Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt · www.DLR.de · Juni 2010

DLR magazin 126

Himmlische Jagd auf Eiskristalle

Messflug in die Kondensstreifen

Grüne Strukturen schwingen anders
Forschung für das umweltfreundliche Flugzeug

Mit der richtigen Antenne
Kleinsatellit soll Schiffsverkehr sicherer machen

Detektiv zwischen Erde und Sonne
Fahndung nach gefährlichen Asteroiden

DLR magazin 126

Blitzartig reagieren

Blitz und Donner über Dresden – für Flughäfen wie den der Elbemetropole sind Abschätzungen des Risikos für ein Schwergewitter von hohem Interesse. DLR-Forscher untersuchen, wie sich das Gefahrenpotenzial vorhersehen lässt. Die Forschungsprojekte RegioExAKT und Wetter & Fliegen tragen dazu bei, den Flugverkehr sicherer zu machen und helfen, wirtschaftliche Schäden abzuwenden.

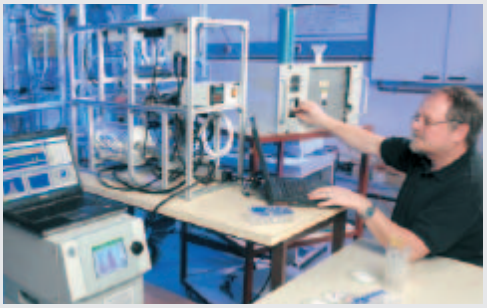
Editorial 2

EinBlick 4

Leitartikel 6

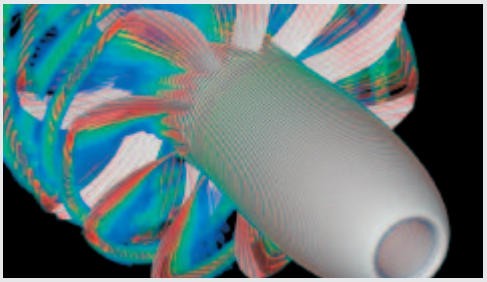
Nachrichten 8

Das Ganze denken
Konzepte für das Lufttransportsystem 10



Alternative Treibstoffe in der Luftfahrt
Wissen, was in der Gasturbine passiert 14

Grüne Strukturen schwingen anders
Forschen für das umweltfreundliche Flugzeug 18



Renaissance der offenen Rotoren
Propeller als moderne Antriebsalternative 22

Präzision bis ins Detail
Qualitätssicherung im Flugzeugbau 26

Unbemannt geht's nur im Team
Neue Ideen für intelligente Flugsysteme 30

Flughafenmanagement der Zukunft
Das Leuchtturmprojekt TAMS 34

Kommentar 38

Mit der richtigen Antenne
Kleinsatellit für sicheren Schiffsverkehr 40

Detektivarbeit zwischen Erde und Sonne
Fahndung nach gefährlichen Asteroiden 44

Raumfahrtmeldungen 48

Blitzartig reagieren
Gewitterinformationen für Flughäfen 52

Himmlische Jagd auf Eiskristalle
Klimawirkungen von Kondensstreifen 56

Leichte Hülle
Luftfrachtcontainer in neuer Bauweise 60

Desertec Industries
Interview mit Hans Müller-Steinhagen 62

Eine Stadt wird zum Labor
Anwendungsplattform Intelligente Mobilität 64

Erfahren fahren
Ablenkung im Simulator untersucht 67

Reportage
Im Windkanal für Indoor-Skydiving 68

In Museen gesehen
Teil 1: Bei Zeppelin in Friedrichshafen 70

Rezensionen 74

Liebe Leserinnen und Leser,

Forschung ist spannend – oft sogar hochspannend. Nicht nur, weil ihre Ergebnisse häufig Überraschungen bereithalten, für Freude, Erstaunen oder auch Enttäuschung sorgen. Sondern auch, weil eine Entdeckung ein Meilenstein der Menschheitsgeschichte werden kann. Das Potenzial dafür haben auch die Forschungen im DLR in den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit.

Viele Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind übrigens gern im DLR tätig, weil sie dessen Vielfalt schätzen. Nur wenige Forschungseinrichtungen bieten eine solch attraktive Palette an Themen, eine so große Spannbreite von den Grundlagen bis zur Anwendung und Möglichkeiten zum interdisziplinären Arbeiten.

Spannendes zeigen, Vielfalt darstellen, das Verständnis für Wissenschaft und Forschung wecken – dafür steht auch das neue DLR-Magazin. Wir nehmen Abschied von den guten, alten „DLR-Nachrichten". Sie finden heute das konzeptionell überarbeitete, neu gestaltete DLR-Magazin vor. Der Name ist Programm: Hochkomplexe Sachverhalte allgemeinverständlich aufbereiten. Die großen Projekte sind uns dabei genauso wichtig wie die kleinen Schritte auf dem Weg zu einer Entdeckung. Auch den Alltag in Wissenschaft und Management, wie er in einer Forschungseinrichtung mit gleichzeitiger Raumfahrtagenturfunktion zu erleben ist, wollen wir zeigen. Und wir werden über Menschen berichten, die sich in besonderer Weise für ihre Arbeit einsetzen und die mit Begeisterung Neuem auf der Spur sind.

Dabei bewegen wir uns mit unserer Flaggschiff-Publikation nicht mehr nur auf nationaler Ebene. Das DLR-Magazin erscheint ab sofort auch in englischer Sprache, sodass wir nicht nur im deutschsprachigen Raum, sondern auch darüber hinaus die Menschen für unsere Sache begeistern können.

Welches Ereignis wäre für den Start des neuen DLR-Magazins besser geeignet als die größte Luft- und Raumfahrtmesse in Europa, die ILA in Berlin? Hier kommen Luft- und Raumfahrtexperten und -begeisterte aus aller Welt zusammen, um die neuesten Trends und Entwicklungen zu verfolgen – auf kommerzieller wie auf wissenschaftlicher Ebene. Und weil es einfach sehr interessante Themen sind.

Sie werden es sehen bei der Lektüre des DLR-Magazins.
Viel Freude dabei!

Sabine Göge
Leiterin DLR-Kommunikation

EinBlick

Der Eyjafjallajökull nach seiner Eruption

Dieses Radarbild vom Vulkan Eyjafjallajökull nahm der deutsche Radarsatellit TerraSAR-X am 18. April 2010 um 9.00 Uhr morgens auf. Seit der Eruption am 15. April wurde der Vulkan kontinuierlich überwacht. Markant treten die neuen Krateröffnungen am Gipfel hervor. Sie waren vor dem Ausbruch mit dicken Eisschichten bedeckt. Das Schmelzen dieses Gletschers führte zur Überflutung des Gebiets nordwestlich des Vulkans. Zurück blieb ein verzweigtes Netz von Abflüssen. Und obwohl TerraSAR-X mit seinen Radarstrahlen durch Wolken hindurchschauen kann, ist auf dem Bild der Ascheregen nach Osten und Süden als dunkle Fläche über dem Eis deutlich sichtbar. Die Farben im Bild entstehen gemäß der Oberflächeneigenschaften: Blau markiert glatte Gebiete wie Gletscher oder Felder, Grün bewachsene Gebiete und Rot scharfe Kanten wie Felsspalten.

Luft- und Raumfahrtstrategie – Visionen für die Zukunft

Von Prof. Dr. Johann-Dietrich Wörner, Vorstandsvorsitzender des DLR

Im Moment schauen Sie in das neue DLR-Magazin, mit ihm geht eine Familie von Publikationen an den Start, die anschaulich und allgemeinverständlich über Aktivitäten des DLR berichten soll. Dieses erste Magazin bietet die Gelegenheit, auch auf übergeordnete Themen einzugehen. Im Jahr 2009 starteten wir einen DLR-weiten Prozess zur Strategieentwicklung. Er dient dazu, das DLR zu positionieren, die Erwartungen zu formulieren und die verschiedenen Maßnahmen zum Erreichen der Ziele festzulegen. Alle Betroffenen wurden zu Beteiligten und konnten sich einbringen. Der nicht unerhebliche Aufwand (Foren mit Institutsleitern, 20 Veranstaltungen für Mitarbeiter, Interviews mit „Stakeholdern" aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik und anderes mehr) hat sich gelohnt: Wir haben nun einen Satz an Aussagen, die zum einen die Vielfalt des DLR berücksichtigen und zum anderen so fokussiert wurden, dass sie als Grundlage für die weitere Arbeit verwendet werden können.

In logischer Konsequenz muss dieser eher organisatorisch ausgerichteten Arbeit die inhaltliche Strategie in den verschiedenen Forschungsbereichen folgen. Für Luft- und Raumfahrt sind über das DLR hinausreichende, nationale Strategien zu überlegen, um den besonderen Randbedingungen dieser Bereiche in industriepolitischer Hinsicht gerecht zu werden. Die Verantwortung liegt hier bei der Bundesregierung, insbesondere dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Die Koalitionsvereinbarung sieht vor, innerhalb eines Jahrs eine nationale Raumfahrtstrategie zu erarbeiten. Als das nationale Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt und als die nationale Raumfahrtagentur sieht sich das DLR in der besonderen Verantwortung, diesen Prozess zu unterstützen. Als erster Schritt wurde – mit umfänglicher Beteiligung von Wissenschaft und Wirtschaft – ein Konzept für die nationale Raumfahrtstrategie erarbeitet, in dem die verschiedenen Facetten der Raumfahrt und die übergeordneten Ziele definiert werden. In einem Top-Down-Ansatz sollen, basierend auf der Strategie, konkrete Ziele und Prioritäten festgelegt und schließlich – unter Berücksichtigung der verfügbaren Finanzmittel – ein Raumfahrtprogramm mit konkreten Missionen und Projekten definiert werden. Besonderes Augenmerk soll auf die verschiedenen Ebenen – national, europäisch und international – gelegt werden, sodass die Mittel möglichst effektiv zum Einsatz kommen. In der Praxis wird dieser Top-Down-Ansatz sicherlich durch die Berücksichtigung der vorhandenen Kompetenzen und Missionsvorstellungen schon beim Festlegen der Prioritäten beeinflusst. Diese Interaktionen klar zu erkennen und zu benennen ist wichtig, um der Stärke eines konsequenten Top-Down-Ansatzes nicht die Kraft zu nehmen. Der Zeitpunkt für eine Neuorientierung der nationalen Anstrengungen in der Raumfahrt ist optimal: Die Kontakte mit der NASA zeigen neue Möglichkeiten auf, weltweit ist eine Kooperationsbereitschaft erkennbar, die Deutschlands Anstrengungen in der Raumfahrt honoriert und die besonderen Kompetenzen anerkennt.

Ähnlich wie die Raumfahrt ist die Luftfahrt durch eine besondere Situation gekennzeichnet, die besondere Aufmerksamkeit der politischen Ebene erfordert: Beide Themengebiete haben außergewöhnliche wirtschaftliche Bedeutung. Aus diesem Grund sollte nicht nur für die Raumfahrt, sondern auch für die Luftfahrt ein entsprechender Strategieprozess etabliert werden. Im DLR arbeiten wir bereits daran, um auch hier unsere fachlichen und strategischen Überlegungen einzubringen.

Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner ist seit März 2007 Vorstandsvorsitzender des DLR. Seit Januar 2010 bloggt er über DLR-Themen und persönliche Erlebnisse:

www.DLR.de/blogs/janwoerner

Das Forschungsflugzeug Dassault Falcon 20E ist seit 1976 in Betrieb. Seitdem ist es eine der wichtigsten Plattformen deutscher und europäischer flugzeuggetragener Erkundung von Erde und Atmosphäre.

Falcon spürte der Vulkan-Asche-Wolke nach

Das DLR-Forschungsflugzeug Falcon hat sich wieder einmal bewährt, diesmal als „Asche-Jäger". Am 15. April 2010 brach der isländische Vulkan Eyjafjallajökull aus. Die bei der Eruption ausgeworfene Aschewolke verbreitete sich innerhalb kurzer Zeit über weite Teile Europas. Das hatte erhebliche Einschränkungen im europäischen und weltweiten Flugverkehr zur Folge. Nach nur drei Tagen Vorbereitungszeit hob am 19. April 2010 das DLR-Forschungsflugzeug Falcon 20E zu seinem ersten Messflug in Richtung Aschewolke ab. Der Flug erfolgte im deutschen und niederländischen Luftraum. Ziel der Mission war die Erstellung eines Vertikalprofils zur Dicke, Dichte und Zusammensetzung der Wolke sowie deren räumliche Verteilung. Der Ergebnisbericht wurde bereits am folgenden Tag an das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) gesendet. Es konnten Konzentrationen von Vulkanaerosolen in der Atmosphäre nachgewiesen werden. Weitere Einsätze unter anderem bis nach Island folgten.

www.DLR.de/vulkanasche, www.DLR.de/Forschungsflugzeuge

Mit Sonnenkraft rund um den Globus

Nomen est omen: Solar Impulse heißt das Solarflugzeug, das 2012 zu einem Flug rund um den Globus starten soll. Zuvor sind zahlreiche Tests notwendig: So führte das DLR-Institut für Aeroelastik Anfang 2010 in Zürich am Solar Impulse-Prototyp die abschließenden Standschwingungsversuche, die sogenannten Ground Vibration Tests (GVT), durch. Auch an der Propeller-Entwicklung und Flugerprobung arbeiten DLR-Wissenschaftler mit. Ein DLR-Webcast informiert darüber.
www.DLR.de/solarimpulse-webcast

Am 7. April 2010 absolvierte der Prototyp Solar Impulse HB-SIA vom Schweizer Militärflughafen Payerne seinen Jungfernflug. Unter den Augen von tausenden Zuschauern stieg das Solarflugzeug auf eine Höhe von 1.200 Metern. „Diese erste Flugmission war die riskanteste Phase des Projekts. Eine Stunde und 27 Minuten voller intensiver Emotionen nach sieben Jahren beharrlicher Planung und Tests. Nie zuvor ist ein derart großes und leichtes Flugzeug geflogen!", begeisterte sich André Borschberg, CEO und Mitbegründer des Projekts.

Das ambitionierte Projekt stellt höchste Anforderungen an Technik und Konstruktion des Flugzeugs: Solar Impulse muss über große Tragflächen verfügen, damit zum einen genügend Auftrieb entsteht. Zum anderen dienen die Tragflächen zur Aufnahme der Solarzellen, die die vier Elektromotoren antreiben. Batterien müssen tagsüber genug Solarenergie speichern, um die Triebwerke bis zum nächsten Sonnenaufgang mit Energie zu versorgen. Um Energie zu sparen, ist das Flugzeug extrem leicht. Es hat die Spannweite eines Airbus A340, aber lediglich das Gewicht eines Mittelklassewagens.

Die Schweizer Forscher Dr. Bertrand Piccard und André Borschberg erhielten für ihre Pionierleistungen auf dem Gebiet des solaren Fliegens den Braunschweiger Forschungspreis.

www.DLR.de/solarimpulse, www.solarimpulse.com

DLR-Energieforschung präsentiert sich im Wissenschaftsjahr Energie

Im Energiejahr 2010 beantwortet der Wissenschaftsjournalist Jan Oliver Löfken Woche für Woche im DLR-EnergieBlog eine Frage zum Thema Energie. Leser können ihre Fragen unter www.DLR.de/blogs/kontakt stellen.

Das DLR_School_Lab beteiligte sich am Wissenschaftssommer Anfang Juni in Magdeburg: Schüler konnten dort zu Energiethemen experimentieren. Auf dem Ausstellungsschiff MS-Wissenschaft, das seit Mai 2010 auf deutschen Wasserstraßen unterwegs ist, fährt das DLR-Modell eines solaren Turmkraftwerks mit. Der Besucher kann daran nachvollziehen, wie Sonnenstrahlen eingefangen werden, ihre Energie in Strom umgewandelt und ins Netz eingespeist wird. Außerdem beteiligen sich DLR-Energieforscher an der Online-Forschungsbörse „Die Zukunft der Energie". Schulklassen können die Wissenschaftler dort für einen Besuch an ihrer Schule anfragen.

Die Energieforscher im DLR befassen sich in fachübergreifenden Projekten mit der Zukunft der Energie. So entwickelten sie das weltweit erste Flugzeug, das mit einer Brennstoffzelle starten und fliegen kann. Sie verbessern konventionelle Kraftwerke, indem sie die Verbrennung optimieren, und entwickeln gemeinsam mit Partnern aus der Industrie neuartige Energiespeicher. DLR-Forscher haben weltweit anerkannte Expertise beim Prüfen von Spiegeln für Solarkraftwerke und sie zeigten in Studien, dass erneuerbare Energien die Versorgung sichern können.

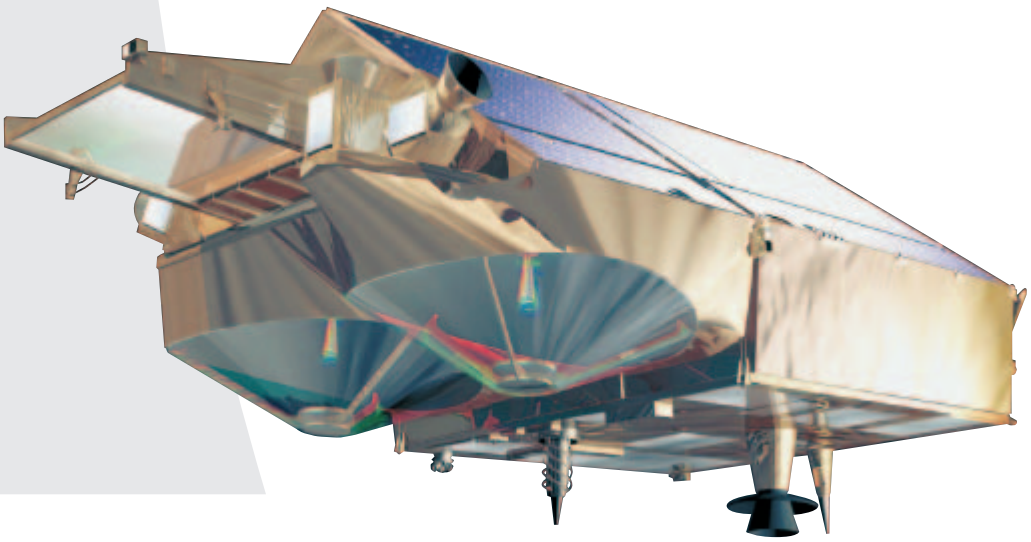
www.DLR.de/energie

CryoSat-2 misst Veränderungen des Meereises

Europas Satellitenmission zur Vermessung Grönlands und der Eisfelder der Antarktis hat begonnen. Seit dem 8. April 2010 ist der Erdbeobachtungssatellit CryoSat-2 auf seiner Erdumlaufbahn in 717 Kilometer Höhe, um die Eisschilde und das Meereis zu erforschen. Damit sollen die Zusammenhänge zwischen der Erderwärmung, dem Abschmelzen der Polkappen und den Veränderungen der ozeanischen Wasser- und Luftzirkulation aufgeklärt werden.

Die Bundesregierung, in deren Auftrag das DLR die Mission fördert, hielt nach Verlust des Vorläufers CryoSat-1 beim Start im Jahr 2005 am Missionskonzept fest. Ab August 2010 sollen nun die Daten des auf fünf Betriebsjahre ausgelegten CryoSat-2 wissenschaftlich nutzbar sein. Sie werden von 18 Forschungseinrichtungen erwartet.

www.DLR.de/cryosat



Himmlischer Betrieb
Wissen, was am Himmel über uns so los ist? Es gibt sie, die Weltkarte der aktuellen Flugbewegungen. Auch Informationen über jene Flugzeuge, die gerade über den eigenen Ort fliegen, sind zu bekommen. Erstaunlich.
www.flightradar24.com

Einfach lernen
Energie, Drehimpuls und Schrödingers Katze: Wissenschaftler der Universität von Nottingham erklären in allgemeinverständlichen Kurzvideos Konzepte und Begriffe aus Physik und Astronomie (englisch).
www.sixtysymbols.com

Sternenbilder
Mit „Stellarium" kann man sich ein Planetarium auf den eigenen Computer holen. Zu sehen: ein realistischer Himmel, so wie man ihn mit bloßem Auge, Fernglas oder Teleskop sehen kann, garantiert wolkenfrei.
www.stellarium.org/de

Stippvisite im Labor
Ob in Köln, Neustrelitz oder Oberpfaffenhofen – Schülerlabore des DLR laden zum Experimentieren ein. Neun der DLR_School_Labs gewähren einen dreidimensionalen Einblick. Wer freilich direkt Hand anlegen will, muss sich anmelden und auf den Weg machen.
www.DLR.de/schoollab-animation

Unter der Erde
Grundlagenphysik als Rap? Tanzende Physiker? Mit einem ebenso originellen wie lehrreichen Song stellen CERN-Wissenschaftler den Large Hadron Collider vor. Teilchenbeschleunigung einmal anders!
tinyurl.com/lhc-rap-de

Wissenschaft live
Nah dran an der aktuellen Forschung und sofort im Dialog: Spannendes und Skurriles zu DLR-Forschungsthemen aus der vielfältigen Web 2.0-Welt verlinkt die Online-Redaktion im DLR-Twitterkanal.
twitter.com/DLR_de

© Fotolia

Das Ganze denken!

Die Aufgabe ist klar: Das Ganze denken. Klingt simpel, hat es aber in sich. Denn es geht um Konzepte für den Lufttransport. „Das Ganze“ meint hier: Systemanalyse und Entwicklung neuer konzeptioneller Lösungsansätze für Luftfahrzeuge inklusive deren Subsystemen sowie für Luftverkehrsinfrastrukturen und den Betrieb des Lufttransportsystems. Außerdem geht es darum, neue Technologien hinsichtlich ihres technischen, ökonomischen und ökologischen Nutzwerts für das Gesamtsystem Lufttransport zu bewerten. Dazu führen die Wissenschaftler erstmals die gesamte Expertise der Luftfahrtinstitute des DLR in einer Einrichtung zusammen. Drei Jahre nachdem diese als Kooperation des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und des Instituts für Lufttransportsysteme an der TU Hamburg-Harburg gegründet wurde, hat sie sich als luftfahrttechnisches Systeminstitut etabliert.

Luftfahrtjournalist Heiko Stolzke sprach mit dem Direktor Prof. Dr. Volker Gollnick und stellt die Einrichtung vor.

Die Hamburger DLR-Einrichtung Lufttransportkonzepte und Technologiebewertung schließt eine Lücke bei der Entwicklung des Lufttransportsystems

Von Heiko Stolzke

Alles begann im Mai 2007 in vier Räumen auf dem Campus der TU Hamburg-Harburg. Bald entwickelte der Aufbau dieser Einrichtung ein Tempo, das den Umzug in den Harburger Hafen erforderlich machte. Heute bearbeiten 30 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedene Aspekte der Analyse des Lufttransportsystems und Lufttransportkonzepte. Hauptaufgabe des Teams ist es, aus Sicht des Gesamtsystems Lufttransport Lösungsansätze für die verschiedenen Teilsysteme Flugzeug, Luftverkehrsinfrastruktur und Betrieb sowie deren Schnittstellen zu konzipieren und Technologien zu bewerten. Nur so lassen sich Lösungen für Teilsysteme entwickeln, die den Anforderungen des Gesamtsystems gewachsen sind. Der Standort Hamburg gehört ebenso wie Seattle, Toulouse und Montreal zu den weltweit führenden Luftfahrtregionen. Mehrere zehntausend Menschen arbeiten hier in der Luftfahrt. Neben Airbus und mittelständischen Zulieferern sind auch Lufthansa Technik und der Flughafen bedeutende Arbeitgeber. Dazu kommen Universitäten und Fachhochschulen.

„Luftfahrtsystemtechnik ist ein Begriff, der sich in den letzten Jahren aus der Systemtechnik und Systemtheorie heraus entwickelt hat. Er beschreibt die Erkenntnis, dass man beim Bau eines neuen Flugzeugs, Flughafens oder Flugführungssystems oder bei der Entwicklung eines neuen Transportkonzepts nicht nur Einzelkomponenten und Teilsysteme sehen darf, sondern das Zusammenspiel im Blick haben muss“, erklärt Einrichtungsleiter Prof. Dr. Volker Gollnick. Um diese Herausforderung zu bewältigen, sollte man ein klares Bild sowohl vom Lufttransportsystem in seinen Grundzügen haben, als auch über grundlegende Kompetenz im jeweiligen Teilsystem verfügen. Diese Kompetenzen zu bündeln, ist die Stärke der Einrichtung Lufttransportkonzepte & Technologiebewertung. Sie führt ihr Know-how mit dem fachlichen Detailwissen zusammen, das die anderen DLR-Luftfahrtinstitute jahrzehntelang erworben haben.

Vom Flugzeug über den Flughafen bis zu Flugführung – Lufttransport wird von DLR-Forschern als System verstanden und entsprechend erforscht

Bis hin zum Transportweg von Tür zu Tür

„Damit schließen wir eine Lücke auf dem Gebiet der Luftfahrtsystemtechnik", führt Gollnick aus. Diverse DLR-Institute befassen sich seit Jahren mit Einzel- oder Teilaspekten der Luftfahrt: Wissenschaftler in Braunschweig entwickeln Methoden und Lösungen zur aerodynamischen Gestaltung des Flugzeugs, andere arbeiten an neuen Konzepten für die Flugsicherung. In Köln und Stuttgart wird zu Bauweisen und Werkstoffen sowie zur Antriebstechnik geforscht. Es gab jedoch keine Einrichtung, die sich mit neuen Gesamtkonzepten sowie der Integration und Wechselwirkungen aller Einzelsysteme beschäftigt. In Hamburg ist nun die erste systemübergreifende Forschungsstätte entstanden. Sie soll das DLR in die Lage versetzen, neue Luftfahrttechnologien aus verschiedenen Blickwinkeln zu konzipieren und zu bewerten, bis hin zum Transportweg von Tür zu Tür.

Derzeit laufen mehrere Projekte, um die Fähigkeit zur gesamtsystemischen Analyse auszubauen. Im Spitzenclusterprojekt „Effizienter Flughafen 2030", für das die DLR-Wissenschaftler in Hamburg die Federführung haben, werden verschiedene technologische Ansätze für effizienten Lufttransport der Zukunft untersucht. Unter Leitung von Klaus Lütjens erstellen die Forscher Konzepte zum Lufttransportbetrieb. Das schließt Technologien zur besseren Steuerung des Passagierflusses im Flughafen ebenso ein wie neue Leitstände zur Steuerung der Betriebsabläufe auf dem Flughafenvorfeld. Das ist insbesondere bei Kurzstreckenflügen ein wesentlicher Wettbewerbsaspekt: Dauern Anreise, Check-in und Rollen auf dem Taxiway länger als der Flug, so gewinnen Schiene oder Straße den Kunden. Während hierzu die Einrichtung Lufttransportkonzepte & Technologiebewertung das Gesamtkonzept entwirft, liegt der Schwerpunkt der detaillierten Prozesssimulation im Terminal bei der Einrichtung Flughafenwesen & Luftverkehr. Leitstände hingegen werden durch das DLR-Institut für Flugführung entwickelt. Weitere Partner aus dem industriellen und universitären Hamburger Umfeld komplettieren das Projekt durch die Modellierung der Flughafenanbindung sowie durch Flugzeugentwürfe und Steuerungstechnologien. Dieses Projekt ist das bisher größte und läuft über fünf Jahre.

Ein weiteres Projekt beschäftigt sich mit dem „Klimaoptimierten Lufttransportsystem", kurz CATS: Gemeinsam mit weiteren DLR-Instituten wird untersucht, welchen Nutzen höhenvariable Flugbahnen auf Langstrecken haben, um unter anderem die Bildung von Kondensstreifen zu vermeiden. Hierzu werden in Hamburg repräsentative Flugmissionen spezifiziert und berechnet sowie an diese Missionen angepasste Flugzeugentwürfe erstellt. Die Bewertung hinsichtlich des Klimaeinflusses erfolgt gemeinsam mit dem DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen.

Das Projekt VAMP – der Durchbruch beim örtlich verteilten Entwerfen

Das Projekt VAMP (Virtual Aircraft Multidisciplinary Analysis and Design Processes) ist eines der Schlüsselprojekte und typisch für die integrierende Arbeitsweise. Ziel ist eine verteilte Entwurfsumgebung, mit der Flugzeuge an verschiedenen Standorten gemeinsam entwickelt werden können. Wenn diese Möglichkeit in wenigen Monaten im DLR gegeben ist, bedeutet das einen technischen und methodischen Durchbruch in der ganzheitlichen Entwicklung von Luftfahrtsystemen. Die Entwicklung der gemeinsamen Beschreibungssprache CPACS (Common Parametric Aircraft Configuration Scheme) für das Lufttransportsystem wurde in dem Vorläuferprojekt TIVA unter Führung des Instituts für Aerodynamik & Strömungsmechanik erreicht. Ebenso konnten erste Auslegungswerkzeuge verknüpft werden. In VAMP geht es jetzt darum, Entwurfsmethoden zu erweitern und Anwendungsprozesse zur individuellen und gemeinschaftlichen Nutzung der Werkzeuge zu entwickeln. Das gemeinsame Entwicklungsziel wird durch eine sogenannte Virtuelle Integrations-Plattform (VIP) beschrieben, die vollständige Lufttransportkonzepte darstellt. Für diese sind dann gemeinsam von den Instituten spezifische Technologieentwicklungen, Flugzeugentwürfe und Betriebskonzepte zu erarbeiten.

Dieses virtuelle Integrationsprodukt, das derzeit für Kurz- und Langstreckenflugzeuge sowie Überschallgeschäftsreiseflugzeuge in Hamburg entwickelt wird, ist auch Basis für die Bewertung neuer Technologien. Hiermit befasst sich die Abteilung Technologiebewertung und Szenariotechnik. Sie entwirft Zukunftsbilder der Luftfahrt und erstellt auf dieser Basis die technologischen Anforderungen. Des Weiteren entwickelt sie Bewertungsmethoden und leitet Kriterien ab, an denen sich

Das junge Team um Professor Volker Gollnick ist in den letzten drei Jahren auf fast 30 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter gewachsen

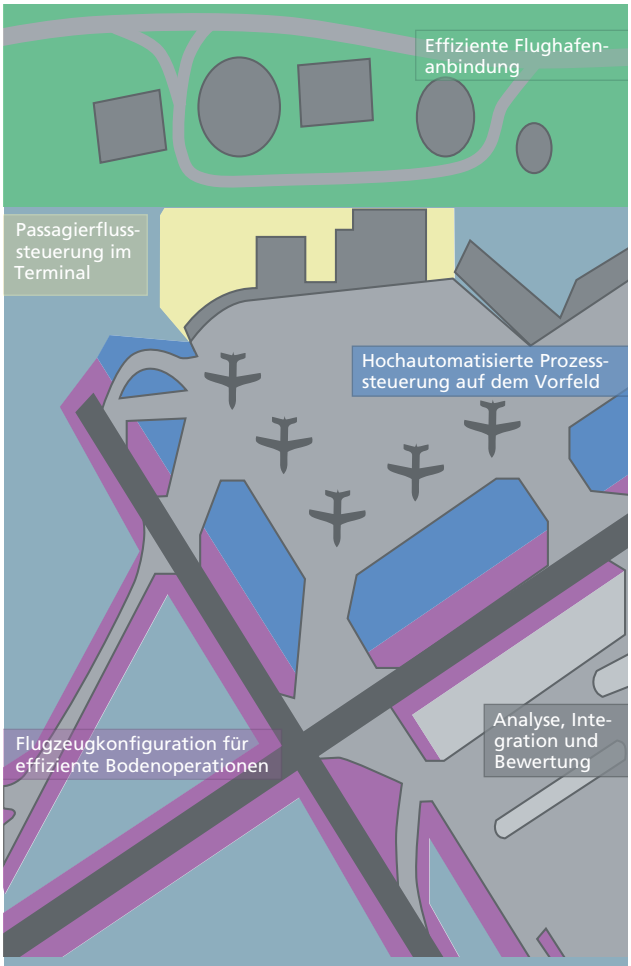
der technische, ökologische und ökonomische Nutzwert neuer Technologien spiegelt. So untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, welche technischen Leistungen Brennstoffzellen im Flugzeug erzielen und welche ökonomischen und ökologischen Aspekte der Einsatz hat. Um diesen Dreiklang von technischer, ökologischer und ökonomischer Bewertung unter einen Hut zu bringen, beschäftigt sich Doktorandin Xiaoqian Sun mit Multi Attribute Decision Making. Diese Methode vereinigt verschiedene Merkmale in einem Bewertungsverfahren, denn bei der Entwicklung von Szenarien geht es nicht um spekulative Blicke in die Zukunft. Stattdessen werden unterschiedliche Entwicklungsstränge herausgearbeitet und analysiert.

Für den wissenschaftlichen Nachwuchs ist Hamburg eine gute Adresse

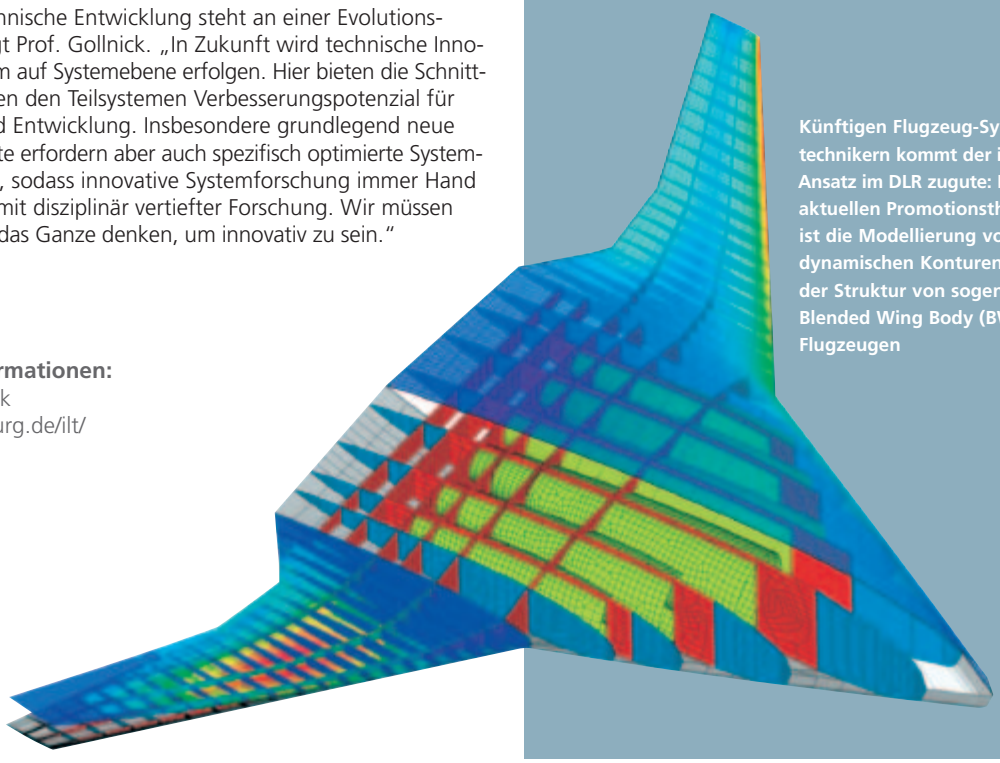
Ausbildung ist ebenfalls ein wichtiger Aspekt in der Hamburger DLR-Einrichtung. In Kooperation mit der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) können Studien-, Diplom- und Masterarbeiten geschrieben werden, auch Promotionen sind möglich. Die integrierte Struktur der DLR-Einrichtung und des TU-Instituts schafft Synergien für beide Partner. Zusammen mit der TU Hamburg-Harburg und den dortigen luftfahrtbezogenen Instituten wird derzeit ein luftfahrttechnischer und systemorientierter Studiengang Flugzeug-Systemtechnik angeboten. Er umfasst sowohl Flugzeugsystemtechnik und Kabinensysteme als auch Produktions- und Montagetechnik sowie das Lufttransportsystem. Dieser systemorientierte und interdisziplinäre Studiengang ist derzeit einzigartig in Europa. Das Hamburger Institut leistet hier mit Vorlesungen zum Flugzeugentwurf, zur Flugführung, zum Flugzeugbetrieb und zur Technologiebewertung einen erheblichen Beitrag. Über 30 Studien- und Diplomarbeiten zeugen von Erfolg und Nutzen dieses Engagements. Einer der Doktoranden am Institut ist Pier Davide Ciampa. Er befasst sich mit der integrierten Modellierung von aerodynamischen Konturen und der damit gekoppelten Struktur von sogenannten Blended Wing Body (BWB) Flugzeugen. Diese Konfiguration stellt einen weiten Blick in die Zukunft des Flugzeugbaus dar. Es ist von großem Interesse für die Hamburger, zu verstehen, wie eine solche Konfiguration sich flugmechanisch verhält und wie eine optimale Strukturauslegung erfolgen kann. Mit dieser Arbeit ergänzt Ciampa das Großprojekt VAMP.

„Die technische Entwicklung steht an einer Evolutionsschwelle“, sagt Prof. Gollnick. „In Zukunft wird technische Innovation vor allem auf Systemebene erfolgen. Hier bieten die Schnittstellen zwischen den Teilsystemen Verbesserungspotenzial für Forschung und Entwicklung. Insbesondere grundlegend neue Systemkonzepte erfordern aber auch spezifisch optimierte Systemkomponenten, sodass innovative Systemforschung immer Hand in Hand geht mit disziplinär vertiefter Forschung. Wir müssen daher künftig das Ganze denken, um innovativ zu sein.“

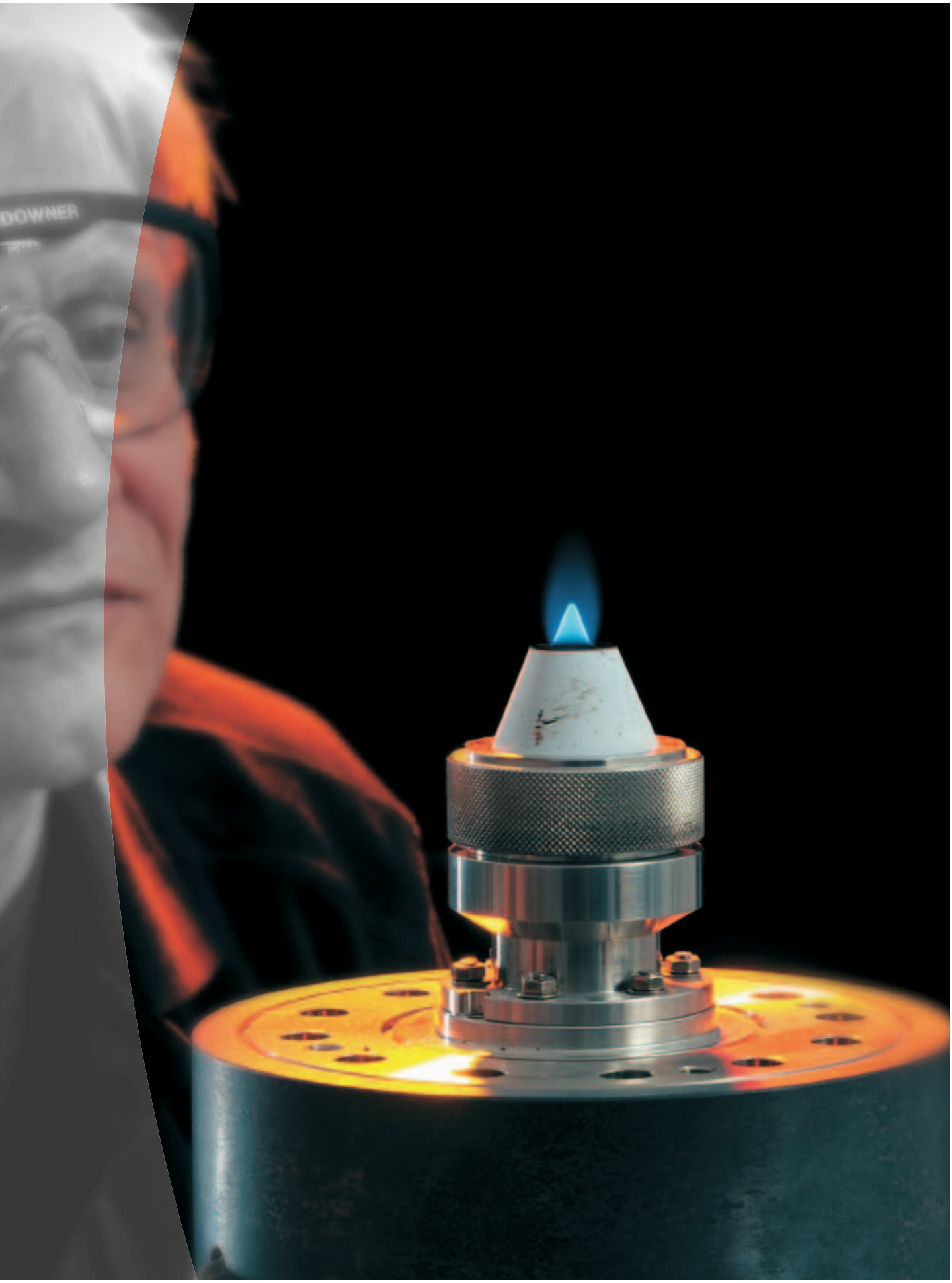
Weitere Informationen:
www.DLR.de/lk
www.tu-harburg.de/ilt/



Für den Lufttransport von morgen müssen unterschiedlichste Komponenten miteinander verknüpft werden



Künftigen Flugzeug-Systemtechnikern kommt der integrale Ansatz im DLR zugute: Eines der aktuellen Promotionsthemen ist die Modellierung von aerodynamischen Konturen und der Struktur von sogenannten Blended Wing Body (BWB) von Flugzeugen


DOWNER

Alternative Treibstoffe in der Luftfahrt

Kerosin ist der Flugtreibstoff für alle Jet-Flugzeuge. Es wird aus Erdöl hergestellt, doch die Vorräte schrumpfen – in absehbarer Zeit wird man es sich nicht mehr leisten können, Erdöl zu Brennstoff zu verarbeiten. Doch ist eine Luftfahrt ohne Kerosin machbar? Das Stuttgarter DLR-Institut für Verbrennungstechnik erforscht seit mehreren Jahren neue synthetische Treibstoffe für den Luftverkehr, gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung. Die Vision ist, Kerosin auf Erdölbasis zu ersetzen und langfristig durch einen besseren Treibstoff abzulösen. Sogenannte synthetische Treibstoffe auf Basis von Kohle, Erdgas oder Biomasse könnten die Lösung sein.

DLR erforscht den Verbrennungsprozess in der Fluggasturbine

Von Dr. Marina Braun-Unkhoff und Dr. Patrick Le Clercq

Weltweit wird daran gearbeitet, alternative Treibstoffe für die zivile Luftfahrt einzusetzen. Flugzeugbauer, Triebwerkshersteller, Energiekonzerne, Forschungseinrichtungen und Fluggesellschaften kooperieren für dieses Ziel. Dies erfolgt auch vor dem Hintergrund des Kohlendioxids (CO_2), das bei der Verbrennung von Kerosin in die Atmosphäre gelangt und zur globalen Erwärmung beiträgt, auch wenn der Luftverkehr dabei nur mit zwei bis drei Prozent zu Buche schlägt. Die Europäische Union hat beschlossen, die Luftfahrt ab 2012 in den Emissionshandel für alle Starts und Landungen innerhalb Europas miteinzubeziehen. Der Dachverband der Fluggesellschaften (IATA) verkündete, dass der CO_2-Gesamtausstoß ab 2050 nicht höher sein solle als 2005 und der CO_2-Zuwachs ab 2020 CO_2-neutral erfolgen solle. Der einzige Weg zur CO_2-Neutralität besteht aber darin, nachhaltige Treibstoffe einzusetzen. Andere Wege wie neue, sparsamere Triebwerke und ein effizienteres Luftverkehrsmanagement können CO_2 einsparen, es aber nicht vermeiden. Airbus rechnet mit einem Anteil von bis zu 15 Prozent der Biotreibstoffe bis 2020, Lufthansa will ihre Flotte bis 2020 mit bis zu zehn Prozent Biotreibstoffen betanken.

Zahlreiche Testflüge in den letzten beiden Jahren haben die grundsätzliche Machbarkeit demonstriert. Allen diesen Flügen ist gemeinsam, dass der alternative Treibstoff als Beimengung in unterschiedlichen Anteilen zum Kerosin der aktuell überwiegend zum Einsatz kommenden Spezifikation Jet A-1 in einem der Triebwerke eingesetzt wurde. Der Erstflug eines zivilen Verkehrsflugzeugs Anfang 2008 (Airbus A380, Shell 50 Prozent Gas-to-Liquid (GtL) + 50 Prozent Jet A-1, Triebwerk: Rolls Royce) ist ein Meilenstein auf diesem Weg, ebenso wie der erste kommerzielle reguläre Linienflug am 12. Oktober 2009 (Qatar Airways, A340-600, 50 Prozent GtL + 50 Prozent Jet A-1, Triebwerk: RR). Ein erster Testflug mit einem 1:1-Gemisch aus Biotreibstoff / Jet A-1 erfolgte im November 2009 (KLM, Boeing 747-400); 40 ausgewählte Passagiere der Branche erlebten ihn mit.

Der erste Schritt ist also getan, die Machbarkeit gezeigt. Geeignete alternative Treibstoffe zu finden, ist der nächste Schritt. Diese sollen nachhaltig in ausreichender Menge produziert werden und zu konkurrenzfähigen Preisen verlässlich weltweit verfügbar

Messung der Wärmefreisetzung an einem Brenner des Stuttgarter DLR-Instituts für Verbrennungstechnik: Langjährige Erfahrung für die perfekte Flamme – sie brennt ruhig und hat die Form eines Kegels

Erster kommerzieller Linienflug mit synthetischem Gas to Liquid (GtL)-Treibstoff: Der Airbus A340-600 der Qatar Airways

Die Rußpartikel im Blick – Analysegeräte zur Untersuchung der Schadstoffemissionen neuer Treibstoffe im DLR-Institut für Verbrennungstechnik

Forschung für die Triebwerksbrennkammern der Zukunft

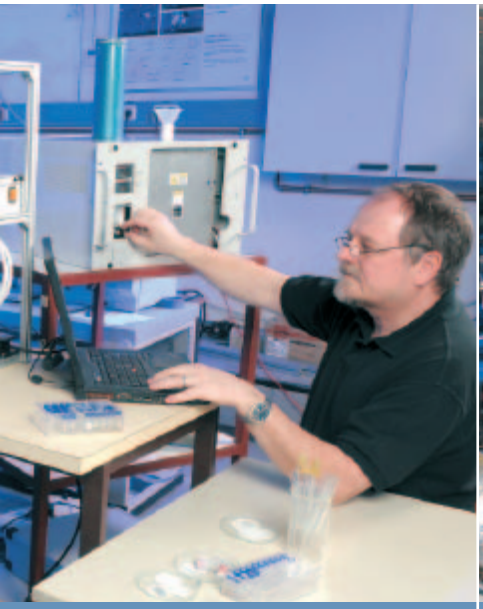
Triebkraft für alle Akteure, insbesondere auch denen im DLR, ist die Aussicht auf Verbesserungen der Umweltbilanz durch die neuen Treibstoffe. Der GtL-Treibstoffe etwa bietet die Chance auf weniger Schadstoffemissionen, da weniger Rußpartikel freigesetzt werden. Dies verspricht eine bessere Luftqualität für die Menschen, die in Flughafennähe wohnen. Weitere Studien des DLR befassen sich mit der Oxidation des Treibstoffs, zum Beispiel mit der Wärmefreisetzung und seinem Zündverhalten einschließlich des Wiederzündens in großen Höhen. Hierzu erfolgen umfangreiche Experimente an verschiedenen Prüfständen, etwa an einem Hochdruckbrenner oder an einer Stoßrohranlage. Diese Erkenntnisse dienen als Basis für die Entwicklung und Optimierung der Simulationswerkzeuge. Nicht zuletzt wird so ein verlässliches Bild der Verbrennung des alternativen Treibstoffs in der Fluggasturbine möglich, einschließlich der Beschreibung der Zerstäubung und Verdunstung des flüssigen Treibstoffs, oder auch der Wärmebelastung der Brennkammerwände und der Schadstoffemissionen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen entwickelt die Industrie neue Triebwerksbrennkammern für die alternativen Treibstoffe. Die Erprobung dieser neuen Brennkammern findet dann wieder im DLR statt.

sein – ohne erforderliche Systemumstellung. Das wichtigste Kriterium aber bleibt die Zulassung für den Luftverkehr, denn die Flugsicherheit ist oberstes Gebot. Deshalb müssen alle zukünftigen Treibstoffe entsprechende Zertifizierungsstandards wie ASTM D1655 „Standard Specification for Aviation Turbine Fuels“ erfüllen. Dies wird durch einen aufwändigen Zertifizierungsprozess gewährleistet.

Erforschung neuer Treibstoffe von den Grundlagen bis zum Einsatz in der Fluggasturbine

Alternative Treibstoffe werden nur dann verfügbar gemacht werden, wenn sie umweltfreundlicher sind als herkömmliches Kerosin. Dies zu bewerten ist Ziel von Studien zu den Lebensdauerzyklen. In ihnen wird die gesamte Produktionskette synthetischer Treibstoffe systematisch im Hinblick auf klimarelevante Emissionen wie CO_2 analysiert, aber auch Auswirkungen auf Biodiversität und die Konkurrenz zur Nahrungskette berücksichtigt. Beispielsweise werden alle anfallenden CO_2-Emissionen in ihrer Gesamtheit von der Quelle bis zum Nachlauf betrachtet: im Falle von Biotreibstoffen von Anbau, Ernte, Transport und Aufbereitung der Rohstoffe, über den eigentlichen Produktionsprozess von den Rohstoffen zum Treibstoff, bis zum Vertriebsweg des fertigen Produkts und der Verbrennung des Treibstoffs in der Turbine selbst. Dies ist kein leichtes Unterfangen, da bisher kein einheitlicher Standard für die Erstellung solcher Analysen besteht; zudem ist der sogenannte business case noch nicht validiert. Solche systematischen Untersuchungen erleichtern die Auswahl von Rohstoffen und Produktionsverfahren.

Alternative Treibstoffe werden meist dem herkömmlichen Kerosin zugemischt. Allein der kohlebasierte synthetische Treibstoff von Sasol ist als hundertprozentiger Flugtreibstoff zertifiziert. Als sogenannter „Drop-in-Treibstoff“ bietet er den Vorteil, dass keinerlei Modifizierungen am Flugzeug oder am Triebwerk notwendig sind. Derzeit werden synthetische Treibstoffe in zwei Hauptprozessen aus vielerlei Rohstoffen gewonnen. Das Fischer-Tropsch-Verfahren dient zur Herstellung der mit der Variablen X bezeichneten XtL-Treibstoffe, die aus Biomasse (BtL), Erdgas (GtL), Kohle (CtL) oder anderen Ausgangsstoffen bestehen können. Sogenannter HRJ-Treibstoff (hydrotreated renewable jet) wird aus nicht zum Verzehr geeigneten Pflanzenölen wie Jatropha



Um das Zündverhalten und die Verbrennung zu analysieren, müssen hoher Druck und hohe Temperaturen innerhalb von Mikrosekunden auf den Punkt gebracht werden. Das geschieht in der Stoßwellenrohranlage.

sowie aus Abfall- und Nebenprodukten produziert. Zunächst wird der in den Ölen gebundene Sauerstoff entfernt; sogenanntes selektives Hydrocracken erlaubt die Synthese eines für die Verwendung als Flugtreibstoff optimierten Kohlenwasserstoffgemischs. Ökologisch betrachtet sollten BtL und HRJ-Kerosin der bessere Weg zum umweltfreundlichen Fliegen sein, sie sind jedoch bisher nur in geringen Mengen verfügbar.

Mit einer breiten Einführung des synthetischen Treibstoffs GtL wird in zehn Jahren gerechnet. Langfristig wird erwartet, dass Biotreibstoffe der zweiten Generation, mittelfristig aus salzwassertoleranten Pflanzen (Halophyten) und zukünftig aus Algen gewonnen, verfügbar sein werden. Um aus Biomasse den Lufttreibstoffbedarf weltweit zu decken, ist eine Fläche von der Größe Deutschlands nötig. Werden dagegen Algen genutzt, so könnte eine Fläche von der fünfzehnfachen Größe Berlins genügen, geht aus optimistischen Betrachtungen hervor.

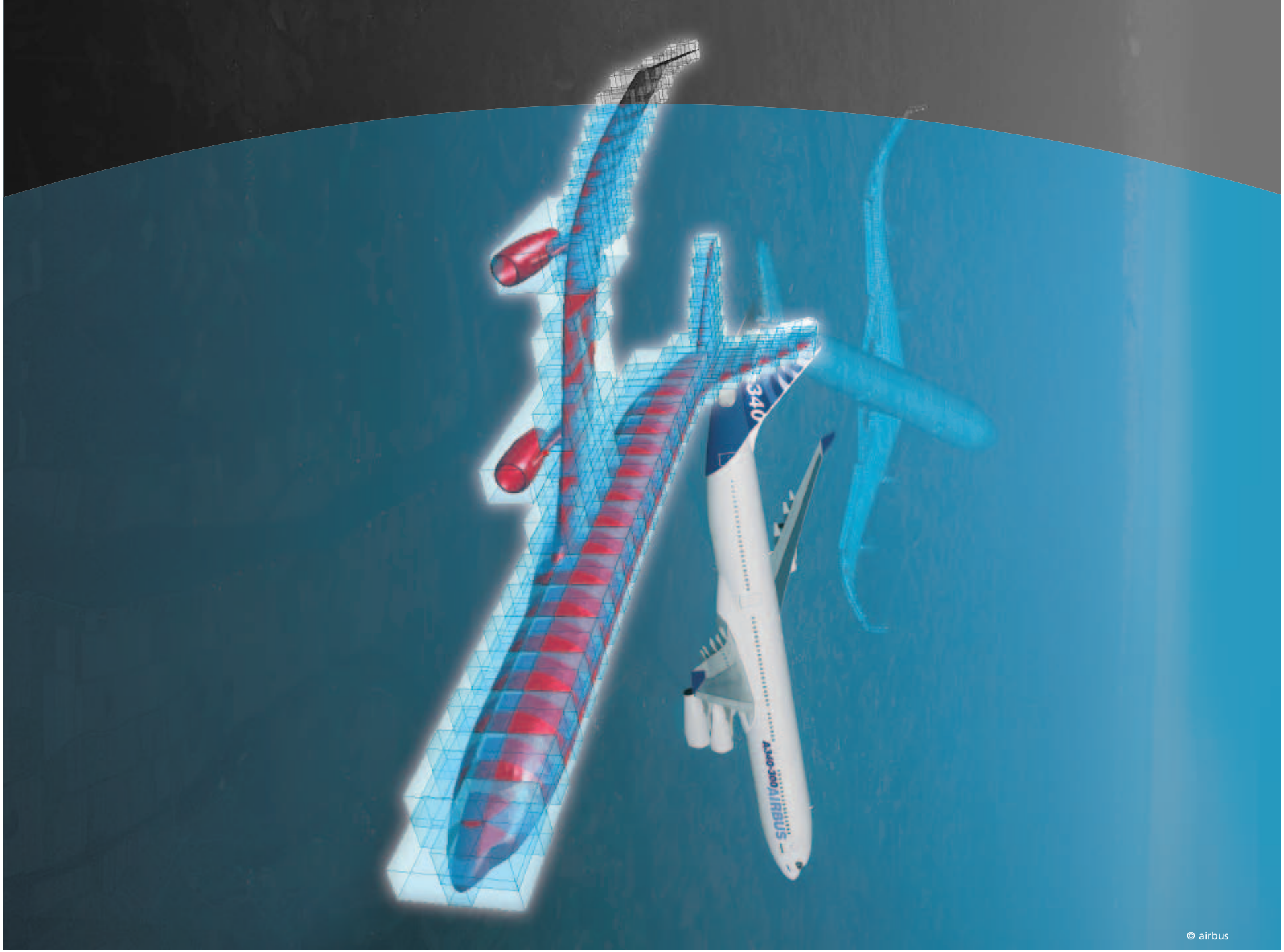
Die neuentwickelten Treibstoffe werden mindestens dieselben physikalischen Eigenschaften wie das heutige Kerosin aufweisen. Dies garantiert die Kompatibilität sowohl mit den derzeitigen als auch den für die Zukunft geplanten Triebwerken und Triebwerkskomponenten. So ist auch eine aufwändige Systemumstellung, wie etwa bei der Infrastruktur des Betankens eines Flugzeugs, vermeidbar. Untersuchungen der neuen Treibstoffgeneration hat das DLR-Institut für Verbrennungstechnik derzeit im Fokus, beispielsweise hinsichtlich Umweltfreundlichkeit und Zuverlässigkeit. Gleichzeitig werden neue notwendige Werkzeuge entwickelt, um die Zusammenstellung eines neuen Treibstoffs zu verbessern, z. B. hinsichtlich der optimalen Anzahl von Kohlenstoff-Atomen und eines optimalen Verhältnisses von verzweigten und langkettigen Kohlenwasserstoffmolekülen. In einem gezielten Designprozess entsteht so aus vielen einzelnen Molekülen ein neuer Treibstoff, der die Spezifikationen erfüllt und für den Luftverkehr zugelassen werden kann.

Die Forschungsarbeiten erfolgen gemeinsam mit Partnern. Auf EU-Ebene steht als Entscheidungshilfe für die Politik (EU-Auftrag SWAFEA) die Machbarkeit und Wirkung des Einsatzes alternativer Treibstoffe in der Luftfahrt im Mittelpunkt. Eine Roadmap für alternative Flugtreibstoffe wird im EU-Projekt ALFA-BIRD erarbeitet, um deren Einsatz in der Luftfahrt voranzutreiben. Dazu kommen weitere Kooperationen, beispielsweise mit Shell, Rolls Royce plc und dem Technologiezentrum Qatar Science & Technology Park.

Die Entwicklung neuer Flugzeugtreibstoffe ist im Gange. Ihre technische Machbarkeit wurde demonstriert. Die Herausforderung ist, sie nachhaltig und in ausreichenden Mengen zu produzieren. Große Anstrengungen sind nötig, seitens der Industrie und in der Forschung. Die Studien zu Gas-to-Liquid (Gtl) sind ein entscheidender erster Schritt hin zur Nutzung von synthetischen Treibstoffen in der Luftfahrt. Sie stellen eine wichtige Brücke zu den langfristig angestrebten nachhaltigen Biotreibstoffen dar. Die gewonnenen neuen Erkenntnisse sind auf die Entwicklung von leistungsstarken Biofuels übertragbar. Nachhaltige Treibstoffe in der Luftfahrt wären machbar. Und dann könnte die Vision einer klimaneutralen Luftfahrt wahr werden.

Autoren:
Dr. Marina Braun-Unkhoff und Dr. Patrick Le Clercq bearbeiten im DLR-Institut für Verbrennungstechnik in Stuttgart das Thema Alternative Treibstoffe in der Luftfahrt. Ihr Schwerpunkt liegt in der Beschreibung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von synthetischen Treibstoffen. Patrick Le Clercq arbeitet insbesondere an der Modellierung und Simulation von Mehrphasen-Strömungen und den physikalischen Eigenschaften von Brennstoffen; Marina Braun-Unkhoff befasst sich vor allem mit der Beschreibung der Verbrennungseigenschaften von Brennstoffen.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/VT
www.alfa-bird.eu-vri.eu
www.iata.org
www.caafi.org



© airbus

Grüne Strukturen schwingen anders

Der weltweite Luftverkehr hat sich in den vergangenen 30 Jahren verfünffacht. Es wird erwartet, dass er in den nächsten 15 Jahren abermals deutlich zunimmt. Expertenschätzungen gehen vom Zwei- bis Dreifachen aus. Ein neu entwickeltes Flugzeug galt bisher dann als fortschrittlich, wenn ein Plus an Leistungsfähigkeit, Wirtschaftlichkeit und Sicherheit zu verzeichnen war. Das genügt heute nicht mehr: Flugzeuge der Zukunft dürfen die Umwelt nicht mehr so stark belasten, sie müssen gesellschaftlich akzeptiert werden. So ist es auch in Europas Zusammenschluss der Luftfahrtbranche ACARE in seiner Vision 2020 fixiert. Das DLR mobilisiert die Kompetenz mehrerer seiner Forschungsinstitute für dieses Ziel: das „grüne" Flugzeug – iGREEN.

Leichtbau, bessere Triebwerke und optimierte Flügel für das umweltverträgliche Flugzeug der Zukunft

Von Dr. Ralph Voß

Wenn es in der Vergangenheit gelang, Leistung, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit neuer Flugzeuge stetig zu steigern, dann hatten Leichtbau, Triebwerke mit hohem Nebenstromverhältnis und aerodynamisch optimierte Flügelgeometrien einen hohen Anteil daran. Diese Techniken verursachten aber auch unvorhergesehene, teilweise sicherheitsrelevante aeroelastische Wechselwirkungen zwischen der Flugzeugstruktur und der Umströmung. Bei neuartigen Flugzeugkonzepten werden diese wahrscheinlich eine noch stärkere Rolle spielen. Nur wenn man diese aeroelastischen Effekte schon während des Flugzeugentwurfs berücksichtigt, kann man ihre negativen Auswirkungen begrenzen. Neue, große Triebwerke versprechen Erfolg, aber auch Flügel mit großer Streckung und Laminarprofilen sowie multifunktionale Steuerflächen zur Umverteilung von Böen- und Manöverlasten. Um das Potenzial dieser Maßnahmen besser auszuschöpfen, muss man die physikalischen Phänomene noch besser verstehen und noch genauere und verlässliche numerische Simulationsverfahren in den Entwurfsprozess einbinden.

Im DLR-Projekt iGREEN (integrated green aircraft) werden die aeroelastischen Auswirkungen der verschiedenen Maßnahmen untersucht. Dabei arbeiten die DLR-Institute für Aeroelastik, für Aerodynamik und Strömungstechnik, für Antriebstechnik, sowie die Einrichtung für Lufttransportkonzepte und Technologiebewertung, das Systemhaus Technik und die Stiftung Deutsch-Niederländische Windkanäle (DNW) zusammen. Mit numerischen Simulationen und mit Windkanalexperimenten versuchen die Forscher, bestimmten Phänomenen auf die Spur zu kommen. Dabei helfen geometrisch vereinfachte, die wesentlichen Einzeleffekte repräsentierende, sogenannte generische Modelle. Die Ergebnisse und Verfahren werden am Beispiel eines Referenzmodells für ein „grünes" Flugzeug in den Entwurfsprozess integriert.

Experten schätzen, dass der Flugverkehr in den nächsten 15 Jahren um das Zwei- bis Dreifache steigen wird. Flugzeuge der Zukunft dürfen die Umwelt nicht mehr so stark belasten. Das DLR mobilisiert die Kompetenz mehrerer seiner Forschungsinstitute für das „grüne" Flugzeug iGREEN.

Das Referenzflugzeug weist gegenüber real existierenden vergleichbaren Flugzeugen der A320-Klasse folgende Entwurfscharakteristika auf: vorwärts gepfeilte Flügel mit Laminarprofilen, große Steuerflächen zur Lastabminderung, ein T-Leitwerk sowie eine Heckanordnung der Triebwerke. Diese Gesamtkonfiguration wurde in Abstimmung mit dem Projekt LamAIR, das sich mit allen Aspekten des Laminarflügelentwurfs beschäftigt, ausgewählt. Die aeroelastischen Auswirkungen der einzelnen „grünen" Entwurfscharakteristika werden in iGREEN numerisch und experimentell zunächst isoliert betrachtet und an generischen Modellen untersucht. Vor allem kommt es den Entwicklern darauf an, den Widerstand zu reduzieren, das Strukturgewicht zu verringern und den Treibstoffverbrauch zu senken – und das alles bei gleichbleibender aeroelastischer Stabilität.

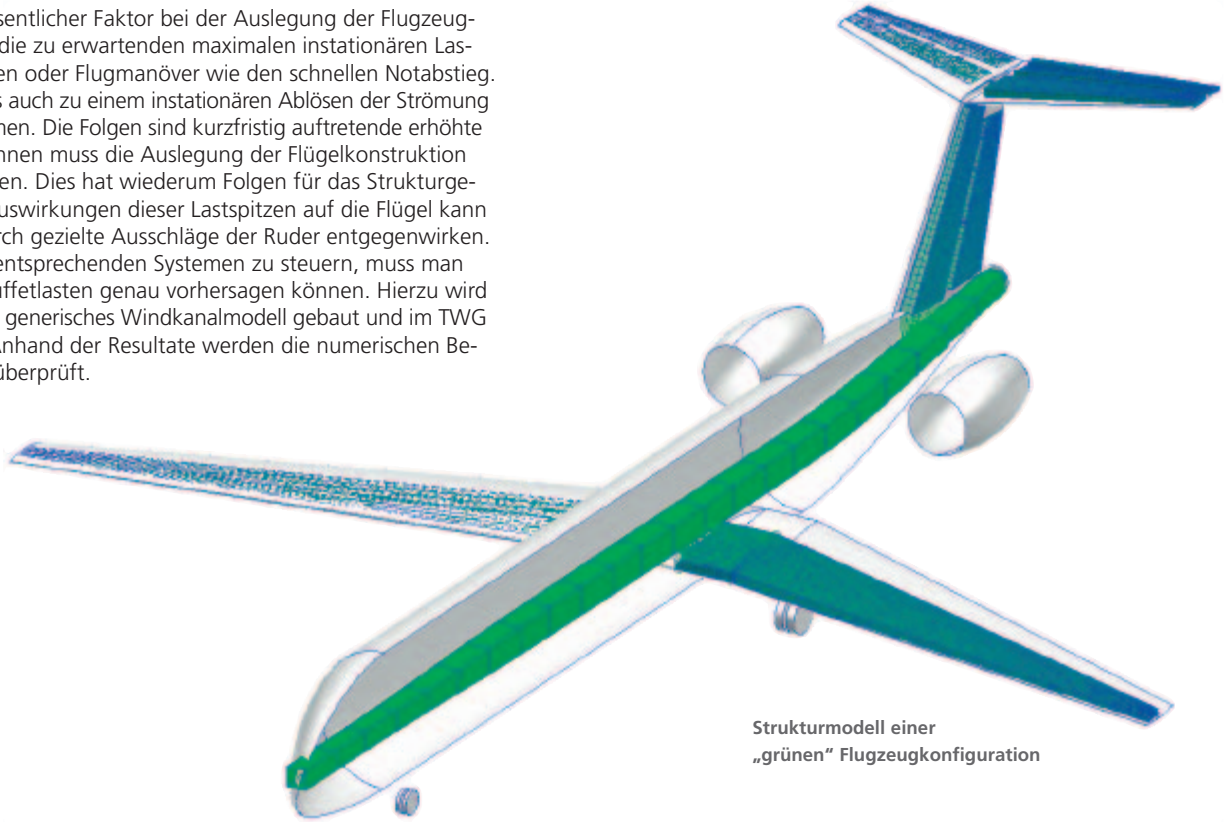
Flatterversuche im Windkanal

Laminarflügel haben einen Vorteil: Der Umschlag einer gleichmäßigen Umströmung des Flügels zu einer turbulenten Strömung findet nicht wie bei konventionellen Flügeln an der Vorderkante statt, sondern erst im hinteren Flügelbereich. Das reduziert den Widerstand und spart Treibstoff. Damit werden aber auch die stationäre und die – für die Flatterstabilität maßgebliche – bewegungsinduzierte instationäre Druckverteilung auf dem Flügel verändert. Die Folgen für das Verhalten des Flügels sind noch unerforscht. Das wird nun in iGREEN an einem einfachen Flügelmodell mit Laminarprofilgeometrie sowohl bei zwangserregten Schwingungen als auch bei freier elastischer Aufhängung im Flatterversuchsstand des Instituts für Aeroelastik im Transsonischen Windkanal Göttingen (TWG) des DNW untersucht. Das Modellprofil wurde auf der Basis numerischer Simulationen von den Instituten für Aeroelastik sowie für Aerodynamik und Strömungstechnik definiert. Bei der Auswahl der numerischen Simulationstechniken kooperieren die Wissenschaftler bezüglich der Transitions- und Turbulenzmodellierung mit den Kollegen des DLR-Projekts Rettina. Die Windkanalversuche werden unter der Leitung des Instituts für Aeroelastik durchgeführt, das für Versuchsaufbau und Modelltechnik, für das Messen der instationären Drücke und Kräfte sowie für die Beurteilung der Flatterstabilität verantwortlich ist.

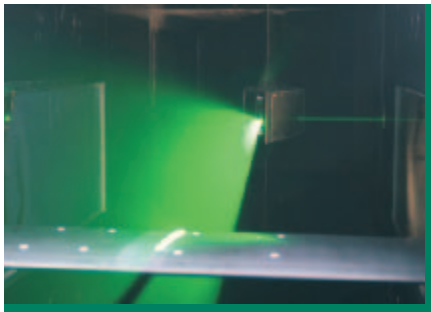
Ein wesentlicher Faktor bei der Auslegung der Flugzeugstruktur sind die zu erwartenden maximalen instationären Lasten durch Böen oder Flugmanöver wie den schnellen Notabstieg. Dabei kann es auch zu einem instationären Ablösen der Strömung (Buffet) kommen. Die Folgen sind kurzfristig auftretende erhöhte Lastspitzen. Ihnen muss die Auslegung der Flügelkonstruktion gerecht werden. Dies hat wiederum Folgen für das Strukturgewicht. Den Auswirkungen dieser Lastspitzen auf die Flügel kann man aber durch gezielte Ausschläge der Ruder entgegenwirken. Um dies mit entsprechenden Systemen zu steuern, muss man Böen- und Buffetlasten genau vorhersagen können. Hierzu wird in iGREEN ein generisches Windkanalmodell gebaut und im TWG untersucht. Anhand der Resultate werden die numerischen Berechnungen überprüft.

Das Modell besteht aus zwei Tragflügeln, die im Kanal hintereinander angeordnet sind. Die vordere Tragfläche soll instationäre Böen und die dynamische Strömungsablösung erzeugen, indem sie entweder zu geführten harmonischen Schwingungen angeregt oder unter hohem Winkel angestellt wird. Am zweiten, stromab liegenden Flügel werden die dort induzierten Druckschwankungen und die daraus resultierenden Strukturbewegungen gemessen und berechnet. Der Versuchsaufbau wird gemeinsam von den beiden DLR-Instituten auf der Basis numerischer Simulationen ausgelegt. Die Wissenschaftler im Institut für Aeroelastik messen die instationären Druckverteilungen sowie Lasten und beobachten die dynamischen elastischen Bewegungen der Modelle. Das Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik misst mit optischen Verfahren die Böenfelder.

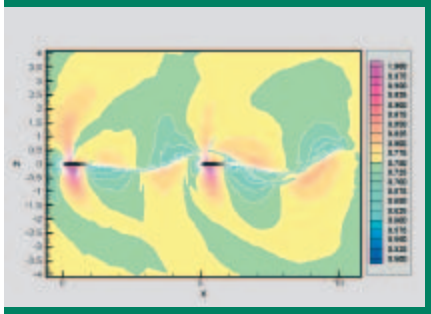
Leistungsstärkere Triebwerke mit hohem Nebenstromverhältnis haben inzwischen eine Größe erreicht, die sowohl unerwünschte instationäre aerodynamische Interferenzen mit Flügeln und Leitwerken als auch gyroskopische (Kreiselkraft) Effekte verursachten. Erstere wurden in dem DLR-Projekt HighPerFlex erforscht, letztere sind nun Gegenstand in iGREEN. Insbesondere werden die Auswirkungen auf die Flattersicherheit untersucht. Für die Experimente und Berechnungen des Flatterverhaltens ist das Institut für Aeroelastik zuständig, detaillierte numerische aerodynamische Untersuchungen führt das Institut für Antriebstechnik in Köln durch. Die Ergebnisse dieser Einzeluntersuchungen werden durch das Institut für Aeroelastik und die DLR-Einrichtung für Lufttransportkonzepte und Technologiebewertung in den Gesamtentwurf des Referenzflugzeugs integriert. Das Referenzflugzeug wurde in Abstimmung mit dem DLR-Projekt LamAIR definiert und weiterentwickelt. Es ist geplant, die Erkenntnisse aus iGREEN und LamAIR in die gemeinschaftlichen Entwürfe der DLR-Luftfahrtinstitute im Rahmen des Projekts VAMP einzubringen. Das Projekt iGREEN läuft noch bis Ende 2011.



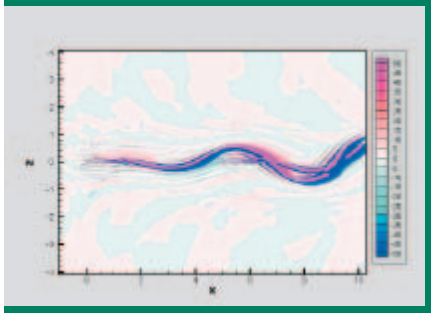
Strukturmodell einer „grünen" Flugzeugkonfiguration



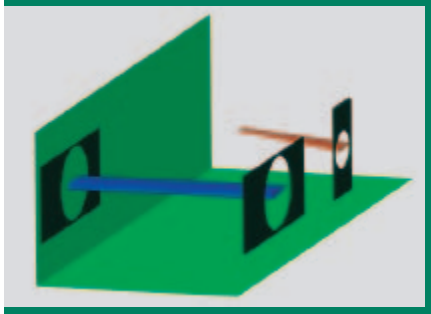
Vermessung des Geschwindigkeitsfelds hinter einem schwingenden Flügel mit dem optischen PIV-Verfahren im Transsonischen Windkanal Göttingen (TWG)



Strömungsfeld zweier hintereinander angeordneter Tragflügel, die Drehschwingungen ausführen. Gezeigt ist die momentane Machzahlverteilung (hohe Werte rot, niedrige Werte blau). Von der Flügelhinterkante ausgehende, dicke weiße Linien zeigen die instationären Nachläufe.



Strömungsfeld zweier hintereinander angeordneter Tragflügel, die Drehschwingungen ausführen. Gezeigt ist die momentane Verteilung der Wirbeldichte (positive Werte rot, negative Werte blau). Betragsmäßig hohe Werte treten in den instationären Nachläufen auf.



Windkanalmodell aus zwei generischen Tragflügeln. Windrichtung von vorn. Der blaue Flügel dient zur Erzeugung von Böen oder einer durch Buffet erzeugten instationären Strömung. Die dynamische Reaktion des roten Flügels wird gemessen.

ACARE (Advisory Council for Aeronautic Research in Europe) Vision2020: Umweltpolitische europäische Initiative für die Luftfahrt, u. a. mit den Zielen, bis 2020 den Kohlendioxidausstoß um 50 Prozent, die Stickstoffemissionen um 80 Prozent sowie die wahrgenommene Lärmbelästigung um 50 Prozent zu reduzieren, sowie den Produktlebenszyklus von Flugzeugen generell umweltfreundlicher zu gestalten.

RETTINA (Reliable Turbulence and Transition Modelling for Industrial Aerodynamics): DLR-Projekt, das sich der Turbulenz- und Transitionsmodellierung im DLR-Strömungssimulationsverfahren TAU widmet.

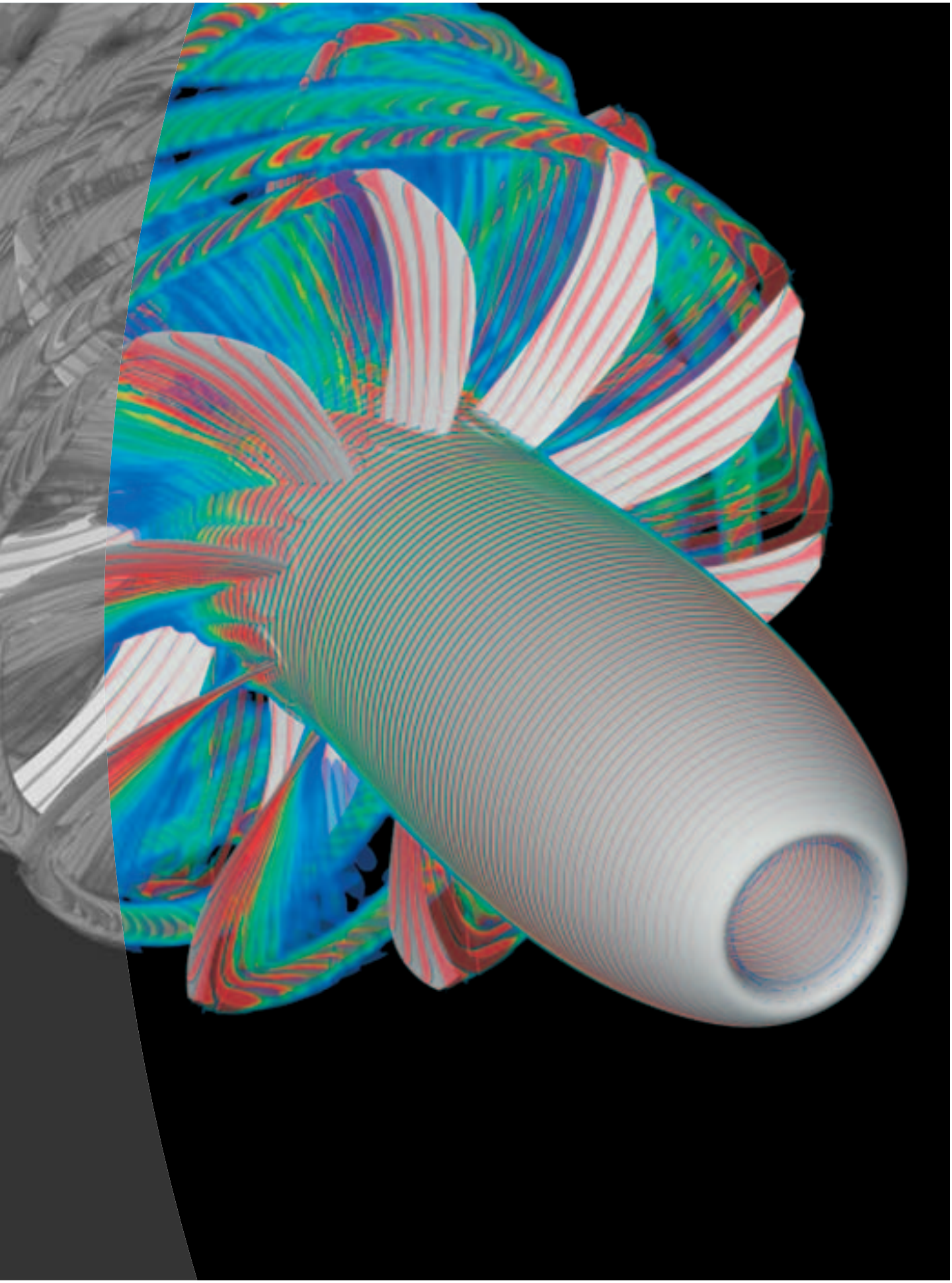
LamAIR (Laminar AIRCRAFT): DLR-Projekt, das die Laminartechnologie dem Einsatz in kommenden Flugzeuggenerationen (Nachfolger der A320- und B737-Familie) näherbringen soll.

HighPerFlex (High Performance Flexible Aircraft): DLR-Projekt, das sich von 2004 bis 2006 der Validierung numerischer instationärer Strömungssimulationen und Strömungs-Struktur-Kopplungssimulationen bei Flügel-Triebwerksinterferenz und Steuerflächenausschlägen widmete.

VAMP (Virtual Aircraft Multidisciplinary Design and Optimization Process): DLR-Projekt, in dem ein multidisziplinärer Prozess zur Bewertung neuer Flugzeugkonfigurationskonzepte entwickelt wird.

Autor:
Dr. Ralph Voß ist Leiter der Gruppe „Instationäre Aerodynamische Modellierungen“ im DLR-Institut für Aeroelastik und Leiter des Projekts iGREEN.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/IAM



Renaissance der offenen Rotoren

Umweltfreundlich und wirtschaftlich – so soll das Verkehrsflugzeug der Zukunft sein. Notwendig ist dafür unter anderem ein Umdenken im Bereich der Triebwerke. Mit aufwändigen Simulationen wurde von DLR-Wissenschaftlern ein vielversprechendes Konzept untersucht und im Detail bewertet. Das Resultat dieser Studien von DLR-Aerodynamikern und -Antriebstechnikern bestätigt: Gegenläufige und offene Rotoren, also Triebwerke ohne die sonst übliche Verkleidung, stellen für die nächste Generation von Zivilflugzeugen eine realistische, energieeffiziente Antriebsalternative dar.

Umweltfreundlicher reisen mit Propeller – DLR simuliert Triebwerke der Zukunft

Von Arne Stürmer, Dr.-Ing. Rainer Schnell und Jasmin Begli

Besonders bewährt hat sich bei den gemeinsamen Forschungen des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik in Braunschweig und des in Köln beheimateten DLR-Instituts für Antriebstechnik der sogenannte Contra Rotating Open Rotor, kurz CROR. CROR ist ein Antrieb, der aus zwei hintereinander angeordneten und gegenläufig drehenden Propellern besteht. Anders als bei den üblicherweise in der Zivilluftfahrt eingesetzten Turbofan-Triebwerken wird beim CROR auf die Ummantelung verzichtet. Im Betrieb entsteht so ein größeres Nebenstromverhältnis (Verhältnis der Luftströme innerhalb und außerhalb der Turbine). Dies steigert den Wirkungsgrad. Im Vergleich zu einem herkömmlichen Propeller verbessert sich durch die beiden gegenläufig drehenden Rotoren auch die Effizienz bei höheren Fluggeschwindigkeiten: Mit dem zweiten Rotor können die Verluste, die durch die nicht zum Schub beitragenden Komponenten entstehen, praktisch eliminiert werden.

Luftverwirbelungen verursachen Lärm … und Kopfzerbrechen bei den Experten

Doch ein CROR hat auch Nachteile, die bis zur Erzielung der Serienreife gemeistert werden müssen: Sowohl die Installation dieser Triebwerke am Flugzeug, deren Propeller einen Durchmesser von etwa vier bis fünf Metern haben, als auch eine – durch die fehlende Ummantelung – relativ hohe Lärmentwicklung stellen die Wissenschaftler noch vor technische Herausforderungen. Während die aerodynamische Effizienz und damit die Wirtschaftlichkeit durch die hintereinander angeordneten Propeller verbessert wird, stellen die daraus resultierenden aerodynamischen Interaktionen, wie beispielsweise Luftverwirbelungen zwischen den beiden Rotoren, eine bedeutende Lärmquelle dar. Durch die Bewegung der Rotoren entstehen Luftverwirbelungen an den Spitzen der Blätter des vorderen Rotors, die der Hintere mit seinen Blättern durchschlägt, stellten die Mitarbeiter des DLR-Instituts für Antriebstechnik fest. Es entsteht ein Geräusch ähnlich dem

Visualisierung der komplexen aerodynamischen Interaktionen durch Blattnachläufe und Blattspitzenwirbel zwischen den Rotoren des CROR-Antriebs

eines fliegenden Hubschraubers. Ziel der Forscher wurde es daher, dieses Geräusch auf ein Minimum zu reduzieren. Auch die wechselseitige Beeinflussung des vorderen Propellers durch die Strömung des hinteren, des sogenannten Rotornachlaufs, hat eine unerwünschte Lärmentwicklung zur Folge.

Um die komplexe Strömungsphysik eines CROR-Antriebs zu veranschaulichen, sie verständlicher zu machen und aerodynamische und akustische Verbesserungen gezielt herauszuarbeiten, wurden verschiedene Varianten eines gegenläufigen offenen Rotors untersucht. Dies geschah mit Hilfe gekoppelter aerodynamischer und aeroakustischer Simulationen. Diese stellen hohe Anforderungen an die verfügbare Rechenleistung und konnten nur mit Hilfe des im DLR Braunschweig verfügbaren Hochleistungsrechners der Abteilung C²A²S²E (Center for Computer Applications in AeroSpace Science and Engineering) durchgeführt werden. Simuliert wurden die unterschiedlichen Varianten für CROR mit numerischen Verfahren, die ebenfalls im DLR entwickelt worden waren. Diese erlauben eine bis dato nicht mögliche, detaillierte Analyse der aerodynamischen und aeroakustischen Phänomene und tragen so zum besseren Verständnis der komplexen Strömungsphysik dieser Antriebsform bei.

Während bei den Untersuchungen des Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik die ideale Installation der Rotoren am Flugzeug sowie die Variation der Rotorblattzahlen und -durchmesser im Vordergrund standen, forschten die Wissenschaftler des Instituts für Antriebstechnik hauptsächlich an der dreidimensionalen Geometrie der Blattschaufeln. Um auch die reale Umsetzbarkeit der neuen CROR-Antriebe zu gewährleisten, berücksichtigten die Forscher zusätzlich mechanische Aspekte bei der Blattgestaltung. Die entstandenen Varianten wurden dann unter Start- und Reiseflugbedingungen simuliert.

Die Auswertung der Daten ergab, dass die in Bezug auf Aerodynamik und Aeroakustik günstigste CROR-Konfiguration im vorderen Propeller eine höhere Rotorblattanzahl hat als im hinteren. Auch die Reduktion des Durchmessers des hinteren Rotors wirkt sich positiv aus. Die Erhöhung der Blattzahl im vorderen Propeller ermöglicht eine aerodynamische Entlastung jedes vorderen Rotorblatts. Gleichzeitig wird das Ausmaß der Nachläufe und Verwirbelungen an den Blattspitzen reduziert. Die daraus resultierenden geringeren Effekte auf den hinteren Rotor haben eine deutliche Abnahme der Lärmemission zur Folge. Die zusätzliche Reduktion des Durchmessers des hinteren Propellers verhindert das direkte Auftreffen der vorderen Blattspitzenwirbel auf den hinteren Rotor und eliminiert damit eine weitere Lärmquelle.

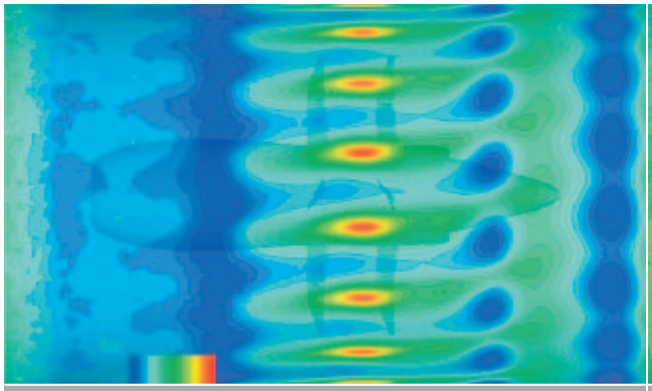
Radiale Verwindung und Krümmung der Rotorschaufeln schaffen Abhilfe

Bei der dreidimensionalen Gestaltung der Rotorblätter optimierten die Wissenschaftler gezielt die Geometrie des vorderen Rotors. Zusätzlich variierten sie mit der radialen Verwindung und Krümmung der Rotorschaufeln wesentliche Geometrieparameter. Durch die Minimierung der Rotornachläufe sowie der Wechselwirkung mit dem hinteren Rotor wurde so die Lärmemission erheblich reduziert. Die verbesserten akustischen Eigenschaften und die hohe aerodynamische Effizienz bleiben während des gesamten Flugbetriebs gewährleistet.

Trotz der vielversprechenden Ergebnisse darf eines allerdings nicht vergessen werden: Für alle Konfigurationsvariationen ist letztendlich eine klug abgestimmte Auslegung der Rotoren entscheidend. Diese kann unter Umständen einen Kompromiss zwischen aerodynamischen und aeroakustischen Anforderungen notwendig machen.

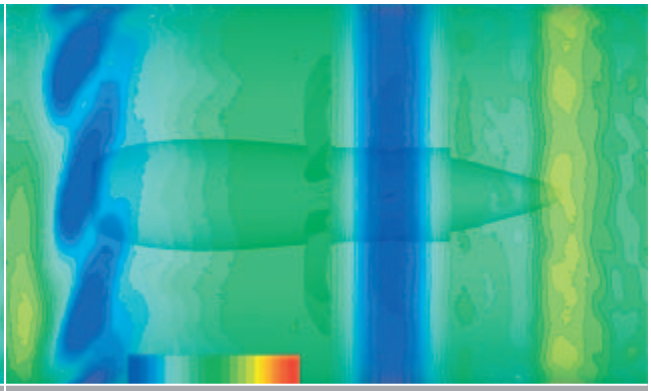
Neben den bislang erfolgten Forschungsarbeiten und einer Reihe von Auftragsarbeiten sind das Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik und das Institut für Antriebstechnik in zahlreichen Forschungsprojekten zum Thema CROR aktiv. Dazu zählen sowohl das von der EU geförderte Projekt DREAM (valiDation of Radical Engine Architecture systeMs) als auch das SFWA-Projekt (SFWA: Smart Fixed Wing Aircraft) im Rahmen der Joint Technology Initiatives (JTI) der Europäischen Union. Das SFWA-Projekt untersucht unter anderem Technologien zur pas-siven oder aktiven Lärmreduktion und soll die Anwendungsreife dieser neuartigen Antriebe in einem industrierelevanten Umfeld vorantreiben.

Die Kooperation der beiden DLR-Institute kombiniert die Expertise der Kölner Wissenschaftler im Bereich der Triebwerke mit der Kompetenz der Forscher in Braunschweig auf dem Gebiet der Propeller und der Triebwerksintegration. Mit der interdisziplinären Analyse der verschiedenen CROR-Konfigurationen ist dem DLR ein wichtiger Beitrag auf dem Weg zum Zivilflugzeug der Zukunft gelungen.



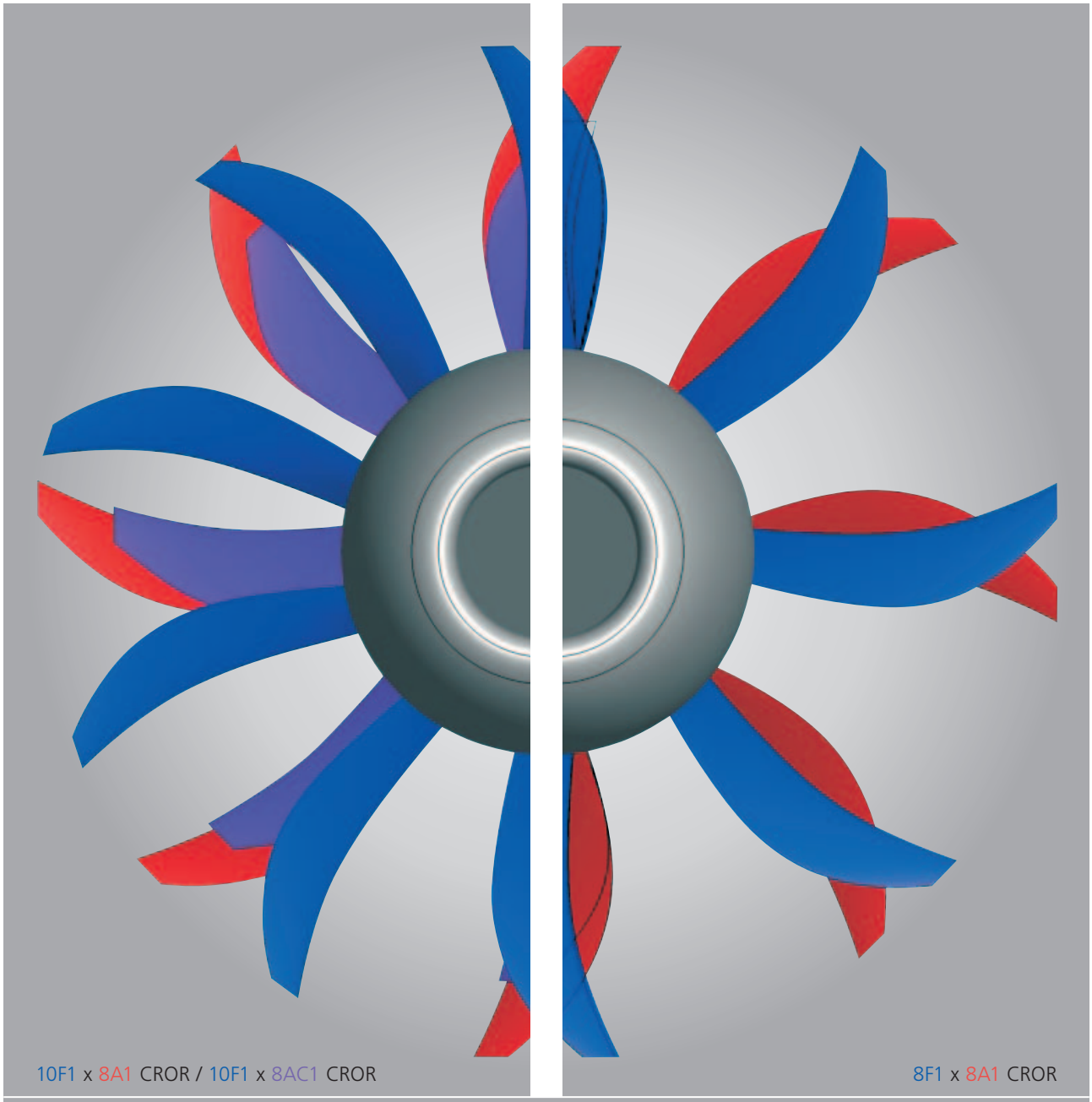
ΔL_p [dB]: -6 0 6

Die Grafik veranschaulicht die Reduktion der Lärmemissionen um bis zu sechs Dezibel (dB) im Nahfeld eines CROR-Triebwerks bei typischen Start-Bedingungen. Die Blattanzahl des vorderen Rotors wurde von acht auf zehn erhöht, um so die Intensität der instationären Belastungen am hinteren Rotor zu verringern.



ΔL_p [dB]: -3 0 3

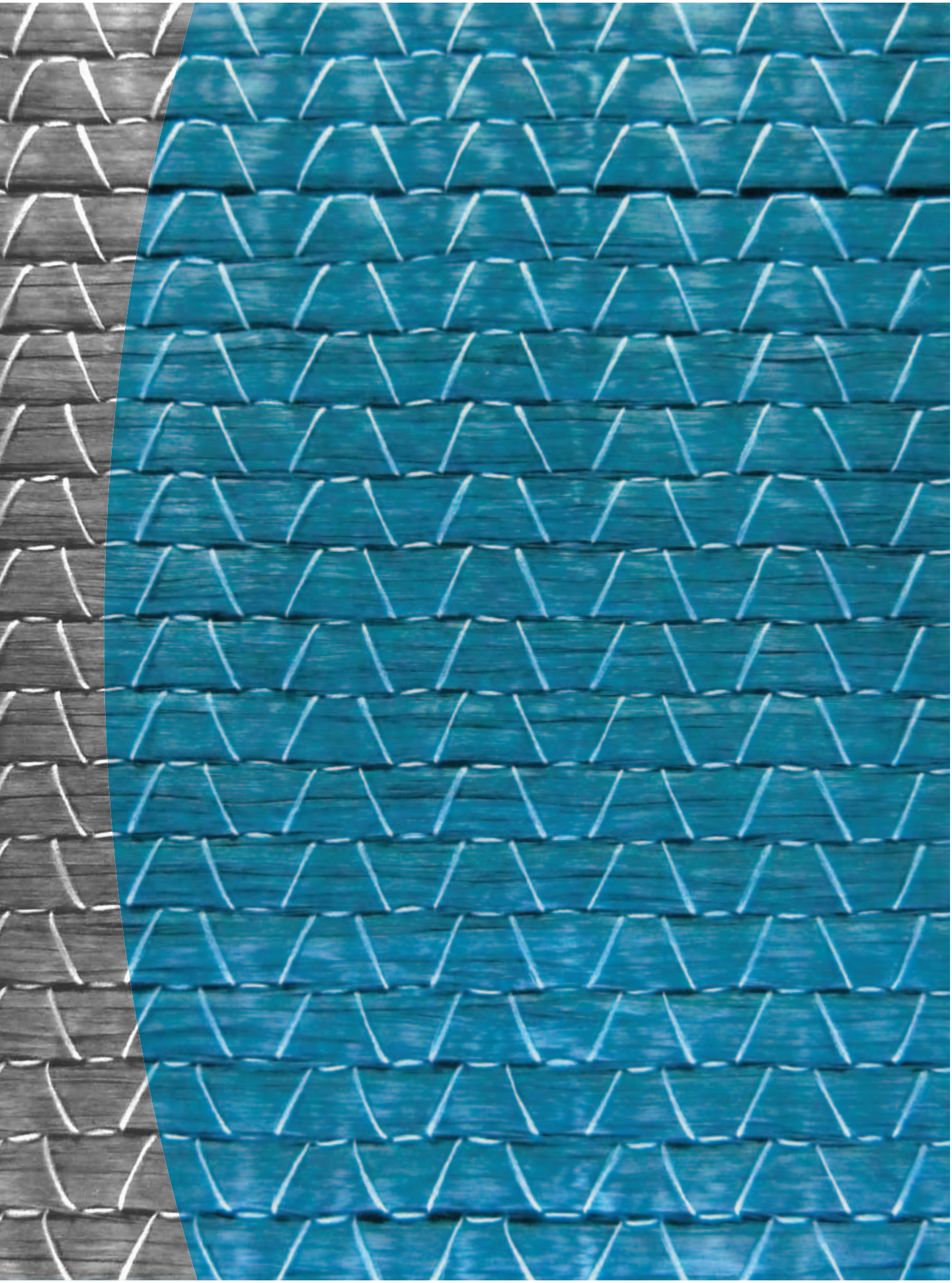
Verringerte Lärmemissionen von bis zu drei Dezibel (dB) im Nahfeