspaket umfasst den Zustand der letzten sechs Stunden: den Ist-Zustand (T+0) und in sechsstündigen Schritten Vorhersagen für die nächsten 18 Stunden (T+6, T+12 und T+18). Die sechsstündigen Vorhersagen zeigen den Bereich, in dem sich Aschepartikel bewegen werden. Je größer die Aschewolken sind, desto weniger Luftraum bleibt dem Luftverkehr.

DAS PROJEKT VOLCATS

Sechs DLR-Institute erforschen im Projekt VolcATS (Volcanic ash impact on the Air Transport System) die Auswirkungen von Vulkanasche auf den Luftverkehr. Geleitet wird das im September 2016 endende Projekt vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre, das die Aschedaten bereitstellt. Das DLR-Institut für Flugführung untersucht Strategien, um die Auswirkungen auf den Flugverkehr zu minimieren.

Durch die verbesserten Aschevorhersagen lassen sich die No-Fly-Bereiche genauer eingrenzen. Dadurch vergrößern sich die für den Luftverkehr freigegebenen Bereiche und mehr Flüge können durchgeführt werden. In der erweiterten Simulationsumgebung zeigte sich zudem: Die Hauptursache für abgesagte Flüge liegt in der Aschebelastung der Flughäfen. Naturgemäß sinkt die vom Vulkan hochgeschleuderte Asche mit der Zeit nach unten. Wie eine Pyramide bedeckt sie am Boden den größten Bereich und wird nach oben kleiner. Bei sechsstündigen Vorhersagen bleibt der große Bereich am Boden für den gesamten Zeitraum gesperrt. Nur circa 20 Prozent der ausgefallenen Flüge gehen auf Probleme mit Aschewolken im Flug zurück. Die Wissenschaftler testen in den Simulationen unterschiedliche Möglichkeiten, um vor allem die Zahl der Flugausfälle wegen Beeinträchtigung der Flughäfen weiter zu verringern. Eine Forschungsfrage etwa lautet: Lässt sich die Zahl der Ausfälle am Flughafen reduzieren, wenn die Abflugzeit um mehrere Stunden verschoben wird?

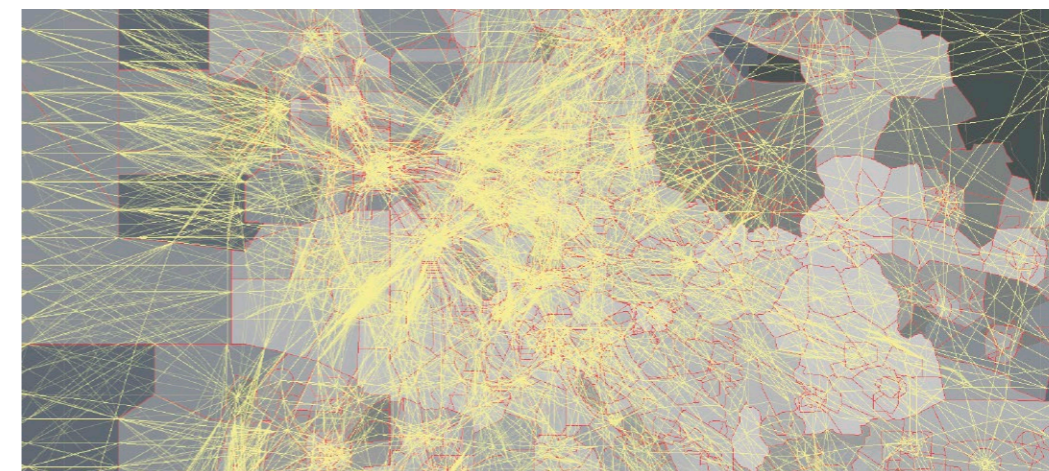
Die Simulationen beider Aschevorhersageszenarien zeigten, dass 30 bis 70 Prozent des normalen Verkehrsaufkommens von den Aschewolken betroffen sind. Am 17. April 2010 sind rund 5.000 Flüge durchgeführt worden, basierend auf den damaligen Vorhersagen und Regularien in Europa. Mit den heutigen Mitteln der Vorhersage ließen sich, selbst wenn man den schlimmsten Fall zugrunde legt, rund 1.900 Flüge mehr durchführen als 2010. Durch Planen der Ausweichrouten sind weitere 1.500 Flüge möglich. Ein Resultat, das hoffen lässt, dass bei zukünftigen Vulkanausbrüchen weniger Flüge gestrichen werden müssen. Simulationen am Institut für Flugführung zeigen Ursachen für Flugausfälle oder Verspätungen auf und ermöglichen die Entwicklung von Gegenmaßnahmen. Ziel ist es, so viele Flüge wie möglich durchzuführen und die Entscheidung, ob geflogen wird oder nicht, bestmöglich zu unterstützen.

Angela Schmitt ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Flugführung und in dem Braunschweiger DLR-Institut die Projektleiterin für VolcATS.



Derselbe Tag, oben mit und unten ohne Asche. Ausweichender Luftverkehr (gelb) und bestehende Sektorstruktur (rot) zusammen lassen überlastete Sektoren erkennen. Auch über den vorhergesagten Aschezonen ist das Fliegen möglich.

Software: AirTop, Luftverkehr basierend auf EUROCONTROL DDR Daten (unten)



Gemeinsame Entscheidung: Koordination der ausfallenden und geplanten Flüge zwischen den Fluggesellschaften. Im „Krisenzentrum“ kann der geplante Luftverkehr noch ein letztes Mal verhandelt und angepasst werden.



Simulation einer Aschekrise im Leitstandsmonitor ACCES im DLR Braunschweig. Auf der Großbildleinwand ist die Gesamtsituation immer präsent.



SICHER FLIEGEN, AUCH IM STÖRFALL

Neues Assistenzsystem für Piloten bestand den Test im Simulator.
Dr. Thomas Lombaerts entwickelte es. Das Magazin interviewte ihn.

Bild: DLR/Wolfgang Maria Weber



Zur Person

Dr. Thomas Lombaerts erforschte in Oberpfaffenhofen am DLR-Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik, wie sich Flugzeuge auch in schwierigen Situationen sicher steuern lassen. Dafür hat er in seiner Doktorarbeit und in nachfolgenden Projekten Assistenzsysteme entwickelt, die Piloten in unerwarteten Situationen unterstützen. Zurzeit arbeitet er wieder bei der NASA. Gemeinsam mit der NASA hatte er ein solches System bei Versuchen im Flugsimulator am Ames Research Center in Kalifornien erprobt. Die Verkehrsflotten im Test waren beeindruckt.

Herr Dr. Lombaerts, Sie befassen sich mit der Pilotenassistenz bei außergewöhnlichen Flugsituationen. Wie sicher können Piloten heute bereits ein Verkehrsflugzeug auch in außergewöhnlichen Situationen steuern?

■ Erst einmal ist zu sagen, dass wir im Flugverkehr einen enorm hohen Sicherheitsstandard erreicht haben und in den vergangenen Jahrzehnten Sicherheitslücken geschlossen wurden. Ein einfacher Ausfall eines Triebwerks beispielsweise, wenn er denn überhaupt stattfindet, wird Piloten heute kaum noch in größere Schwierigkeiten bringen. Dafür gibt es ein Routineprozedere, das Piloten regelmäßig im Simulator trainieren können. Für verschiedenste Störfälle in der Luft haben sich eingeübte Abläufe im Cockpit schon etabliert. Sie tragen entscheidend zum heutigen hohen Sicherheitsstandard bei. Mittlerweile ist es so, dass vor allem unvorhersehbare Ereignisse, so selten diese auch auftreten, zur größten Herausforderung für Piloten geworden sind. Verhält sich ein Flugzeug auf einmal nicht mehr so, wie es die Piloten gewohnt sind, oder wie sie es für verschiedenste Zwischenfälle trainiert haben, kann es passieren, dass sie an die Flugbereichsgrenzen ihrer Maschine stoßen.

Wie häufig kommt es denn vor, dass Piloten ein Verkehrsflugzeug plötzlich nicht mehr richtig steuern können?

■ Eine Untersuchung durch die ICAO, also die International Civil Aviation Organisation, und das Commercial Aviation Safety Team, kurz CAST, hat gezeigt, dass der Kontrollverlust während des Fluges seit der Jahrtausendwende die Hauptursache für schwere Unfälle in der Zivilluftfahrt ist. Die genannte Studie analysierte im Detail die Flugzeugunfälle zwischen 2002 und 2011. 23 Prozent aller Unfälle waren in diesem Zeitraum auf einen Kontrollverlust im Flug zurückzuführen, wobei in diesem Zusammenhang die meisten Todesopfer zu beklagen waren.

Was sind das für Umstände, unter denen ein Pilot sein Flugzeug plötzlich gar nicht oder nur noch schwer unter Kontrolle halten kann?

■ Es gibt vor allem drei Hauptursachen, die alle drei für sich oder auch in Kombination Piloten das Steuern erschweren können. Eine Ursache sind technische Defekte oder Fehlfunktionen von Systemen an Bord. Eine weitere sind extreme atmosphärische Einflüsse, wie starke und/oder unerwartete Turbulenzen sowie die Vereisung der Tragflächen. Und drittens kann die Fehlinterpretation des Flugzustands durch die Cockpitbesatzung zu Schwierigkeiten führen.

Das klingt recht abstrakt, können Sie ein Beispiel nennen?

■ Ja, den sogenannten „Bijlmermeer-Unfall“ im Jahr 1992. Damals verlor ein Frachtflugzeug vom Typ Boeing 747 kurz nach dem Abheben vom Amsterdamer Flughafen Schiphol beide Triebwerke der rechten Tragfläche. Die Ursache war Materialermüdung der Triebwerkauflagen. Die Cockpitbesatzung reagierte sofort und versuchte, das



Cockpit des Advanced Concepts Flight Simulator der NASA

Bild: NASA

Flugzeug zu wenden und zum Flughafen zurückzukehren. Bei diesem Versuch geriet die Maschine in einen Roll-Sturzflug bei niedriger Geschwindigkeit. Den konnten die Piloten nicht mehr abfangen und die Maschine stürzte in das Außenstadtviertel Bijlmermeer. Eine Untersuchung des Unfalls ergab, dass es theoretisch möglich gewesen wäre, den unkontrollierten Roll-Sturzflug zu verhindern.

Wie lässt sich der Kontrollverlust im Cockpit vermeiden, was hätte den Bijlmermeer-Piloten helfen können?

■ Wenn plötzlich Fehler auftreten, sollte ein Flugzeug für den Piloten möglichst im Bereich der physikalischen Möglichkeiten wie gewohnt fliegbar bleiben und nicht in gefährliche Flugzustände geraten. Dafür müssen Fehler und Unregelmäßigkeiten am Flugzeug mit entsprechender Sensorik erkannt und die daraus folgenden neuen Flugbereichsgrenzen schnell erfasst werden. Hat der Pilot diese Informationen, dann ist es technisch möglich, die Flugregelungsalgorithmen automatisch anzupassen. Das haben Forschungsarbeiten bereits gezeigt. Die Cockpitbesatzung sollte möglichst schnell und verlässlich im Bilde darüber sein, wie sich der eingeschränkte Flugbereich auswirkt. Dafür ist ein Assistenzsystem nötig.

Wie lässt sich denn das veränderte Flugverhalten einer Maschine ermitteln? Schließlich kann eine unerwartete Funktionsstörung im Flug die verschiedensten Ursachen haben. Berechnet man vorab die Aerodynamik eines Flugzeugs für verschiedene Szenarien, etwa den Flug ohne Klappe, mit defektem Leitwerk oder Ähnlichem?

■ Das ist eine spannende Frage und sie wird im Fachgebiet aktuell diskutiert. Es gibt zwei Forschungsstrategien. Einerseits verfolgen Wissenschaftler in der Tat den Weg, eine ganze Bibliothek von vorausgerechneten aerodynamischen Konfigurationen aufzubauen. Das kann helfen, aber damit kann man nicht alle unvorhersehbaren Schadensfälle abdecken. Deshalb sind wir anders herangegangen ...

... was machen Sie anders?

■ Wir haben den Fokus darauf gelegt, auf das Unvorhersehbare besser vorbereitet zu sein. Dazu berechnen unsere Computerprogramme entsprechend der jeweiligen Situation, wie sich die Aerodynamik bei dem

jeweiligen Schadensfall ändert. Wir tasten uns also im Fall eines Schadens nahezu in Echtzeit rechnerisch an die veränderte Aerodynamik und die neuen Flugbereichsgrenzen heran. Diverse Sensoren zur Bestimmung von Position, Lage, Beschleunigungen und Luftströmung liefern die nötigen Daten dafür.

Wie soll das funktionieren?

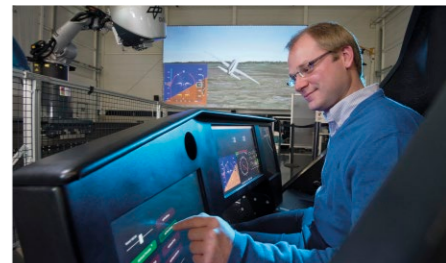
■ Sind beispielsweise Steuereinheiten am Heck oder an den Tragflächen ausgefallen, beschleunigt das Flugzeug anders, die mathematischen Modelle verallgemeinern dann das neue Verhalten des Flugzeugs rechnerisch und übersetzen dieses veränderte fliegerische Verhalten im Flugregler, der sich automatisch anpasst. Der Pilot wiederum kann dann mit ihm bekannten routinierten Steuereingaben kontrolliert weiterfliegen und ist nicht darauf angewiesen, zu improvisieren – mit ungewissem Ausgang.

Wie weit sind Sie bereits mit der Entwicklung eines solchen Assistenzsystems für Piloten? Welche Tests hat es bereits bestanden?

■ Im Projekt ADFLICO, was Adaptive Flight Control for Advanced Aircraft Concepts bedeutet, habe ich während eines zweieinhalbjährigen Forschungsaufenthalts am NASA Ames Research Center gearbeitet. Dort habe ich das Problem von eingeschränkten Flugbereichsgrenzen bei einem beschädigten Flugzeug erforscht und untersucht, wie sich diese veränderten Grenzen in Echtzeit bestimmen lassen. Vor Ort hatte ich die Möglichkeit, gemeinsam mit den NASA-Kollegen die neue Technik in ausführlichen Simulator-Experimenten mit Airline-Piloten zu testen.

Was genau haben Sie gemeinsam mit den NASA-Kollegen untersucht?

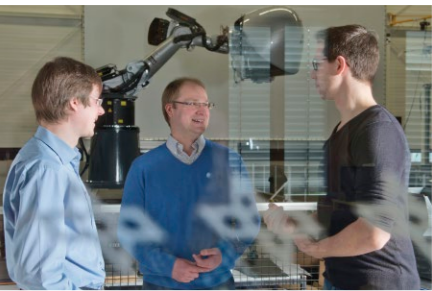
■ Mit 20 Piloten namhafter US-amerikanischer Airlines testeten wir vielfältige Ausnahme-Szenarien. Beispielsweise mussten sie im Simulator



unter Vereisungsbedingungen oder mit einem Defekt am Höhenleitwerk fliegen. Und das jeweils ohne und mit Assistenzsystem. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Piloten, nachdem sie sich erst einmal an das Assistenzsystem gewöhnt hatten, deutlich besser im sicheren Flugbereich blieben und gefährliche Kontrollverluste vermieden wurden ...

... die Piloten lesen dann einfach vom Bildschirm ab, was sie fliegerisch noch dürfen und was in einer Ausnahmesituation nicht mehr erlaubt ist?

▪ Genau. Die aktualisierten sicheren Flugbereichsgrenzen werden dem Piloten auf intuitive Weise mit gelben und roten Markierungen auf einem erweiterten primären Flugdatendisplay angezeigt. Ist die Information über den geänderten Flugbereich bekannt, kann diese auch für Vorwarnsysteme, die automatische Einhaltung des Flugbereichs durch den Flugregler oder für eine Optimierung der Flugbahn unter den neuen Bedingungen verwendet werden.



Wie war die Reaktion der Versuchspiloten auf das neue System?

▪ Durchweg positiv. Einer berichtete uns sogar, dass er selbst Zeuge instabiler Anflüge war, die zwar keine Menschenleben kosteten, aber Schäden am Flugzeug in Millionenhöhe verursachten. Auswertungen der Flugschreiber ergaben, dass die Piloten schon zu einer Zeit in

Schwierigkeiten geraten waren, wo sie dies noch gar nicht bemerkten. Dieser Pilot schätzte das neue System für das deutlich bessere Situationsbewusstsein, was letztlich Gefahren abwendet und teure Reparaturen vermeidet.

Eine Antwort auf die steigende technische Komplexität im Cockpit, die den Piloten viel Arbeit, aber auch Flugroutine abnimmt, ist es, Piloten wieder mehr manuell fliegen zu lassen. Wie passt Ihr neues Assistenzsystem mit dieser Tendenz zusammen?

▪ Beides schließt sich nicht gegenseitig aus, sondern ergänzt sich vielmehr. Mit dem neuen System sollen Piloten eine noch bessere Unterstützung in schwierigen Flugsituationen erhalten, die für sie

ungewöhnlich sind. In diesem Sinne kann man beide Entwicklungen als komplementär ansehen.

Was ist für ein einsatzbereites robustes Assistenzsystem noch an Forschungsarbeit notwendig?

▪ Neben der sehr schnellen Erfassung des sicheren Flugbereichs und der unterstützenden Anzeigen für den Piloten ist eine adaptive Flugsteuerung zu entwickeln. Diese soll die Steuereingaben des Piloten auf die Klappen schon während seiner Manöver anpassen, sodass ein beschädigtes Flugzeug die Grenze des Flugbereichs am besten nicht überschreitet, oder, falls doch, automatisch wieder in den sicheren Flugzustand überführt wird. Denkbar ist hier auch noch, die Steuerung im Cockpit mit einem mechanischen Gegendruck zu versehen, wodurch der Pilot die Grenzen des Fliegbaren direkt in der Steuerung spürt. Diese sogenannte haptische Rückkopplung wird zurzeit an der Technischen Universität Delft erforscht. Auch robustere Sensoren und Sensorfehlerdetektion sind wichtige weitere Forschungsthemen.



Und wann werden wir in ein Flugzeug mit dem neuen Flugregelsystem einsteigen können?

▪ Das kann leider noch eine Weile dauern. Wir wollen diese Technologie erstens noch weiter entwickeln und integrieren, weitere Simulatortests und letztendlich Flugversuche machen. In der Zwischenzeit muss auch die Industrie von den Neuerungen überzeugt werden. Und, wie immer in der Luftfahrt: Ohne ausführliche Zertifizierung durch die Luftfahrtbehörden kommt kein neues System in Passagierflugzeuge. Aber da hat unsere Methode auch einen wesentlichen Vorteil: Die Technologie basiert auf physikalischen Modellen, wodurch die Interpretation der Signale deutlich einfacher ist. Dies kann für die Zertifizierung förderlich sein.

Das Gespräch führte Fabian Locher.



Boeing 747 der amerikanischen Frachtfluggesellschaft Southern Air

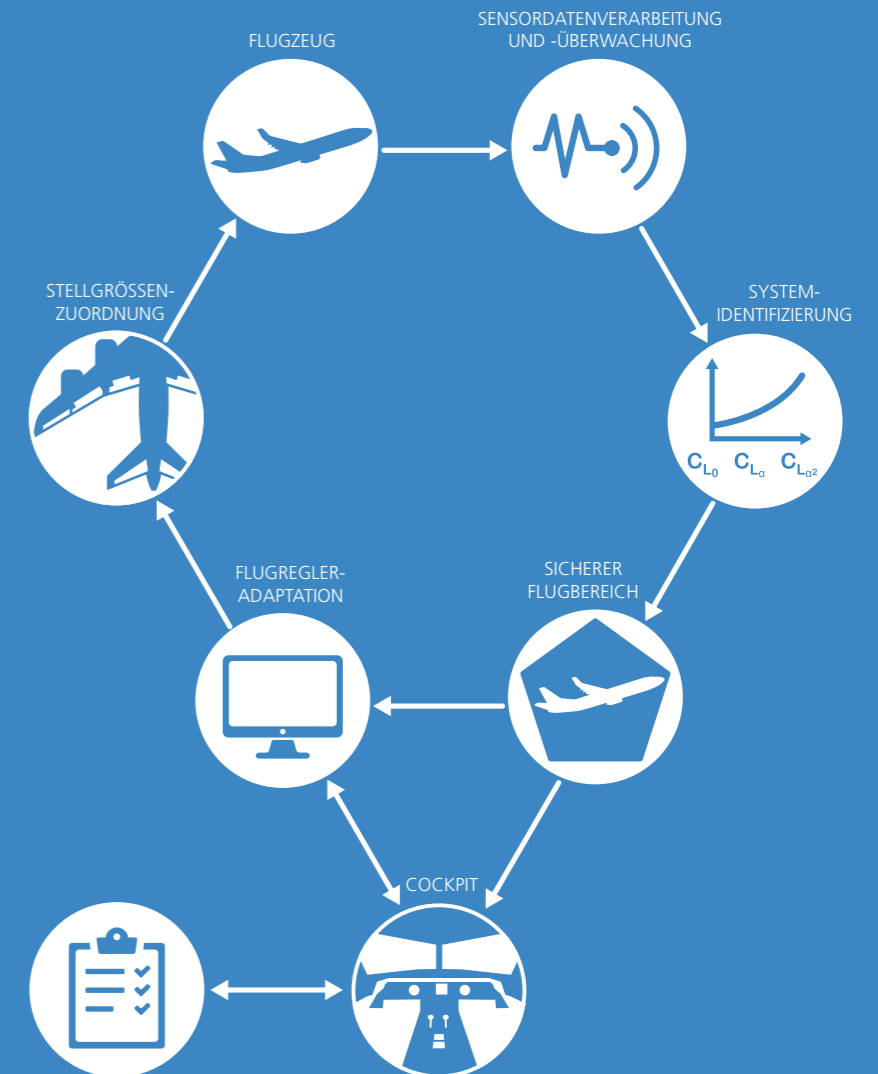
DAS PROJEKT ADFLICO

Im Projekt ADFLICO (Adaptive Flight Control for Advanced Aircraft Concepts) arbeitete Dr. Thomas Lombaerts vom DLR-Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik von April 2012 bis November 2014 gemeinsam mit Forschern des Ames Research Center der NASA. Ziel war die Erprobung eines neuen Assistenzsystems für Piloten, das eingeschränkte Flugbereichsgrenzen in Ausnahmesituationen anzeigt und damit hilft, auch bei unvorhersehbaren Störfällen weiter sicher zu fliegen. 20 Verkehrspiloten testeten das neue System im Flugsimulator in verschiedenen Ausnahmeszenarien. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Piloten mit dem Assistenzsystem besser

im sicheren Flugbereich blieben und gefährliche Kontrollverluste vermieden werden konnten. Die gemeinsamen Arbeiten von DLR und NASA im Projekt ADFLICO wurden finanziell unterstützt durch ein Marie Curie International Outgoing Fellowship (IOF) innerhalb des siebten Rahmenforschungsprogramms der Europäischen Union sowie durch das Vehicle Systems Safety Technologies (VSST) Projekt innerhalb des Aviation Safety Program der NASA. Im September 2015 wurde das DLR/NASA-Forschungsteam für seinen „Beitrag zur Förderung der Sicherheit in der Zivilluftfahrt“ mit einem „Group Achievement Award“ ausgezeichnet.

Die wichtigsten Technologiethemata im Bereich fehlertolerantes Fliegen

Sechs Aspekte sind zu betrachten: Zum einen die Sensordatenverarbeitung und -überwachung, sie liefert die Daten zu einer permanenten Systemidentifizierung. Mit ihr wird bestimmt, wie sich das Flugzeug aerodynamisch verhält. Daraus resultiert die Berechnung des sicheren Flugbereichs in Bezug auf Geschwindigkeit, Steig- oder Sinkrate und Lagewinkel. Im Cockpit soll dieser sichere Flugbereich möglichst intuitiv nachvollziehbar für die Piloten angezeigt werden. Eine adaptive Steuerung soll den Piloten die fliegerischen Grenzen auch gefühlt vermitteln. Diese verschiedenen Komponenten beeinflussen sich gegenseitig und bilden insgesamt das zu entwickelnde zukünftige fehlertolerante Flugregelungssystem.



CLEVERE LIST GEGEN NEBEL UND FINSTERNIS

Ein Radarsystem am Flugzeug verbessert das Verkehrsmanagement im Ereignisfall

Von Dr.-Ing. Stefan V. Baumgartner

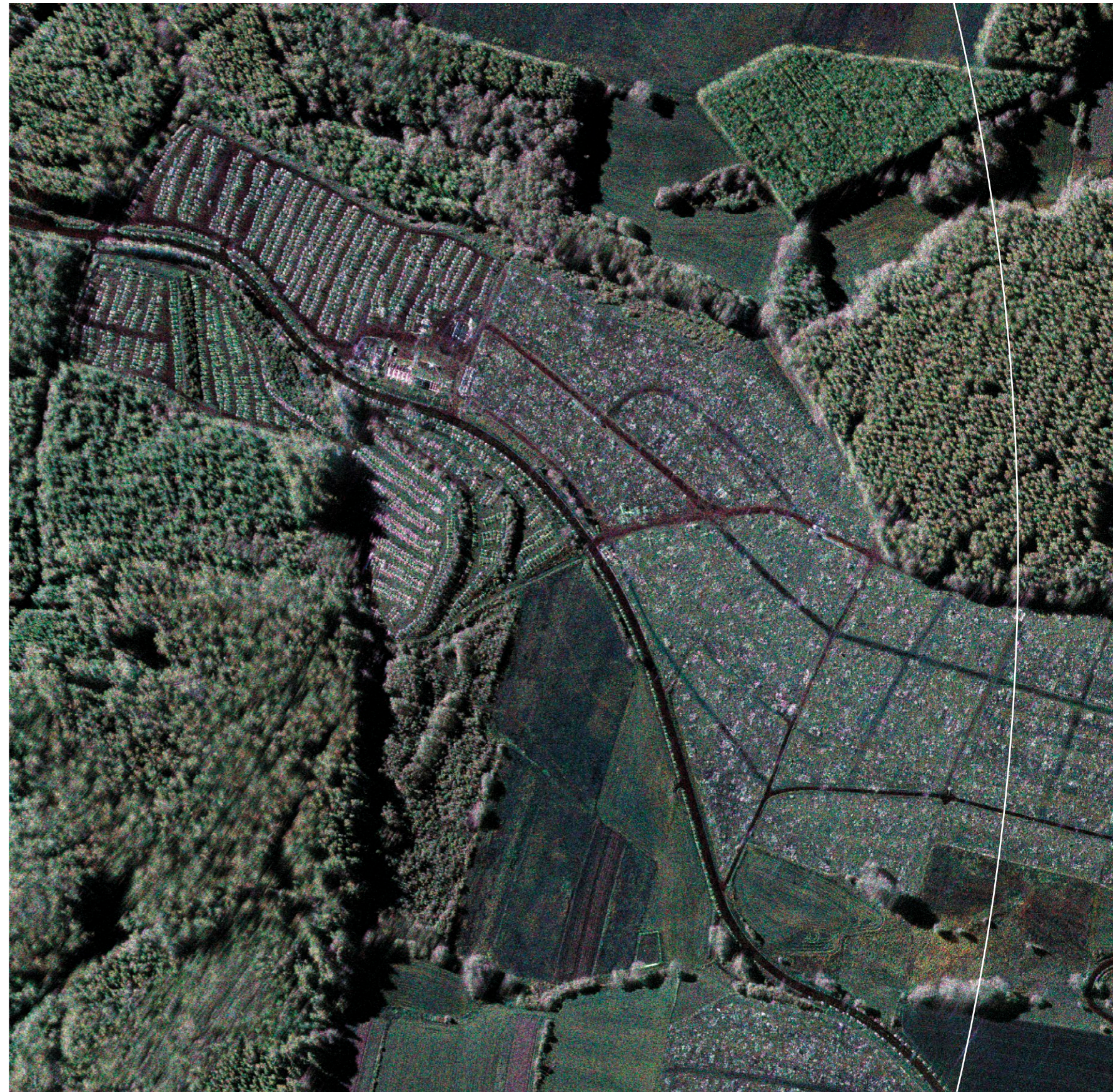
Dieser 14. Juni 2015 verdiente den Namen Sonntag nicht: Der Tiefdruckkomplex „Michel“ brachte Deutschland Gewitter mit Unwetterpotenzial. Bei einem Erdbeben im Hochschwarzwald wurde der Wanderweg Schluchtensteig versperrt. Die Lage war unklar, der Wanderweg am Wochenende stets gut besucht. Einsatzkräfte und ein Rettungshubschrauber suchten das Gelände am Abend ab. „Noch nicht alle Autos wurden von den Parkplätzen abgeholt, es kann sein, dass noch jemand unterwegs ist“, sagte ein Polizeisprecher.

In Fällen wie diesen sind aussagekräftige Verkehrslagebilder wichtig, auch wenn Nebel oder Dämmerung die Sicht erschweren. Am DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme in Oberpfaffenhofen wird zurzeit ein neues flugzeuggetragenes Radarsystem entwickelt. Das unter dem Namen V-SAR geführte System ist speziell für das Verkehrs- und Katastrophenmanagement ausgelegt. Sein Ziel: Verkehrsinformationen aus Radardaten ableiten – das möglichst in Echtzeit – und innerhalb weniger Minuten hochaufgelöste Radarbilder bereitstellen. Dabei werden die Daten direkt im Flugzeug verarbeitet. Die Bilder und die Informationen über die detektierten Fahrzeuge werden dann über einen Datenlink an den Boden übermittelt. Dort können sie weiterverarbeitet und über entsprechende Portale den Einsatzkräften zur Verfügung gestellt werden. Der Erstflug des Radarsystems ist für Ende 2016 geplant. Dann soll es auf einem der DLR-Forschungsflugzeuge, der Dornier Do 228 mit der Kennung D-CFFU, beweisen, was es kann.

Für die großflächige Verkehrs- und Infrastrukturbeobachtung aus der Luft eignen sich generell sowohl optische Kameras wie auch Radar sehr gut. Beide Sensor-Arten haben ihre Vor- und Nachteile: Während mit Kameras bei gutem Wetter und guter Sicht Fahrzeuge recht gut detektiert werden können, spielt Radar vor allem bei Dunkelheit und schlechten Wetterverhältnissen seine Stärken aus. Als sogenannter aktiver Sensor beleuchtet Radar die zu beobachtende Szene am Boden mit Mikrowellen. Das neue Verkehrsradar arbeitet dabei im X-Band mit einer Wellenlänge von knapp drei Zentimetern. Niederschläge, starke Bewölkung oder Nebel dämpfen die ausgesendeten Signale und die vom Boden und den Fahrzeugen reflektierten Echos kaum, sodass der Radarsensor unabhängig von der Tageszeit und den vorherrschenden Wetterverhältnissen eingesetzt werden kann.

Bilder von der Situation vor Ort

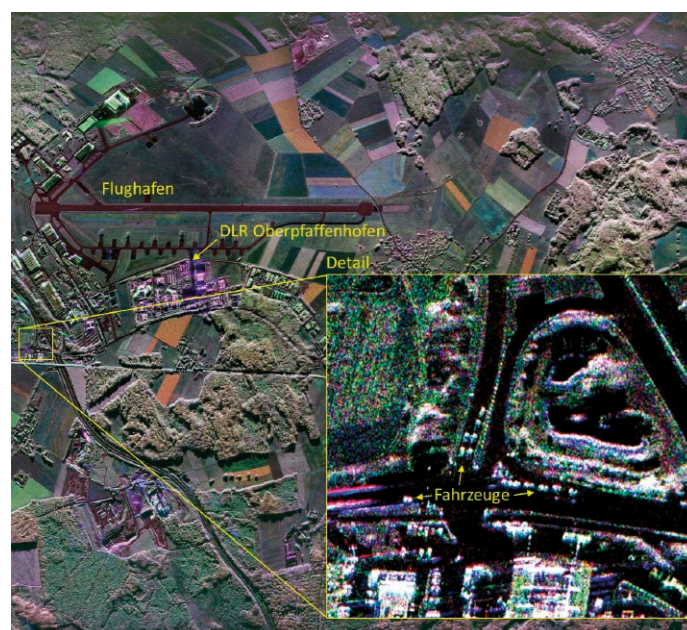
Das Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme beschäftigt sich bereits seit 2003 intensiv mit der Verkehrsbeobachtung mittels luft- und raumgestützten Radarsystemen. Es war in die DLR-Projekte TRAMRAD (Traffic Monitoring with Radar), ARGOS (Airborne Wide Area High Altitude Monitoring System) und VABENE (Verkehrsmanagement bei Großereignissen und Katastrophen) involviert. Nun entwickeln die Wissenschaftler im Rahmen von VABENE++ den neuen leistungsfähigen flugzeuggetragenen Radarsensor und die dazugehörigen Algorithmen, um die Verkehrsdaten



Vollpolarimetrisches Radarbild, das während des Open-Air-Festivals „Rock am Ring 2014“ in der Nähe des Nürburgrings aufgezeichnet wurde. Der etwa 800 mal 800 Meter große Ausschnitt zeigt ausgewiesene Park- und Campingflächen. Die Pixelgröße beträgt 20 Zentimeter, die Farben ergeben sich durch die unterschiedlichen Rückstreuungseigenschaften der Objekte in den verschiedenen Polarisierungen des Radarsignals. Im linken oberen Bereich des Bildes sind sehr gut die geparkten Fahrzeuge zu erkennen. Von der Bildmitte nach rechts unten verläuft der Campingbereich mit den Zelten.



Ergebnis einer Verkehrsbeobachtung mit zwei Empfangsantennen. Dargestellt ist ein Bereich der Autobahn A96 in der Nähe des Ammersees westlich von Oberpfaffenhofen. Die automatisch detektierten Fahrzeuge (farbige Dreiecke) sind einem optischen Google-Earth-Bild überlagert. Die gelben Rechtecke oben wie auch unten im Bild zeigen die räumlichen Abmessungen der Datenblöcke, die sukzessive vom Onboard-Prozessor verarbeitet werden. Die weißen Linien stellen die Straßenachsen der Autobahn A96 dar, die aus der frei zugänglichen OpenStreetMap-Datenbank extrahiert wurden.



Oberpfaffenhofen im Radarblick: Beispiel eines vollpolarimetrischen X-Band-Radarbildes. Es hat eine räumliche Auflösung von 25 mal 25 Zentimetern und wurde mit dem F-SAR-Sensor aufgenommen. Die Farben ergeben sich durch die unterschiedlichen Kombinationen der horizontal (H) und vertikal (V) polarisierten ausgesendeten und empfangenen elektromagnetischen Wellen (blau: VV-Polarisation; rot: HH-Polarisation; grün: HV-Polarisation). Der Detailausschnitt zeigt eine Straßenkreuzung mit mehreren stillstehenden Fahrzeugen, die auf die nächste Grünphase der Ampel warten.

zu extrahieren und die Bilder zu erzeugen. Die Leistungsfähigkeit von Radar für die großflächige Verkehrsbeobachtung aus der Luft konnte in den letzten Jahren schon demonstriert werden und auch die Datenübertragung vom Flugzeug zum Boden mittels kommerziellem Mikrowellenlink, handelsüblicher LTE-Mobilfunkverbindung (Long Term Evolution) und optischem Laserlink gelang.

Das neue Verkehrsradar kann im Betrieb auf der Do 228 pro Minute ein Gebiet von circa 5,4 mal 3 Quadratkilometern erfassen. Mit ihm sollen unterschiedliche Datenprodukte erzeugt werden, zum einen für das Katastrophenmanagement und zum anderen für das Verkehrsmanagement. Bei den Datenprodukten für den Katastrophenfall handelt es sich um hochaufgelöste vollpolarimetrische Radarbilder, bildgebend sind in diesem Fall also polarisierte elektromagnetische Wellen. Für das Katastrophenmanagement haben solche Bilder den Vorteil, dass sich mit hoher Genauigkeit sogenannte Überschwemmungsmasken ableiten lassen und Infrastrukturschäden erkannt werden können, wie beispielsweise zerstörte oder von Muren verschüttete Straßen. Auch lassen sich Freiflächen- und Parkplatzbelegungen ermitteln. Die räumliche Auflösung wird bei dem neuen Verkehrsradar besser als 25 mal 25 Zentimeter sein.

Damit so hohe Auflösungen erreicht werden können, nutzen die Wissenschaftler das Prinzip der Apertur-Synthese. Dabei wird durch die seitwärtsblickende Radarantenne eine sehr lange Antenne simuliert, mit der sich unabhängig von der Entfernung eine hohe räumliche Auflösung erzielen lässt. Für die Auflösung spielt es also keine Rolle, ob der Radarsensor in einer Höhe von drei Kilometern über Grund fliegt (das ist die typische Einsatzhöhe der Do 228) oder ob er beispielsweise in kompakterer Form auf einer Stratosphärenplattform mit 20 Kilometer Flughöhe zum Einsatz kommt. Die seitwärtsblickende Antenne bietet durch die Schrägsicht auch den Vorteil, dass Katastrophengebiete oder sonstige Gefahrengebiete nicht direkt überflogen werden müssen, sondern je nach Flughöhe in einem seitlichen Abstand von mehreren hundert Metern bis zu einigen Kilometern geflogen werden kann.

Bei der Datenverarbeitung im Flugzeug besteht auch die Möglichkeit, die Auflösung zu Gunsten einer schnelleren Verarbeitungszeit zu verändern. So kann zum Beispiel ein erstes Übersichtsbild mit einer Auflösung von 50 mal 50 Zentimetern bereits nach wenigen Minuten zur weiteren Auswertung an den Boden übermittelt werden, für ein detaillierteres Bild mit 25 mal 25 Zentimeter Auflösung muss man dann eine etwas längere Verarbeitungszeit einplanen.

Informationen über den fließenden Verkehr

Die zweite mit dem neuen Radarsystem erzeugte Produktart sind Verkehrsdaten. Obwohl mit Radar prinzipiell Bewegungen direkt anhand der Doppler-Frequenz sehr gut gemessen werden können, stellt gerade die Detektion von Fahrzeugen und die genaue Schätzung der Bewegungsparameter und geografischen Positionen eine große Herausforderung dar. Sich bewegende Fahrzeuge erscheinen in einem Radarbild nämlich aufgrund einer durch die Fahrtgeschwindigkeit zusätzlich verursachten Doppler-Frequenz-Verschiebung nicht auf den Straßen, sondern je nach Geschwindigkeit bis zu mehrere hundert Meter abseits davon. Die oft sehr schwachen Fahrzeugsignale werden zudem von den meist viel stärkeren Signalen der stillstehenden Umgebung überlagert. Damit die Fahrzeuge dennoch detektiert werden können, müssen die unerwünschten Signale der stillstehenden Umgebung, der sogenannte Clutter, effektiv unterdrückt werden. Um dies zu bewerkstelligen, ist zumindest eine zweite Empfangsantenne notwendig, die in Flugrichtung versetzt von der ersten angeordnet ist.

Beide Empfangsantennen sehen dann von derselben räumlichen Position dasselbe Gebiet am Boden zu leicht unterschiedlichen Zeitpunkten. Während dieser Zeitdifferenz verändert sich der Clutter im Allgemeinen nicht, sodass er durch geeignete Signalverarbeitungsmethoden unterdrückt werden kann. Im einfachsten Fall kann dies durch eine simple Subtraktion der von den beiden Antennen empfangenen Signale erfolgen. Wenn nur zwei Empfangsantennen zur Verfügung stehen, ist jedoch für eine genaue Positionsbestimmung der detektierten Fahrzeuge zusätzlich eine Straßendatenbank notwendig.

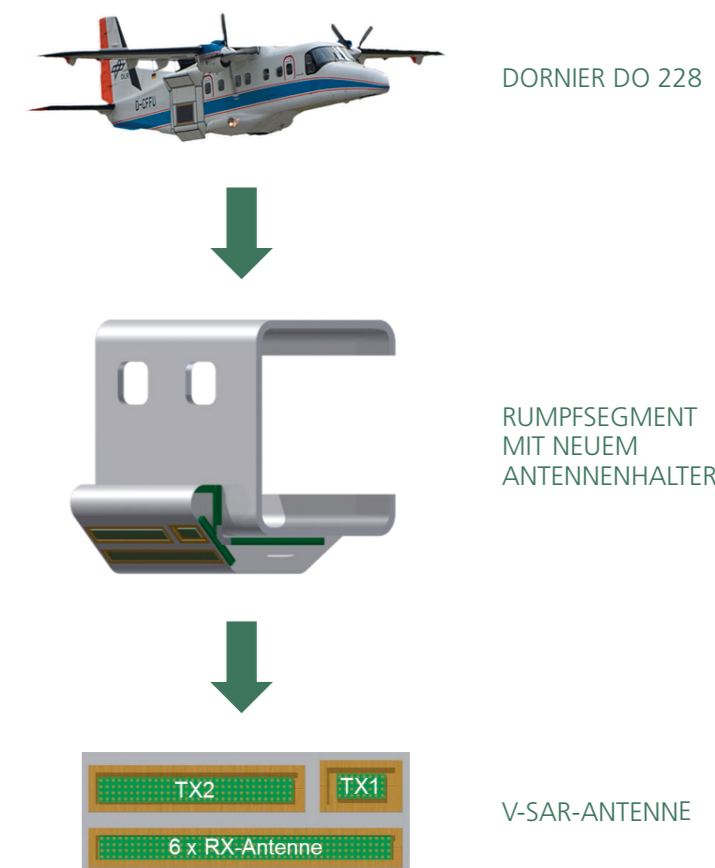


Ergebnis einer Verkehrsbeobachtung mit F-SAR und zwei Empfangsantennen. Dargestellt ist das Gebiet um Bernau am Chiemsee mit der Autobahn A8 rechts im Bild. Das optische Google-Earth-Bild ist mit einem etwa fünf mal drei Quadratkilometer großen, georeferenzierten Radarbild überlagert. Die automatisch detektierten Fahrzeuge sind als farbige Dreiecke dargestellt. Der Benutzer kann in Google Earth die Dreiecke anklicken, um sich weitere Informationen über die erfassten Fahrzeuge anzeigen zu lassen. Die weißen Linien sind die bei der Verarbeitung berücksichtigten Straßenachsen, die aus der frei zugänglichen OpenStreetMap-Datenbank extrahiert wurden.

Ein Problem beim Einsatz von nur zwei Empfangsantennen ist, dass die räumliche Richtung, aus der ein Signal kommt, nicht genau bestimmt werden kann. Das kann zu sogenannten Falschdetektionen führen. Um die Anzahl dieser Falschdetektionen deutlich zu verringern, sind mindestens drei Empfangsantennen nötig. Weitere Antennen verbessern die Leistungsfähigkeit noch. Die DLR-Forscher arbeiten für die Fahrzeugdetektion mit insgesamt sechs Empfangsantennen und zwei verschiedenen Sendeantennen. Deren Signale werden simultan mit Datenraten von bis zu 250 Megabyte pro Sekunde von jeder Empfangsantenne aufgezeichnet und direkt im Flugzeug durch den Prozessor an Bord verarbeitet. Durch die große Anzahl der Empfangsantennen werden sich die Fahrzeugdetektion und die Messgenauigkeit der Bewegungsparameter im Vergleich zu bisherigen Systemen erheblich verbessern. Fahrzeugpositionen können dann auch ohne Zuhilfenahme einer Straßendatenbank sehr genau festgestellt werden.

Das neue Radarsystem wird ein recht flexibles System sein. Es kann auch sehr gut für die Forschung an neuen Techniken und Algorithmen verwendet werden. Das fertige System wird – ohne Antenne – etwa 150 Kilogramm wiegen. Es kann somit nicht nur in der Do 228, sondern auch in kleineren Flugzeugtypen, wie beispielsweise einer Cessna, eingesetzt werden. Für einen Einsatz in kleinen UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) wird es freilich noch zu schwer und zu groß sein. Die DLR-Wissenschaftler sehen es jedoch als wichtigen und notwendigen Zwischenschritt zu einem verkleinerten, kostengünstigen und leistungsfähigen Kompaktradarssystem an. Sie denken bereits an die nächste Generation von Radarsystemen, mit einer Gewichtsklasse zwischen fünf und 15 Kilogramm und mit einem geringen Bedarf an elektrischer Leistung. Diese Radargeneration kann dann tatsächlich auf Plattformen eingesetzt werden, die nur eine geringe Nutzlast erlauben und nur geringe elektrische Leistung zur Verfügung stellen können. Solche Plattformen sind zum Beispiel solarbetriebene „High Altitude Pseudo-Satellites“ (HAPS), die sich in der Stratosphäre in knapp 20 Kilometer Höhe bewegen und eine Einsatzdauer von mehreren Tagen bis Wochen haben.

Stefan V. Baumgartner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme im DLR Oberpfaffenhofen.



Befestigung der V-SAR-Empfangs- und Sendeantennen am Flugzeugrumpfsegment der Do 228. Die Antenne TX1 dient der polarimetrischen Bildaufzeichnung und wird auch für den Empfang genutzt, die Sendeantenne TX2 und die 6 Empfangsantennen RX dienen ausschließlich der Verkehrsdatenextraktion.

LEISER AN DER BAHNSTRECKE

Wie sich ein Konzept zur Lärminderung im Flugverkehr auf die Schiene übertragen lässt

Von Vera Koopmann und Tilo Schumann

Die Bahn gilt als das umweltfreundlichste motorisierte Verkehrsmittel. Bei den Schadstoffemissionen hat sie gegenüber Auto und Flugzeug die Nase vorn. Bei den Lärmemissionen nicht. Lärm verursacht Schlafstörungen und kann zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen und einem erhöhten Herzinfarktrisiko führen. Insbesondere der Güterverkehr, der oft nachts abgewickelt wird, stellt eine enorme Belastung für die Bevölkerung dar. Das Projekt IbO:LES zeigt einen Ausweg aus der Misere. Er liegt in einer vorausschauenden Fahrweise. Dahinter verbirgt sich eine „Integrierte betriebliche Optimierung: Lärm, Energie, Stabilität“. Diese kann durchaus sehr weit im Voraus stattfinden. Selbst wenn der Grund für die Geschwindigkeitsreduzierung noch kilometerweit entfernt ist, der Zug fährt dort langsamer, wo Anwohner bis dato starkem Bahnlärm ausgesetzt sind.

HINTERGRUND

Jeder fünfte Bürger Deutschlands wohnt an einem Schienenweg und der Güterverkehr nimmt weiter zu. Die Bundesregierung hat gemeinsam mit der Deutschen Bahn AG beschlossen, den Schienenverkehrslärm bis 2020 zu halbieren. Dazu sollen Güterwagen auf Flüsterbremsen umgerüstet und Lärmschutzmaßnahmen für hochbelastete Strecken ergriffen werden. Doch die enormen Kosten dafür verschlechtern die Wettbewerbsposition der Bahn gegenüber dem Straßenverkehr, was wiederum einer schnellen Umrüstung auf leise Technologien im Wege steht. Die Güterverkehrskunden werden kaum bereit sein, für reduzierte Schallemissionen höhere Transportpreise zu zahlen. Indem der sogenannte Schienenbonus abgeschafft wurde, der bisher um fünf Dezibel höhere Lärmgrenzwerte gegenüber dem Straßenverkehr gewährte, ist die Güterverkehrsbranche nun gefordert, die Minderung von Schallemissionen weiter aktiv voranzutreiben.

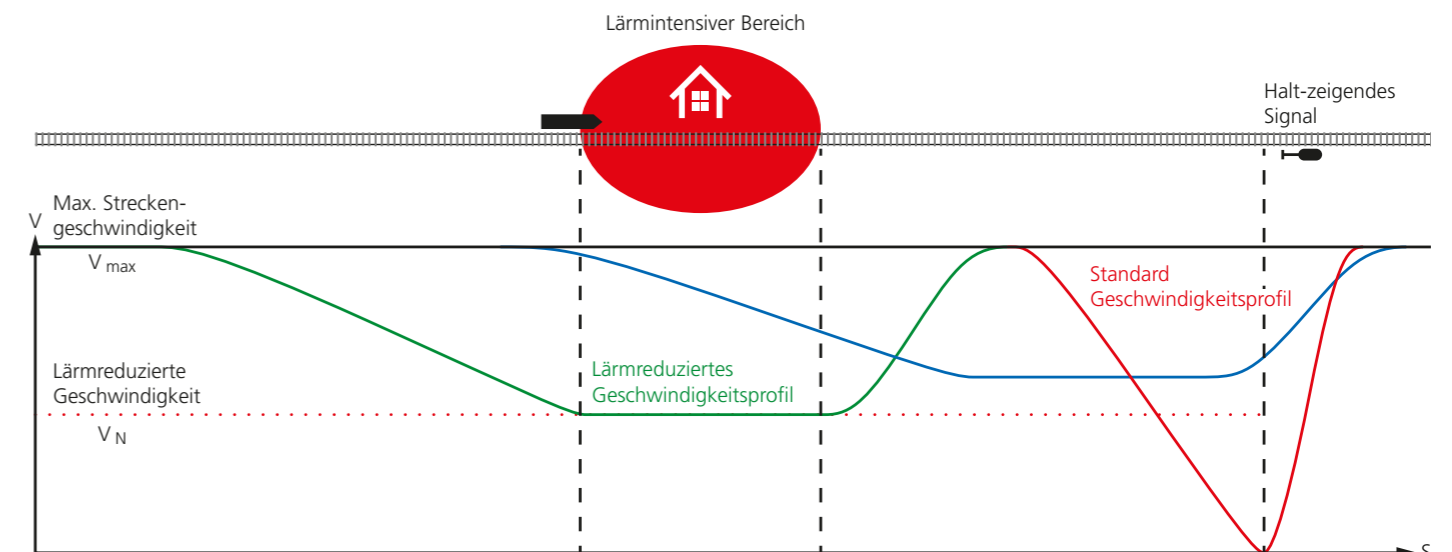
Zwischen dem Bedürfnis der Anwohner nach einem Schutz vor Lärmbelastung, der Geschwindigkeit beim Umrüsten der Waggons und der Wirtschaftlichkeit sowie Betriebsfähigkeit des Schienengüterverkehrs besteht ein großes Spannungsverhältnis. Um diese Konflikte zu lösen, nutzt das DLR seine interdisziplinären Kompetenzen. Wissenschaftler des Instituts für Verkehrssystemtechnik, des Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik, des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin und des Instituts für Physik der Atmosphäre arbeiten in dem Projekt Verkehrsentwicklung und Umwelt (VEU) an neuen Konzepten gegen den Lärm.

Großes Potenzial sehen die Forscher zum Beispiel im Akustikdesign für neue Wagen. In einer sogenannten Sound Machine können einzelne Geräuschkomponenten gezielt beeinflusst werden. Probanden sind so in der Lage, ein Geräusch bei gleicher Lautstärke so zu verändern, dass sie es als angenehmer empfinden. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Bremssysteme, Schienen oder Drehgestelle in der gefühlten Lautstärke vergleichen. Die Ergebnisse fließen in die technische Entwicklung ein.

Eine weitere Möglichkeit, den Schienenlärm zu reduzieren, besteht in einem stabileren Betrieb und in einer effizienteren Fahrweise im Störfall: Fahrerassistenzsysteme geben dem Lokführer Geschwindigkeitsempfehlungen, um Halte vor Signalen zu vermeiden und die Geschwindigkeit schon im Vorfeld zu reduzieren. Die Fahrt wird energieeffizienter und Pufferzeiten im Fahrplan werden genutzt, um langsamer zu fahren und somit den Bedarf an Traktionsenergie zu minimieren.

In Bezug auf die Lärminderung werden jedoch hauptsächlich Fahrverbote für bestimmte Zeiten oder Geschwindigkeitsreduzierungen diskutiert. Das wäre zumindest kostengünstig und schnell umsetzbar. Doch auch hierbei würden die mittel- und langfristigen Folgen für das System Bahn ausgeblendet werden. Im Wettbewerb mit anderen Verkehrsträgern würde der Schienengüterverkehr enorm an Attraktivität verlieren. Die Transportkosten steigen und aufeinander abgestimmte Logistikketten brechen weg. Ein langsamerer Schienengüterverkehr beeinflusst auch den Personenverkehr: Fahrzeitverlängerungen oder sogar Angebotskürzungen wären die Folge. Das belegt eine Studie, die das Institut für Verkehrssystemtechnik 2013 durchgeführt hat.

Eine Geschwindigkeitsreduktion für Güterzüge sorgt auch in der deutschen Politik für geteilte Meinungen. Die betroffenen Länder fordern sofortige betriebsbeschränkende Maßnahmen. Das Bundesverkehrsministerium will hingegen im Jahr 2016 keine Geschwindigkeitsbeschränkungen anordnen. Und auch die EU-Kommission stellt die Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs vor den Lärmschutz. Eine ähnliche Konstellation ist DLR-Forschern aus dem Luftverkehr bekannt: Vor mehr als zehn Jahren wurden dort verkehrspolitische Lärminderungskonzepte gefordert, da eine technische Lärminderung an der Quelle von der Entwicklung bis zur Markteinführung und -durchdringung zu viel Zeit benötigt. Das DLR entwickelte daraufhin ein lärmreduziertes Anflugverkehrsmanagement. Es besteht aus einem leiseren Anflugverfahren und entsprechend geänderten Flugrouten. Ziel war es, dabei die Luftraum- und Landebahnkapazität bestmöglich auszunutzen – bei größtmöglicher Sicherheit und Umweltverträglichkeit.



Beim IbO:LES-Ansatz wird weit vorausschauend gefahren, um die Geschwindigkeitsreduktion in lärmsensible Bereiche zu verschieben

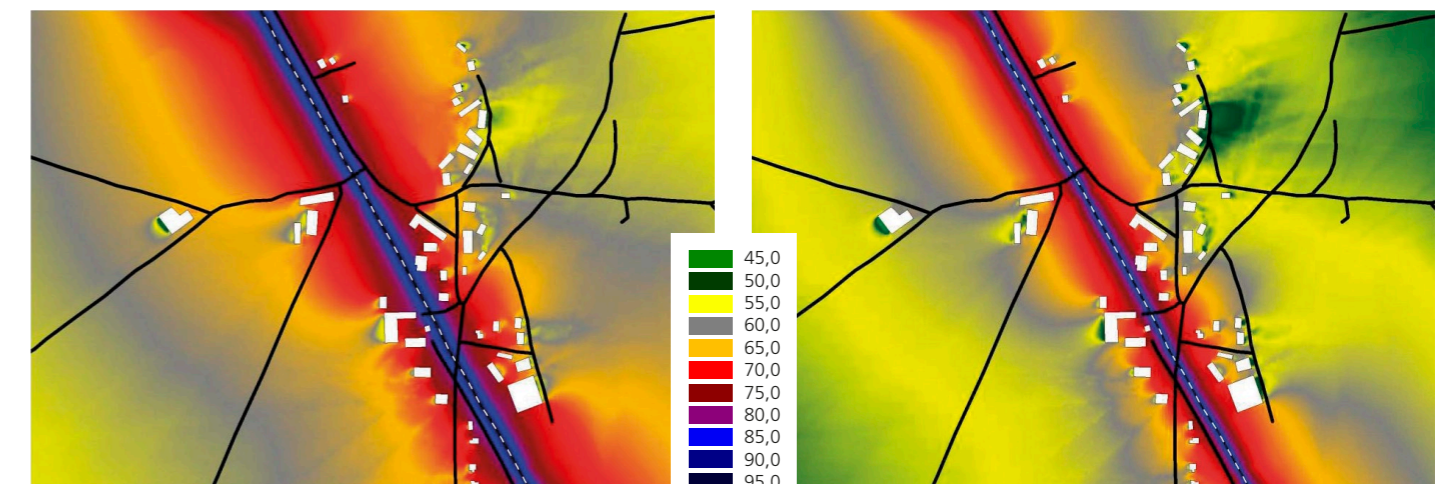
Dieses erfolgreiche Konzept haben die DLR-Forscher nun vom Flugverkehr auf die Schiene übertragen. Die Idee dahinter ist so einfach wie effektiv: Der Güterzug erfährt durch ein technisches System, wann er seine Geschwindigkeit reduzieren muss, um nicht hinter einem anderen Zug, der die Strecke blockiert, warten zu müssen. Das ist erst einmal gut und energieeffizient, da der Güterzug den Hinweis bekommt, seine Geschwindigkeit langsam zu drosseln, statt später auf der Strecke stehen zu bleiben. Der Clou an der Sache: Der Güterzug drosselt seine Geschwindigkeit nicht irgendwo, sondern genau dort, wo es für die Lärminderung sinnvoll ist – in anliegenden Ortschaften. So reduziert sich der Lärm für die Anwohner, der Zug fährt energieeffizient und der Bahnbetrieb bleibt stabil, da lange Wartezeiten gar nicht erst entstehen. Anders als bei generellen Geschwindigkeitsreduzierungen wird nur zu Gunsten einer Lärmreduzierung in den Betrieb eingegriffen, wenn dies ohne negative Auswirkungen auf Kapazität und Stabilität möglich ist. IbO:LES nannten die Wissenschaftler das Projekt: Integrierte betriebliche Optimierung: Lärm, Energie, Stabilität.

Das Geschwindigkeitsprofil wird darüber hinaus so berechnet, dass der Zug am Signal wieder die volle Streckengeschwindigkeit erreicht hat. So lassen sich mehrere Vorteile vereinen: Durch die reduzierte Geschwindigkeit in Ortschaften wird die Lärmbelastung für die Anwohner vermindert.

Ein Halt vor dem Signal wird vermieden und durch die vorausschauende Fahrweise sinkt der Energiebedarf. Dabei räumt der Zug den aktuell belegten Block so schnell wie möglich, was sich wiederum positiv auf die Betriebsstabilität auswirkt. Die Machbarkeitsstudie der DLR-Wissenschaftler belegt Erstaunliches: Wenn beispielsweise zwei Züge nacheinander auf das gleiche Gleis fahren sollen, was einen Halt für einen der Züge bedeuten würde, und dank der speziell angepassten Fahrweise mit IbO:LES der Halt für den zweiten Zug vermieden wird, kann der Energiebedarf um etwa 15 Prozent reduziert werden. Der Lärmpegel in der anliegenden Ortschaft verringert sich um drei Dezibel. Zudem reduziert sich der Maximalpegel der Schallausbreitung deutlich.

Welches Potenzial dieser Ansatz für das gesamte deutsche Streckennetz hätte, daran wird jetzt weiter geforscht. Der nächste Schritt ist eine automatisierte Berechnung der dynamischen Geschwindigkeitsprofile, um zum Beispiel Fahrerassistenzsysteme einzubinden.

Vera Koopmann ist im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik unter anderem mit Öffentlichkeitsarbeit betraut, Tilo Schumann erarbeitet im Rahmen des DLR-Projekts Verkehrsentwicklung und Umwelt Lösungen für eine bahnbetriebliche Lärminderung.



Maximalpegel bei Standardfahrweise: Der Güterzug durchfährt eine Ortschaft mit einer planmäßigen Höchstgeschwindigkeit von 100 Kilometern pro Stunde; dementsprechend hohe Schallpegel gibt es an der streckennahen Bebauung. (Quelle: Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik)

Maximalpegel bei Anwendung von IbO:LES: Die Geschwindigkeitsreduktion des Güterzugs (50 Kilometer pro Stunde) wird gezielt in den Bereich der Ortschaft gelegt; infolgedessen reduzieren sich die Lärmpegel deutlich. (Quelle: Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik)

318 METER FÜR EXKLUSIVE STRÖMUNGSTESTS

Die Deutsch-Niederländischen Windkanäle (DNW) sind die wichtigste Organisation für Windkanalmessungen in Europa. Ihr Prunkstück steht in den Niederlanden und gilt als eines der besten Großforschungsgeräte der Welt – in ihm kann sogar eine Landebahn simuliert werden ...

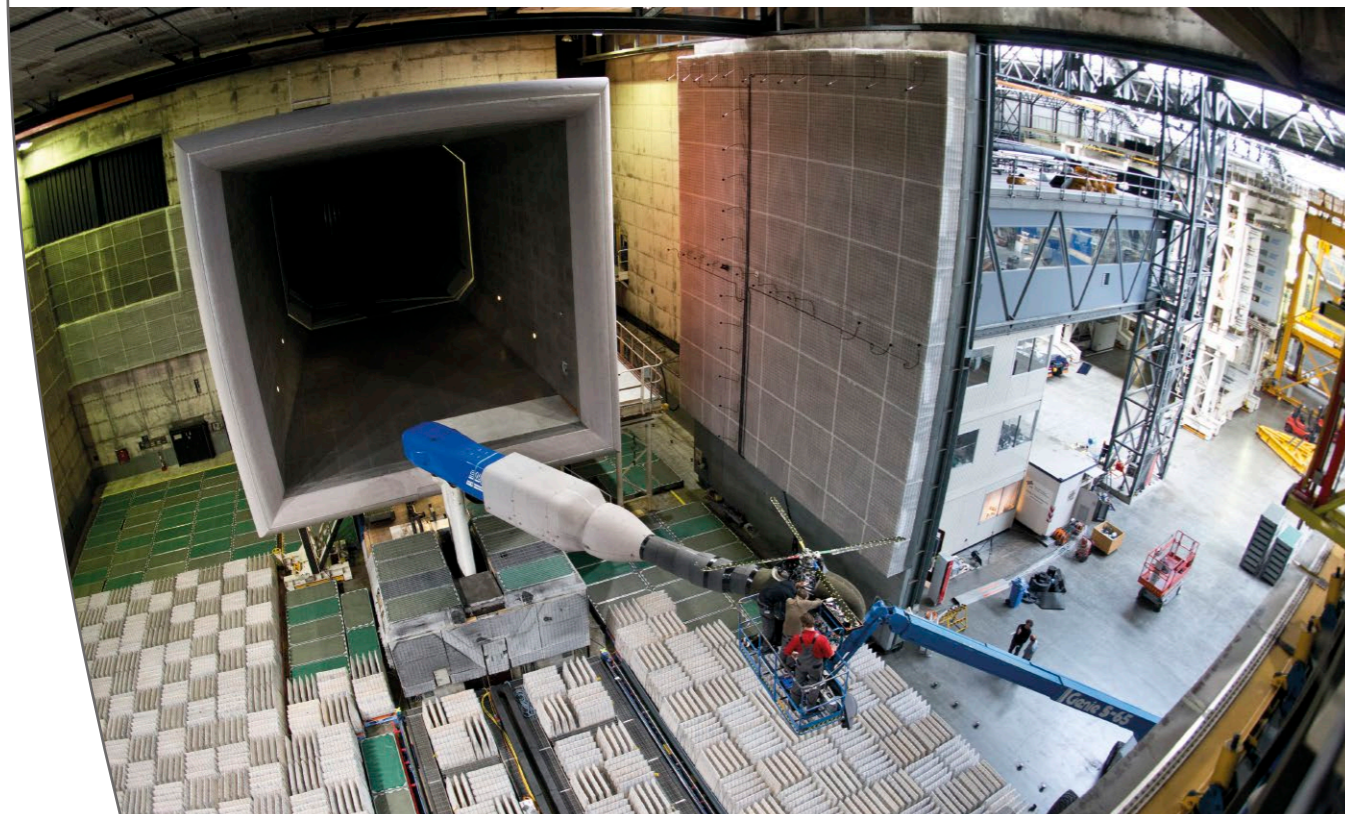
Teil 9 der Serie „Die Windmaschinen“

Von Jens Wucherpfennig

Die DNW sind aus den beiden nationalen Luftfahrtforschungseinrichtungen Deutschlands und der Niederlande entstanden – dem DLR und dem NLR. 1975 beschlossen beide Einrichtungen, gemeinsam das Projekt eines neuen Windkanals gewaltigen Ausmaßes umzusetzen. Dafür wurde eigens eine Tochtergesellschaft unter holländischem Recht für den Betrieb gegründet. Das war die Geburtsstunde des DNW-LLF (Large Low-speed Facility). Im Laufe der Zeit ist eine ganze Reihe weiterer großer Windkanäle hinzugekommen, die unter dem Dach der DNW vereint sind.

1980 wurde der Große Niedergeschwindigkeitswindkanal in Marknesse fertiggestellt. 1981 fanden die ersten Tests an einem Airbus-Modell statt. „Sämtliche Modelle der Airbus-Flotte sind hier untersucht worden“, sagt Professor Georg Eitelberg, Managing Director der DNW, „und darauf sind wir auch stolz.“ Der LLF ist strategischer Bestandteil der europäischen Forschungsinfrastruktur für Luftfahrt.

Doch auch international hat der LLF einen guten Ruf. So wurden hier Modelle aller großen Flugzeugproduzenten der Welt untersucht. Dazu zählen EMBRAER aus Brasilien, COMAC aus China, Dassault aus Frankreich und sogar Boeing aus den USA. Letzterer ist besonders erstaunlich, denn aufgrund der Konkurrenz von Airbus und Boeing werden Testeinrichtungen normalerweise nicht gemeinsam genutzt. Dennoch haben die Amerikaner in dem europäischen Windkanal sogar Tests am teuersten und umfangreichsten Rüstungsprogramm der Welt durchgeführt – am sogenannten Joint Strike Fighter F-35. Das erste in Serie gefertigte Tarnkappen-Mehrzweckkampfflugzeug soll in den kommenden Jahrzehnten das Rückgrat der Luftwaffen der USA und mehrerer Nato-Partner bilden.



Größe ist relativ: Obwohl die meisten Objekte nur als Modell in den Windkanal kommen, sind sie doch so groß, dass sie, wie dieses Hubschraubermodell in sieben Meter Höhe, nur per Kran erreicht werden können. Im Vergleich zu den gewaltigen Dimensionen des Windkanals allerdings erscheint das Modell winzig.

Bild: DNW



2014 wurden im DNW-LLF die Propeller des APIAN-Modells (Advanced Propulsion Integration Aerodynamics and Noise) vermessen

Laut Eitelberg haben einige besondere Stärken des LLF die Amerikaner überzeugt: Die Steuerungs- und Messtechnik sowie die Spezialität, dass im LLF so wie nirgendwo sonst Start und Landung von Flugzeugen untersucht werden können. Für die F-35 spielt dieser Bereich eine besonders kritische Rolle: Eine Variante ist als Senkrechtstarter vorgesehen, was besondere Anforderungen an die Aerodynamik stellt. Für die Untersuchungen wurde ein 1,5 Meter großes Modell – „das kleinste, das wir je untersucht haben“, so Eitelberg – im Windkanal mit laufendem Triebwerk getestet. Militärische Projekte wie die F-35 sind allerdings die Ausnahme. Den weitaus größten Teil aller Untersuchungen im Großen Niedergeschwindigkeitswindkanal nehmen zivile Projekte ein.

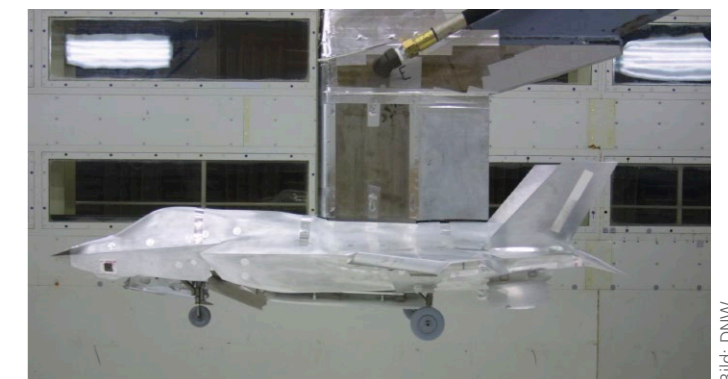
Trotz der gewaltigen Ausmaße des LLF werden hier keine Flugzeuge in Originalgröße getestet. Die größte Messstrecke ist 9,5 mal 9,5 Meter groß und 20 Meter lang. Dafür ist ein Windkanal mit einer Länge von 318 Metern notwendig. Wollte man die Messstrecke noch größer haben, würden die Kosten wegen der Ausmaße eines entsprechenden Windkanals ins Astronomische wachsen.

Das größte Objekt, das je in dem Windkanal in den Niederlanden untersucht worden ist, war ein Original-Flügel eines Airbus 320. – Gewöhnlich werden Flugzeugmodelle im verkleinerten Maßstab erforscht. Im LLF könnten kleine Zivil-Flugzeuge zwar auch in Originalgröße getestet werden. Doch es ist wenig nützlich, bereits fliegende Flugzeuge zu untersuchen. Außerdem müssten sie für den Versuch mit aufwändiger Messtechnik ausgestattet werden, was erhebliche Kosten verursacht. Ein Modell in Originalgröße wäre laut Eitelberg teurer als das Flugzeug und darum ebenfalls keine Alternative. Windkanalmodelle sind nämlich nicht einfach verkleinerte Versionen des Originals, sondern an die Ansprüche der Forscher angepasste Sonderanfertigungen voller Sensoren und Messtechnik.

Auch die Untersuchung im LLF ist teuer. Eine Woche ist ab 250.000 Euro zu haben. Es ist klar, dass bei solchen Summen die Hauptkunden, die vom Betreiber, den DNW, akquiriert werden müssen, aus der Luftfahrtindustrie stammen. Allerdings gibt es auch europäische Forschungsprogramme, die es Forschungsinstitutionen ermöglichen, Untersuchungen gemeinsam mit der Industrie im LLF durchzuführen.

Neben der Luftfahrtforschung, die den Großteil der Tests ausmacht, gibt es auch Untersuchungen für andere Bereiche wie die Energie- und Verkehrsforschung. „Viele Lkw-Hersteller lassen ihre Fahrzeuge hier testen“, sagt Eitelberg. Zwar haben Automobilhersteller eigene Windkanäle, in denen auch die Untersuchungen an verkleinerten Modellen laufen. „Aber nur bei uns kann ein Sattelschlepper in Originalgröße getestet werden“, so Eitelberg. Und auch Hersteller von Windkraftanlagen nehmen die Test-Einrichtung in Anspruch – sie testen Windräder sogar im rotierenden Zustand.

Im Laufe seines 35-jährigen Bestehens wurde der LLF ständig modernisiert und die Möglichkeit, aerodynamische Prozesse zu untersuchen, wurde verbessert. Er zählt jetzt zu den leisesten Windkanälen der Welt – das ist wichtig, wenn dort nach den Ursachen von Lärmentstehung bei Flugzeugen geforscht wird. Eine weitere Stärke des LLF ist die bereits erwähnte Möglichkeit, Triebwerke zu simulieren. „Und drittens haben wir die beste Landebahnsimulation der Welt“, sagt Eitelberg. Unter diesen Voraussetzungen, darin ist sich der DNW-Direktor sicher, wird der LLF auch in Zukunft eine wichtige Rolle in der Luftfahrtforschung spielen.



Auch das teuerste Rüstungsprojekt der Welt, der Joint Strike Fighter F-35 der USA, wurde im LLF in Marknesse untersucht – ein Qualitätsausweis für den Windkanal

Bild: DNW

Ein Tag im Windkanal

8:30 Uhr: Der Tag startet mit einem Briefing in der Leitwarte des LLF. Der Kontrollraum des Windkanals ist voll – dieses Mal ist ein großes Team beteiligt. Bis zu 20 Mitarbeiter des DNW sind in der Aufbauphase eines neuen Versuchs dabei, dazu kommen noch zehn DLR-Kollegen. Arbeitssprache ist Englisch. Es gibt Kaffee, doch gemütlich geplaudert wird nicht – der Windkanal ist für neun Tage gebucht, für fast 75.000 Euro pro Tag, das sind mehr als 2,50 Euro pro Sekunde Messzeit. Und diese Zeit wird genau gestoppt. „Wenn bei uns etwas nicht läuft, läuft die Uhr weiter und damit die Kosten“, so Bartels. „Dann versuchen wir, die Probleme auch außerhalb der Messzeit am Abend zu lösen – gestern bis 23 Uhr.“ Nur falls beim Windkanal eine Störung auftritt, wird die Uhr angehalten, die Zeit zur Fehlerbehebung wird dann nicht berechnet.

Es wird klar: Dieser Versuch ist besonders. Hubschrauber-Tests im LLF kommen nur selten vor, und jetzt wird erstmals ein neues Highspeed-Kamerasystem unter der Decke eingesetzt, das mit vier Kameras Stereo-Aufnahmen vom Rotor macht.

Heute soll zunächst der Schwebeflug getestet werden.

9:10 Uhr: Bevor der eigentliche Versuch startet, muss jedoch sichergestellt werden, dass der Rotor keine Unwucht aufweist. In einem echten Hubschrauber würde das für die Passagiere sehr ungemütlich werden. Bestehen Unwuchten am Modell, müssen diese, wie Autoreifen, ausgetauscht werden. Ein Hubschraubermodell für den Windkanal ist dabei komplexer als ein echter: Es gibt Kabel und Drucksensoren im Rotor, die durch die großen Fliehkräfte immensen Belastungen ausgesetzt sind.

9:36 Uhr: Die Vortests laufen gut. Der Rotor zeigt keine Unwucht.

9:40 Uhr: Plötzlich Unruhe. Ein Motor, der eine der beiden Taumelscheiben der META und damit den Rotor mitsteuert, läuft nicht mehr. Der Rotor wird gestoppt. Ein Kran bringt rasch Mitarbeiter zum Modell in 6,7 Meter Höhe. Es wird geprüft, ob der Motor wirklich ausgetauscht werden muss. Ein Austausch wäre knifflig – der Motor sitzt tief im Modellinneren. Es wird spekuliert: Am Vortag hat der Motor 7,5 Stunden am Stück durchgehalten – das war ungewöhnlich lange ...

10:30 Uhr: Erleichterung. Der Motor bewegt sich wieder, ein Austausch ist nicht nötig.

10:53 Uhr: Die Vortests sind abgeschlossen. Jetzt wird die bislang offene Messstrecke durch ein Tor geschlossen.

11:30 Uhr: Der eigentliche Versuch startet, zunächst ohne Wind. Es wird das Verhalten des Rotors im Schwebeflug untersucht. Dabei entsteht vergleichsweise wenig Lärm.

Die meisten Daten bekommen die in diversen Messcontainern sitzenden DLR-Mitarbeiter in Echtzeit angezeigt. Kein Vergleich zu früher, als alles auf Magnetbändern gespeichert und erst später mühsam ausgelesen wurde.

12:02 Uhr: Der Wind wird eingeschaltet. Mit mehr als 100 Kilometern pro Stunde bläst er am Modell vorbei. Das entspricht der typischen Landesituation von Helikoptern, dem Übergang vom Reiseflug bis zum Aufsetzen. Gerade dann sind Hubschrauber am lautesten.

Jetzt geht auch eine Mikrofontraverse in Startposition. Sie stoppt jeden halben Meter und vermisst den vom Rotor abgestrahlten Lärm auf einer Fläche von 6 mal 6 Metern.

12:29 Uhr: Die erste Versuchsreihe ist durch. Mittagspause.

12:35 Uhr: Das Tor geht mit einem Zischen auf und gleitet auf Luftkissen zur Seite. Für einige Mitarbeiter wird es keine Mittagspause geben, sie justieren ihre Messtechnik neu und checken das Modell.

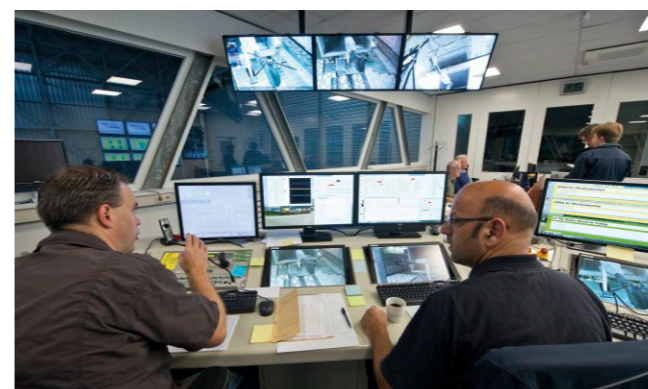
13:47 Uhr: Das Tor wird wieder geschlossen. Kurz darauf startet der Rotor neu. Beginn der nächsten Versuchsreihe. Diesmal mit aktiver Rotorsteuerung.

14:05 Uhr: Das Mikrofonarray fährt wieder in Position. Dann wird abermals der Wind angestellt und trifft diesmal auf einen Rotor, der jetzt für einen Sechs-Grad-Sinkflug angestellt ist. In dieser Konfiguration ist er besonders laut. Die Traverse mit den Messgeräten bleibt einige Sekunden in einer Position, misst und fährt dann in kleinen Schritten zum nächsten Messpunkt weiter.

14:26 Uhr: Die Mikrofontraverse fährt auf Ausgangsstellung, dann wiederholt sich der Vorgang des Abtastens. So wird Stück für Stück ein kompletter Lärmteppich erstellt. Zwischendurch haben die DLR-Wissenschaftler die Steuerphase der Rotorblätter, die mit der META aktiv angesteuert werden, verändert.

Die ankommenden Messergebnisse sehen gut aus. Dr.-Ing. Berend van der Wall schaut sich die Sofortauswertung der Mikrofonmessungen an. Deutlich ist erkennbar, dass bei aktiver Steuerung der Rotorblätter der Lärm geringer ist. „Bis zu sechs Dezibel weniger – das ist eine Welt in der Lärmreduktion“, freut sich van der Wall. Dann zeigt er auf eine Linie auf einem Bildschirm: „Hier ist ein Signal tot. Wahrscheinlich ein Kabel gebrochen.“ Im Gegensatz zum Motor ist das bei vielen hundert Sensoren kein Problem. „Ich sage später einem Techniker Bescheid, der soll das Blattkabel von Blatt gelb überprüfen“, so van der Wall.

16:15 Uhr: Die für den Messtag vorgesehenen Versuchsreihen sind abgeschlossen. Der Rotor wird abgestellt, das Tor öffnet sich wieder. Für die meisten DLR-Mitarbeiter ist die Arbeit allerdings nicht zu Ende: Sie werten die Daten aus, lassen den Ablauf Revue passieren, bereiten den nächsten Messtag vor.



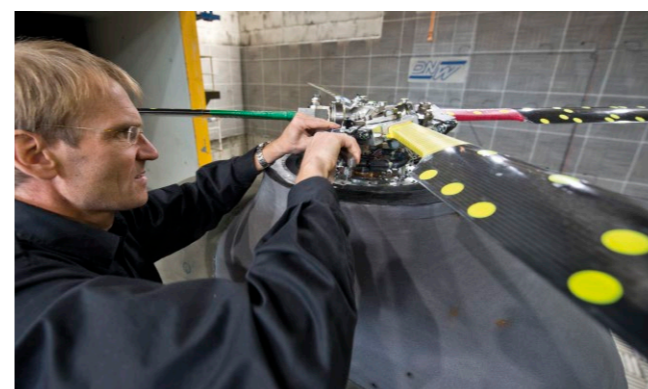
Nicht Raumschiff Enterprise, aber vergleichbar mit dessen Kommandobrücke: die Leitzentrale des DNW



Die „Kunden“ des Windkanals – in diesem Fall Wissenschaftler des DLR – sitzen in verschiedenen Räumen und Containern voller Messtechnik



Inspektion in fast sieben Meter Höhe: Forscher, die in der Windkanaltestzeit ein Problem zu beheben haben, müssen nicht nur schnell eine Lösung finden, sondern auch schwindelfrei sein.



Muss der Motor ausgetauscht werden? Das wäre knifflig – der Motor sitzt tief im Modellinneren. Zum Glück gelingt es, ihn wieder zum Laufen zu bekommen.

DAS BESONDERE DER LANDEBAHN-SIMULATION

Wenn sich ein Flugzeug bei der Landung dem Boden nähert, verändert dieser das aerodynamische Verhalten des Flugzeugs, da die Luft nicht mehr frei unter dem nach unten fliegenden Flugzeug ausweichen kann. Dabei entsteht zumeist ein höherer Auftrieb, abhängig von den genauen Eigenschaften der Aerodynamik des Flugzeugs und der Triebwerkeinstellungen während der Landung. Um realistische Ergebnisse zu erzielen, muss der Windkanal die Landebahn simulieren. Zu diesem Zweck ist am Boden des LLF ein schnelllaufendes Band eingebaut. Es bewegt sich mit der gleichen Geschwindigkeit wie der Luftstrom, der am Modell vorbeiströmt, das sich ja in Wirklichkeit nicht bewegt. Im LLF ist dies bei Geschwindigkeiten von bis zu 80 Metern pro Sekunde möglich.

DER PREIS EXKLUSIVER LEISTUNGEN

Universitäten und kleine Forschungseinrichtungen können sich Untersuchungen im LLF bei Preisen ab 250.000 Euro pro Woche nicht leisten. Es müssen also europäische Fördermittel in Anspruch genommen werden, wenn Universitäten Windkanäle nutzen wollen.

Zudem werden große Windkanäle in gewissen Zyklen betrieben. Es gibt nur eine begrenzte Zahl an Projekten im Rahmen der Luftfahrtforschungsprogramme. Wenn die Phase beginnt, in der in einem solchen Programm die Windkanaluntersuchungen anstehen, sollen die Windkanäle möglichst rund um die Uhr und nur dafür zur Verfügung stehen. Wenn jedoch keine Tests anstehen, fallen dennoch Kosten für den Erhalt der Technologie und der Infrastruktur an. Zu klären, wer dafür die Verantwortung übernimmt, ist für das Management immer wieder eine Herausforderung.

TEST FÜR LEISERE UND VIBRATIONSÄRMERE HUBSCHRAUBER

Im Rahmen des Verbundvorhabens „Fortschrittliche Taumelscheibenkonzepte“ erprobt das DLR-Institut für Flugsystemtechnik die sogenannte Mehrfach-Taumelscheibe (META) im LLF als Beitrag zur aktiven Rotorsteuerung. Die Rotoren der meisten Hubschrauber werden mit Hilfe von Taumelscheiben gesteuert. Die Rotoren sind unter bestimmten Betriebsbedingungen die Hauptquelle des Lärms, den Hubschrauber abstrahlen. Besonders im Landeanflug können durch die Kollision der Blattspitzenwirbel mit denen nachfolgender Rotorblätter sehr laute Geräusche entstehen. Im Windkanalversuch wird untersucht, ob durch geschicktes dynamisches Verstellen der Rotorblätter die vibratorischen Anteile der Lasten und der Lärm verringert werden können. In heutigen Hubschraubern der klassischen Bauart (ein Hauptrotor, ein Heckrotor) mit einer konventionellen Steuerung wird der Rotor über eine einzige Taumelscheibe gesteuert. Bei Rotoren mit vier und mehr Blättern sind solche Einsteuerungen mit nur einer Taumelscheibe nicht möglich. Im DLR-Versuch sind die Rotorblätter abwechselnd an den zwei konzentrisch umeinander angeordneten Taumelscheiben der META angeschlossen. Durch diesen Trick wird eine blattindividuelle Rotorsteuerung ohne aktive Komponenten im drehenden System ermöglicht. Neben diversen anderen Sensoren (Mikrofone, Dehnmessstreifen, Beschleunigungssensoren, etc.) sind beim Versuch vier Hochgeschwindigkeitskameras im Einsatz, um die elastischen Verformungen der Blätter aufzunehmen und so Rückschlüsse auf die in jeder Situation wirkenden Blattbelastungen zu ermöglichen. Die Forscher versprechen sich durch den Einsatz der META eine bedeutende Verringerung des abgestrahlten Lärms und der in Hubschraubern auftretenden Vibrationen. Leiter des Projekts FTK-META-WK ist Rainer Bartels aus dem DLR Braunschweig.



Raum für Welt-Raum:
Im RieskraterMuseum Nördlingen wird dem Besucher anhand der kosmischen Zusammenhänge deutlich, warum es in der Erdgeschichte immer wieder zu Einschlägen von Asteroiden mit katastrophalen Folgen kam. Wie eben auch vor 15 Millionen Jahren genau dort, wo heute das Nördlinger Ries liegt, eines der am besten erhaltenen Relikte eines großen Impakts auf der Erde.

Im Rieskrater auf
den Planeten und
Planeten des
Sonnen Systems

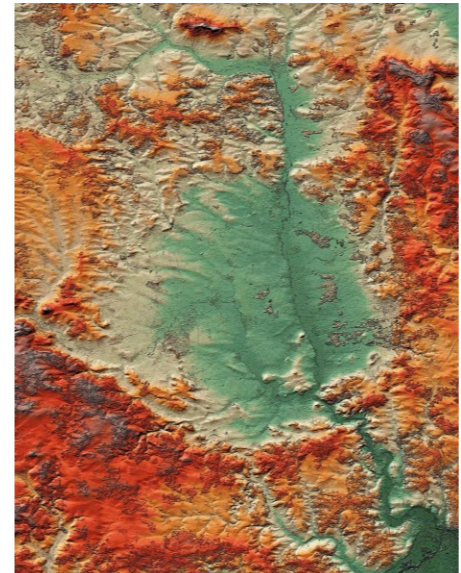
Ursprüngliche Einschlagkrater bedecken die
Oberfläche:
Merkur, Mars und
Erdmond

Auf Merkur, Mars und dem Erdmond sind
große Teile der festen Umgebungsfläche
bedeckt mit Einschlagkratern. Jedes Jahr
sind Hunderte von Planeten aus dem
Raum beobachtet worden. Die Rieskrater
auf dem Mars sind die größten von allen
auf dem Mars. Sie sind die einzigen
auf dem Mars, die einen Durchmesser von
mehr als 2000 km aufweisen. Die Rieskrater
auf dem Mars sind die einzigen
auf dem Mars, die einen Durchmesser von
mehr als 2000 km aufweisen.

Bild: RieskraterMuseum

Erstaunlich, wissenschaftlich oder einfach nur schön? Im besten Fall trifft alles zu. Der Feuilleton-Bereich des DLR-Magazins widmet sich diesmal einem kleinen, aber feinen Museum im schwäbischen Nördlingen. Dort, wo vor 15 Millionen Jahren ein Meteorit einschlug, wird heute mit Bezug zur umgebenden Natur informiert und beeindruckend präsentiert, was an Relikten übrig blieb. Ergänzt wird die Schau von einer DLR-Ausstellung mit Satellitenaufnahmen von Impakt-Spuren. Bilder der Erde aus dem All sind auch Gegenstand in den nachfolgenden Buchbesprechungen, sei es in einem prachtvollen Bildband oder im Fachbuch, das sich auch für Nicht-wissenschaftler lohnt zu lesen.

IM RIESKRATER-MUSEUM NÖRDLINGEN



Aus dem Weltall unübersehbar, für den „Erdling“ aber nicht so leicht zu erkennen: die von einem 150 Meter hohen Kraterrand umgebene Vertiefung, die beim Ries-Impakt entstanden war. Die TanDEM-X-Aufnahme ist Teil der DLR-Ausstellung „Impakt-Spuren“ im Museum.

Vieles in der Natur können wir uns schlicht nicht vorstellen. Es ist zu groß, zu klein, zu weit weg, zu schnell oder einfach unsichtbar. Aufgabe der Wissenschaft ist es, Wissen zu „schaffen“. Das heißt aber auch, das, was sie erforscht, begreifbar zu machen. So wissen wir in der Theorie zwar alles über die verheerende Kraft, die beim Einschlag eines Asteroiden auf die Erde wirkt. Wie aber sollen wir es uns vorstellen, dass sich ein kilometergroßer, drei Milliarden Tonnen schwerer Brocken mit hunderttausend Stundenkilometern in die Erde gräbt? – Ein kleines, aber feines Museum schafft hier das erforderliche Wissen: Das RieskraterMuseum im schwäbischen Nördlingen, direkt an der Grenze zwischen Württemberg und Bayern gelegen, im Nördlinger Ries, dem Relikt einer solchen kosmischen Katastrophe.

Mit einem Durchmesser von 25 Kilometern liegt die Riesebene als markante, kreisrunde Senke im schwäbisch-fränkischen Jura, umgeben von einem 150 Meter hohen Rand. Ein Krater, ja, das ahnten auch frühere Erdwissenschaftler schon. Aber doch sicher von einem Vulkan! Dann schrieb 1904 der Naturfreund Ernst Werner in den Blättern des Schwäbischen Albvereins: „In seiner Fremdartigkeit erinnert es an die merkwürdigen Ringgebirge auf dem Mond, und der Gedanke liegt nicht ferne, dass diese wie das Riesbecken gleichen Ursachen ihre Entstehung verdanken.“

Als sich in den Sechzigerjahren die Erkenntnis durchsetzte, dass eben diese Krater auf dem Mond nicht von Vulkanen herrühren, sondern von Einschlägen kosmischer Trümmer stammen, musste auch das Ries sein Geheimnis preisgeben. Dazu brauchte es allerdings zwei Amerikaner, Edward Chao hieß der eine, und Eugene Shoemaker der andere (der freilich deutsche Wurzeln hatte). Nach Letzterem ist auch der Platz benannt, auf dem der wunderschön renovierte Holzhofstadel aus dem Jahre 1503 mit den anderen historischen Gebäuden ein harmonisches Ensemble bildet. Chao und Shoemaker fanden winzige Quarzkristalle, die in dieser Ausprägung nur unter extremstem Druck entstehen können, eben dem Einschlag eines Asteroiden.

Was also war hier passiert? Die dort vor 15 Millionen Jahren lebenden Tiere jedenfalls werden in Panik geraten sein, als ein hell pfeifendes Geräusch den Äther erfüllte, es zu einem infernalischen Brüllen anwuchs – bevor auch schon eine Druckwelle alles hinwegfegte. Das Impaktgeschehen ist eine Sache von Zehntelsekunden. Der kilometergroße Gesteinsbrocken bohrte sich tausend Meter tief in die Erde, der Druck steigerte sich auf Millionen Atmosphären und die Temperatur stieg im Bruchteil einer Sekunde auf 30.000 Grad Celsius. Der Asteroid und das Umgebungsgestein verdampften, das Grundgebirge schmolz auf und wurde in riesigen Brocken bis zu zehn Kilometer hoch in den Himmel geschleudert, ehe es im Umkreis von Hunderten von Kilometern auf die Erde zurückfiel. Der Druck breitete sich tief durch das Gestein aus und zerrüttete selbst härtesten Granit brachial.

Bild: RieskraterMuseum



Das Museum ist beherbergt im über 500 Jahre alten, renovierten Holzhofstadel der mittelalterlichen Stadt Nördlingen

Keine Stunde später war an dieser Stelle ebenjener Krater entstanden, in dem sich heute eine der lieblichsten Kulturlandschaften Süddeutschlands befindet: Selbst das Wahrzeichen von Nördlingen, der „Daniel“, der schon von weither sichtbare Turm der St. Georgskirche, ist ein Kind dieses Ereignisses, besteht er doch aus dem nur im Ries vorkommenden „Schwabenstein“, dem Suevit, mit seinen aufgeschmolzenen Gneis-Pfannenkuchen, den „Flädle“. Überhaupt kann der Besucher alles, was er im Museum sieht und lernt, in unmittelbarer Nähe in der Natur nachvollziehen. Dazu gibt es auch den Nationalen Geopark Ries, der zu den wichtigsten geologischen Aufschlüssen führt.



Bild: RieskraterMuseum

Besucherguppen können eine fachkundige Führung durchs Museum buchen – das Museum wird von Wissenschaftlern geführt



Bild: RieskraterMuseum

„Von dort kommen die Asteroiden, deren Bahnen die der Erde kreuzen!“ – Etwa 12.000 solcher Objekte sind bekannt, zum Glück derzeit keiner auf Kollisionskurs mit der Erde.



Bild: RieskraterMuseum

Das schönste Produkt der Ries-Katastrophe: Moldavite, aufgeschmolzenes und nur amorph, ohne Kristallstruktur erstarrtes Silikatgestein



Bild: RieskraterMuseum

Exklusiv und sehr alt: von einem Mega-Impakt vor 3,8 Milliarden Jahren auf dem Mond zerrüttetes Gestein von der Apollo-16-Landestelle

Kaum sonst wo ist das Ergebnis einer derart großen Naturkatastrophe so offensichtlich zu beobachten wie im Ries. Und das RieskraterMuseum ist einmalig, weltweit, es besetzt eine didaktische Nische. Im Mai 1990 öffnete es seine Pforten, über eine Million Gäste haben es bis heute besucht. Getragen von der Stadt Nördlingen und geführt von den Staatlichen Naturwissenschaftlichen Sammlungen Bayerns, genießt es eine Sonderstellung, denn die Leitung des Museums durch Wissenschaftler ist Teil des Konzepts: Das Museum versteht sich als Bildungseinrichtung und ist gleichzeitig sehr eng mit der aktuellen Impaktforschung verzahnt, die in Deutschland am Berliner Museum für Naturkunde, an verschiedenen Universitäten und nicht zuletzt am DLR betrieben wird.

So ist auch eine kleine Forschungseinrichtung angegliedert, das Zentrum für Rieskrater- und Impaktforschung in Nördlingen (ZERIN). Bedeutende Wissenschaftler aus aller Welt geben sich im Museum die Klinke in die Hand, oft finden in der mittelalterlichen Stadt mit ihrer vollständig erhaltenen Stadtmauer Fachkonferenzen statt. Wegen der Analogie zum Mond besuchten 1970 sogar Astronauten der Apollo-Missionen 14 und 17 das Ries, um Feldstudien und Geländeübungen durchzuführen: In der Sammlung befindet sich folgerichtig auch ein Stein vom Mond – zerrüttet und fragmentiert durch einen Einschlag auf dem Erdbegleiter, aufgesammelt an der Landestelle von Apollo 16.

Das Museum erklärt, wo die vernichtenden Geschosse im Sonnensystem ihren Ursprung haben (und warum es sie überhaupt gibt), stellt das Geschehen plastisch dar und erläutert die „Anatomie“ des Rieskraters. Schließlich werden die Auswirkungen auf die Landschaft gezeigt. Über Millionen von Jahren stand im Krater ein See, der Sedimente abgelagerte: Die Bauern pflügen im Ries einen fruchtbaren Boden. Auch werden Vergleiche mit anderen Meteorokratern auf der Erde angestellt,

und natürlich auch mit Kratern auf den anderen Körpern des Sonnensystems, wo es sie in viel größerer Zahl gibt, weil sie dort nicht so schnell von der Erosion ausgeradiert werden. Der kosmische Kontext ist allgegenwärtig und offensichtlich.

Den Besucher erwartet ein Rundgang durch sechs Räume mit insgesamt 900 Quadratmetern Ausstellungsfläche. Bestens gelöst ist der bei wissenschaftlich anspruchsvollen Inhalten existierende Spagat zwischen möglichst großer Anschaulichkeit, die selbst dem eiligen, mit der Materie überhaupt nicht vertrauten Laien das Wichtigste in Wort und Bild vermittelt, und dem zum besseren Verständnis erforderlichen Tiefgang.

Beeindruckend ist auch die umfangreiche Meteoritensammlung, die zeigt, wie unterschiedlich all die Brocken beschaffen sind, die selten, aber eben doch immer wieder aus kosmischer Nachbarschaft auf die Erde fallen. Steinmeteoriten, Stein-Eisen-Meteoriten, Eisenmeteoriten – sie sind der Schlüssel zu Erkenntnissen über die chaotische Frühzeit unseres Sonnensystems. Nur selten, nur alle paar Millionen Jahre – und das ist die frohe Botschaft für die Besucher – kommt es in der Erdgeschichte zu solch einem verheerenden Ereignis wie dem Ries-Impakt.

Auch das unter ästhetischen Gesichtspunkten schönste Exponat entstand bei dieser Katastrophe, der Moldavit: smaragdgrünes Gesteinsglas mit einem herrlichen Farbenspiel, das als aufgeschmolzenes Silikatgestein mit 25-facher Schallgeschwindigkeit aus dem Krater geschleudert wurde, im Flug rasch abkühlte und deshalb keine Kristalle ausbildete, ehe es im Gebiet der Moldau zu Boden fiel. Auch von Rieser Diamanten wird geredet ...



Bild: RieskraterMuseum

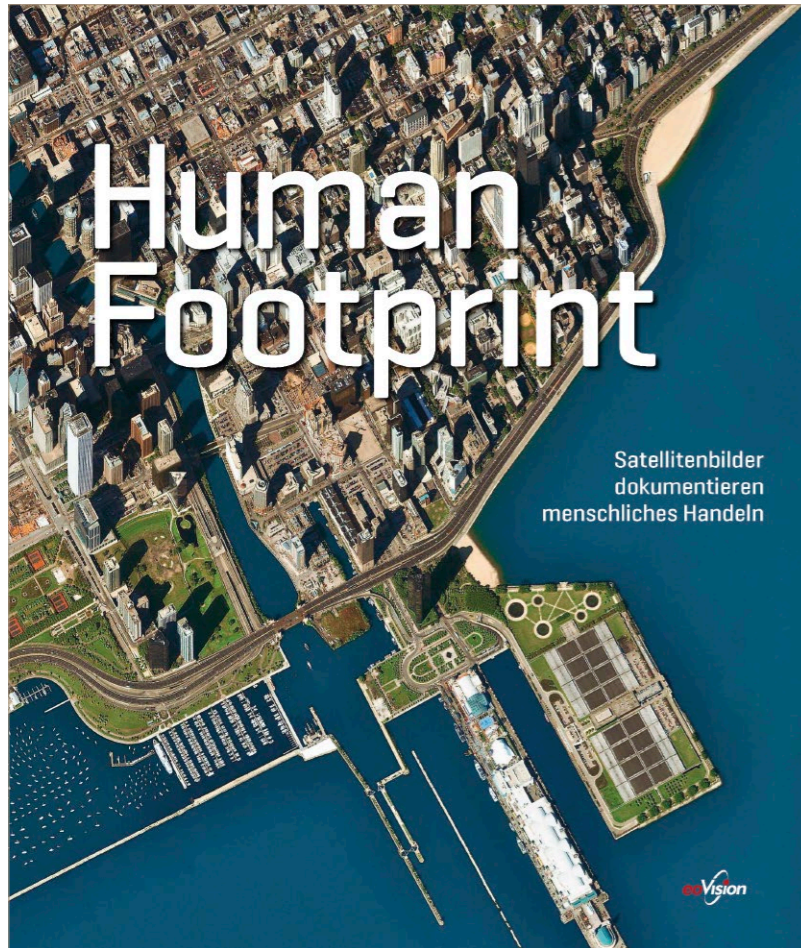
Eine der Stärken des Museums ist es, großen und kleinen Besuchern die schwer erfassbaren Zusammenhänge zwischen den kosmischen Dimensionen von Entfernung, Geschwindigkeit, Energie, Masse, Druck oder Temperatur und deren Wirkung auf die Erde anschaulich zu vermitteln

RIESKRATER-MUSEUM NÖRDLINGEN

Eugene-Shoemaker-Platz 1
86720 Nördlingen
www.rieskrater-museum.de

Der ausgezeichnete Museumsführer ist didaktisch und wissenschaftlich auf dem neuesten Stand und sehr zu empfehlen. Noch bis Ende 2016 ist im Museum die **DLR-Ausstellung „Impakt-Spuren“ – Impaktkrater der Erde im Radarbild der TanDEM-X-Mission** zu sehen.

Geopark Ries:
www.geopark-ries.de



KONSEQUENT AUF'S BILD GESETZT

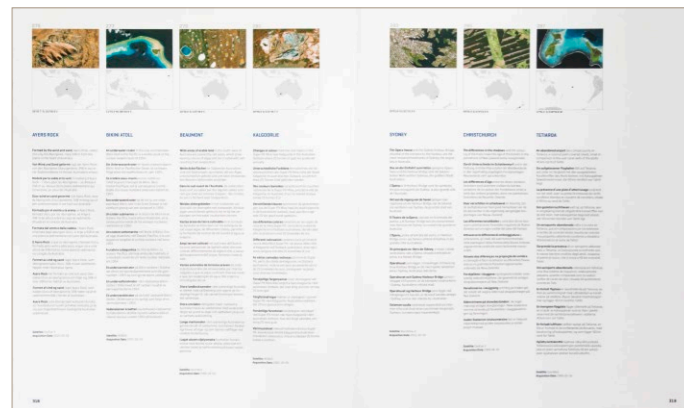
Spinnennetze, Streuselschnecken und Spiegeleier. Was sind das für Bilder?! Das Staunen hört nicht auf (obwohl das DLR-Magazin in Sachen Erdbeobachtung schon mit so manchem beeindruckenden Datenprodukt aufwarten konnte). Der Prachtband **Human Footprint**, den **eoVision Media** aufgelegt hat, ist ein Buch der Superlative: 127 Bilddoppelseiten in einer Größe von sage und schreibe 68 mal 40 Zentimetern, aufgenommen von Satelliten aus einer Distanz zur Erde von 480 bis 680 Kilometern. Was der österreichische Verlag auf der Basis von Daten der Satelliten IKONOS, Word View-2, Quick Bird und GeoEye-1 hier präsentiert, hat Extraklasse. Bilddruck und Texte überzeugen ebenso wie Einband und Verarbeitung durch Qualität und Konsequenz: kein illustrativer Schnick-Schnack. Hier wird auf die überwältigende Wirkung des Bildes gesetzt. Erläuterungen finden sich klar und übersichtlich gestaltet im Anhang. Die Bildseiten gehören allein den globalen wie zugleich detailreichen Aufnahmen von Städten, Häfen, Flussläufen, Küsten, Wäldern, Feldern, Wüsten und Eiszonen.

Die Bildmotive von allen Kontinenten überraschen immer wieder aufs Neue. Da sind bizarre Eisfragmente, die mit ihrer Kantigkeit geradezu aus dem Buch springen wollen, Städte, in deren labyrinth-artiger Struktur man sich zu verlieren scheint, und Feldlandschaften, die in ihrer geometrischen Regelmäßigkeit wirken, als seien sie auf dem Reißbrett entstanden. Kunstvollen Schlingen von Kanälen folgen Zirkelübungen an Bewässerungssystemen und Bilder von Inseln und Küsten, deren Schönheit das Fernweh weckt.

Doch unvermittelt folgt dem Entzücken der Schmerz: Riesige Kupfer- und Diamantminen sowie Uranabbaugebiete wirken wie Wunden. In Regenwäldern fressen sich Ackerflächen hinein, Mangrovenhaine werden von Shrimps-Farmen verdrängt. Gewaltige Veränderungen, die wir Menschen der Erde wissentlich zufügen. Selten wird anhand von Bildern real existierender Landschaften die Schadwirkung menschlichen Eingreifens in die Natur so eindringlich deutlich. Da mutet der Begriff „Menschlicher Fußabdruck“ fast an wie Blasphemie.

Bei alledem kommt der Herausgeber ganz ohne Phrasen aus: Der verantwortungsvolle Umgang mit dem Planeten Erde muss nicht in Buchstaben bemüht werden, er lebt in den Bildern. Äußerst kurz und betont sachlich informieren die letzten 22 Seiten des Bildbands darüber, was jedes Bild zeigt, und zwar in zehn Sprachen, Deutsch inbegriffen. Ergänzt wird der Text zum Bild durch eine kleine Karte in dezentem Grau mit einem Hinweis auf die Region, aus der das Bild stammt. Im Hauptteil des Bandes indessen sieht man nichts weiter als das Bild – und deshalb so viel mehr.

Cordula Tegen



TRANSPARENZ FÜR DIE KLIMADEBATTE

Überschwemmungen, Dürren, Erdbeben – die globale Erwärmung ist in aller Munde. Hat der Mensch mit seinen Treibhausgasen Schuld? Oder wäre die Erwärmung auch ohne sein Eingreifen gekommen? Die Diskussion um die Zukunft unseres Planeten wird hitziger denn je geführt: Die Vorstellungen von der Entwicklung der Gesellschaft sind vielfältig und die technischen Möglichkeiten, zumindest theoretisch, grenzenlos. Für Nicht-Fachleute ist es schwer, den Überblick zu behalten.

Genau hier setzt der renommierte Physikprofessor Gerd Ganteför mit seinem dritten Buch **Wir drehen am Klima – na und? (Wiley-VCH Verlag)** an: Gut verständlich beschreibt er die wichtigsten Fakten, Meinungen und Entwicklungen zum Thema Klimawandel und stellt sie klar gegliedert gegenüber. Anstatt die Leser mit wissenschaftlichen Fakten und Zahlen zu überhäufen, gibt ihnen der Autor die Möglichkeit, sich ihr eigenes Bild zu machen: In jedem Kapitel-Fazit nennt er die Quellen, auf die er sich bezieht, und schafft es so, Transparenz in die so undurchsichtig gewordene Debatte zu bringen. Dabei wird schnell klar: Ganteför weiß, dass wir eigentlich nichts wissen. Oder zumindest zu wenig, um weitreichende Maßnahmen wie die Energiewende erfolgreich umzusetzen. Es gibt noch viele offene Fragen, auf die von der Wissenschaft erst Antworten gefunden werden müssen.

Dabei äußert sich der Physiker durchaus streitbar, beispielsweise wenn er schreibt, dass übertriebener Schutz des Klimas Werte der westlichen Welt, wie Freiheit und Selbstbestimmung, einschränkt. Doch er schafft es, verständlich und interessant zu zeigen, vor welchen Herausforderungen die Menschheit im Kampf gegen die Erderwärmung steht und wieso in der Kontrolle des Klimas über kurz oder lang die einzig wirksame Lösung liegen dürfte.

Sarah Werner

EIN VERSUCH, PHYSIK ZU ERZÄHLEN

Physik hält die Welt zusammen. Ihre Gesetze sind durch Mogeln nicht zu Umgehen. Ob Wasser gefriert, ein Ballon steigt, eine Brotscheibe beim Herunterfallen mit der belegten Seite aufkommt, die Flöte einen Ton erzeugt oder das Flugzeug fliegt – alles Physik. Um diese alltäglichen Ereignisse zu erklären, versucht Siegfried Hess, selbst Physikprofessor, eine gemeinsame Sprache der Physik zu finden, und zwar für Kinder, Studenten, naturwissenschaftlich Interessierte und Experten. Texte, Zeichnungen, Grafiken und Bilder fügt er zusammen, um Antwort zu geben auf die Frage: **Opa, was macht ein Physiker? (Wiley-VCH).**

Die zunächst kindgerechte Sprache weicht aber alsbald Fachausdrücken, Diagramme und Formeln verdrängen die durchaus reizvollen Kinderzeichnungen. Die zehnjährigen Leser scheinen blitzschnell Gymnasiasten zu werden, dann Studenten und wenn es um „Dirac und das relativistische Elektron“ oder die „Translations-Invarianz“ geht, sind sie bereits Experten. Doch nicht nur in der Physik, auch in der Biologie, beim Altern, kann man nicht einfach mogeln.

Caroline Mahlow



VERLORENGEGANGEN, VERSTECKT, GEHEIM UND VERGESSEN



„Wir brauchen widerspenstige, ungebärdige Orte, die sich Erwartungen verweigern.“ Autor Alastair Bonnett hat als Professor of Social Geography einen etwas anderen Zugang zu Orten – und so hat er für sein Buch **Die seltsamsten Orte der Welt (C.H.Beck Verlag)** Städte, Inseln und Plätze zusammengestellt, die ihn persönlich „provoziert oder irritiert haben“. Insgesamt 47 davon hat er entdeckt und mit ihren Geschichten und Hintergründen dargestellt.

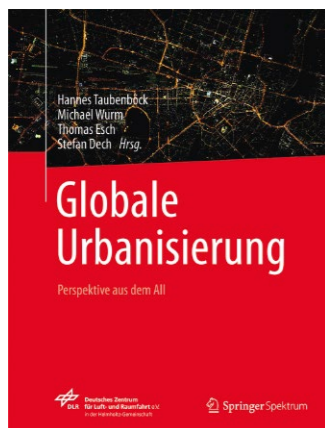
Kijōng-dong, der wohl einzige Ort in Nordkorea, der Besucher mit offenen Armen empfängt. Und dennoch kommen nie welche. Die Stadt hat mit teuren Ziegeln gedeckte Häuser, aus denen regelmäßig gemütliches Licht strahlt. Sie soll mit ihrem „Reichtum“ potenzielle Überläufer aus dem nur 1,5 Kilometer entfernten Südkorea anlocken. Offiziell ist die Stadt bewohnt und verfügt über Schulen und Krankenhäuser, in der Realität tönen patriotische Opern aus Lautsprechern durch eine Geisterstadt. Grenzen sind es oftmals, die aus Orten etwas Ungewöhnliches machen: Baarle-Nassau und Baarle-Hertog beispielsweise sind zwei Dörfer, die so miteinander verwoben sind, dass sie stückchenweise zu Belgien und zu den Niederlanden gehören. Die Lage der Haustür bestimmt letztendlich, zu welchem Land welches Haus gehört und wo der Bewohner seine Steuern zahlen muss.

Bonnett stöbert genüsslich in der Geografie der Welt und würdigt Orte mit eigenen Kapiteln: Das Leningrad, das heute noch spürbar ist, doch mit Sankt Petersburg überdeckt wurde. Phantominseln wie Sandy Island, die es auf Landkarten geschafft hat, aber nie existierte. Die „Gutterspaces“ in den USA zwischen Häuserblocks oder großen Grundstücken, die ein Sammler Stück für Stück gekauft hat. Der Autor zeigt dabei große Kreativität, mischt in seine Erläuterungen auch immer wieder seine philosophischen Ansichten über die Deutung dieser Orte, erzählt Anekdoten abseits der Geografie und bleibt dabei immer sehr unterhaltsam.

So spannende Informationen wecken allerdings die Lust, diese Orte zu sehen. Und dort liegt das einzige, aber sehr große Manko dieses kleinformatigen Buchs: Es beschränkt sich leider darauf, nur die Koordinaten der Orte zu nennen. Es fehlen Bilder, Karten oder Zeichnungen. Bonnetts „Seltsamsten Orte“ hätten es verdient, als dicker Bildband zu erscheinen, der die verlassene Stadt Prypjat nahe Tschernobyl zeigt, die leeren Fenster von Kijōng-dong, die niemals fertiggestellte riesige Hotelpyramide in Pjöngjang oder Konstruktionszeichnungen von entworfenen schwimmenden Inseln. So bleibt nur die Eigenrecherche – für die man mit Bonnetts Sammlung allerdings viele Anregungen erhalten hat.

Manuela Braun

STRUKTUREN AUS DEM ALL



Oftmals hilft ein wenig Abstand, der Blick aus der Distanz, um das große Ganze zu erkennen. Was für den Menschen aus seiner erdgebundenen Perspektive unstrukturiert und willkürlich wirkt, offenbart sich aus der Sicht der Satelliten erstaunlich strukturiert: Im Fachbuch **Globale Urbanisierung. Perspektive aus dem All (Springer Spektrum)**, herausgegeben vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des DLR, stellen Forscher dar, dass Satelliten ein gutes Werkzeug sind, um die Siedlungslandschaften der Erde zu erforschen. Wie breiten sich die Megacities aus? Welche Siedlungsmuster lassen sich aus dem All erkennen? Und welche Gestalt nehmen am Reißbrett entworfene Städte oder Stadtteile an? Mit Hilfe von Fernerkundungsdaten können Bevölkerungsdichten abgeschätzt, Luftverschmutzungen in räumlicher Aufteilung untersucht oder auch Erdbebenszenarien erstellt werden, mit denen die Folgen von Naturkatastrophen deutlich werden. Das Buch wendet sich zwar an Fachpublikum, ist aber durch die konsequente Darstellung konkreter Anwendungen und den hohen gesellschaftlichen Bezug ebenso für interessierte Laien lohnenswert.

Manuela Braun

IM UNTERIRDISCHEN

Wer an Städte denkt, hat meist Straßen voller Menschen und helle Lichter vor Augen. Autorin Leoni Hellmayr hat sich in den Metropolen der Welt umgeschaut, allerdings eine Etage tiefer. Im Untergrund der Städte existiert eine ganz andere Welt: Zisternen, Untergrundbahnen, Friedhöfe oder auch Bunker. **Unter dem Asphalt (Theiss Verlag)** erzählt von Bekanntem wie den Pariser Katakomben und ihren Knochenwänden oder den pompösen Stationen der Moskauer U-Bahn, aber auch von Roms Kloaken oder den Fahrrad-Parkplätzen in elf Meter tiefen Rohren im unterirdischen Tokio. Dazu hat die Autorin viele Fakten zusammengetragen und Anekdoten gesammelt.



Das alles ist auch gut beschrieben, doch manchmal fehlt der Lese-Fluss. Dann hat man das Gefühl, dass Leoni Hellmayr in einem Kapitel gleich mehrfach neu angesetzt hat, sich manchmal wiederholt oder unvermittelt von Anekdoten zu Fakten und wieder zurück wechselt. Das fällt zwar auf, doch es sollte nicht davon abhalten, die unterhaltsamen Ausflüge ins Unterirdische mitzumachen. Beispielsweise in die prunkvolle, mit Kronleuchtern ausgestattete unterirdische New Yorker Bahnhofstation City Hall, die 1945 geschlossen wurde und seitdem nur noch als Wendeschleife genutzt wird. Geschichten gibt es auch zum Tiefbunker Steintorwall in Hamburg, der nach dem Krieg Unterkunft für Obdachlose samt Restaurant- und Hotelbetrieb war. Und wer weiß schon, dass in Moskau Findige geheimnisvolle Schächte entdeckten, die eine These des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums unterstützen – nämlich dass in Moskau drei inoffizielle Bahnlinien existieren, die unter dem Kreml zusammenlaufen?

Manuela Braun

KLUGES FÜHREN STATT PLUMPES BELEHREN

Promovieren – ja oder nein? Tipps für Vorstellungsgespräche. Schwangerschaft im Job? Das klingt nach einem nützlichen Ratgeber für Berufseinsteiger. Und das ist es auch. Doch ganz anders, als es Titel und Titelbild des 300-Seiten-Paperback-Bandes **Karriereführer für Naturwissenschaftlerinnen (WILEY-VCH)** verheißen. Wer meint, nach der Lektüre wie die Titelbildfiguren in Kostümchen oder Anzug im Sprint das rote Zielband zum Karriereziel zu nehmen, wird enttäuscht sein, denn ein Karriere-Rezept gibt es nicht.



Superwoman oder Superman zu sein, ist nicht das, was Erfolg im Beruf ausmacht. Das belegen die Autoren Karin Bodewits, Andrea Hauck und Philipp Gramlich mit ihren Texten. Hinweise, wie sich knifflige Fragen im Bewerbungsgespräch meistern lassen, wie bereits die Korrespondenz Professionalität signalisiert oder wie viel Weiblichkeit es bei einer Führungskraft sein darf, zeigen, wie man Hürden nimmt und positiv auffällt. Kleine (Erfolgs-) Geschichten von Müttern räumen ein, dass auch Zweifel oder Unentschlossenheit durchaus ihren Platz haben in der Karriereplanung. Sie beschreiben aber auch Lösungen anhand persönlicher Erfahrungen.

Endlich einmal ein Buch, das nicht nur den Idealtyp präsentiert oder realitätsferne Versprechungen macht, sondern vermittelt, dass es darauf ankommt, den individuell passenden Weg zu finden. Denn egal was man tut, wertvolle Erfahrungen macht man in jedem Fall. Und unter Umständen gelangt man auf einem Umweg auch an sein Ziel. Eine anregende Lektüre, nicht nur für Männer und auch nicht nur für Naturwissenschaftlerinnen, wie der Titel fälschlicherweise erwarten lässt.

Caroline Mahlow

LINKTIPPS

LÄRM LIVE

travis.koeln-bonn-airport.de
Fluglärm wirkt besonders belastend, wenn Maschinen starten oder landen. Mit der Software TraVis macht der Flughafen Köln-Bonn die Flugspuren der ankommenden und abfliegenden Flugzeuge mit einer Verzögerung von ungefähr zehn Minuten verfolgbare. Mit einem Klick auf den Flieger erfährt man seine Geschwindigkeit, Herkunfts- oder Zielort sowie den Einzelschallpegel. Auch archivierte Lärmkarten können abgerufen werden.

PACKENDE RENNEN

youtu.be/heBTmPy9IVY
Was aussieht wie aus einem Science-Fiction-Film, könnte der Rennsport der Zukunft sein: First Person View (FPV) Drone-Racing oder auch Rotorcross ist eine Sportart, die in Australien und Neuseeland etabliert wurde und sich zunehmender Beliebtheit erfreut. Piloten liefern sich mit ihren Drohnen rasante Rennen über einen Parcours und fesseln dank der On-Board-Kameras die Zuschauer an ihren Bildschirmen.

GRAVITATIONSSELLEN

bit.ly/1Tg11ky
Was Albert Einstein vor 100 Jahren theoretisch beschrieb, wurde im Februar 2016 praktisch bestätigt: Es gelang, erstmals Gravitationswellen zu messen. Um sich vorstellen zu können, worum es dabei geht, kann man sich die Erklärung des TV-bekanntesten Astrophysikers Harald Lesch aus dem Jahr 2014 ansehen. Darin geht er der Frage nach dem Urknall und den Gravitationswellen nach.

KLIMA MAL ANDERS

www.klimahaus-bremerhaven.de
Das Klimahaus Bremerhaven 8° Ost bietet eine Wissens- und Erlebniswelt zu den Themen Klima, Klimawandel und Wetter. Seine Website wartet mit aktuellen Informationen auf, zeigt einen Film über das Museumskonzept: eine Reise entlang des Bremer Längengrades acht Grad Ost, 34 Minuten. Und sie hat eine Bildgalerie, die Lust auf einen Besuch macht.

EXPEDITIONSTAGEBUCH

s.DLR.de/5iu3
Wer glaubt, dass es in unserer globalisierten Welt keine Abenteuer für Forscher mehr gibt, der kann sich eines Besseren belehren lassen und den Blog-Einträgen von DLR-Planetenforschern folgen. Sie brachen in die Antarktis auf, um noch unbekannte Gebiete zu erkunden und deren geologisch-geomorphologische Besonderheiten mit Strukturen auf dem Mars zu vergleichen. Zusätzliche Bilder gibt es auf flickr unter dem Kurzlink <http://bit.ly/20yotZL>.

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, Tom Georgi, Julia Heil, Fabian Locher, Bernadette Jung, Caroline Mahlow, Denise Nüssle, Elisabeth Schreier, Sarah Werner und Jens Wucherpennig

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[®]
klimateutral
Druck | IO53106-1602-1001



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Titelbild

30-Meter-Antenne im DLR Weilheim. Von ihr empfangene Navigationssignale werden von Wissenschaftlern des Instituts für Kommunikation und Navigation genauestens analysiert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages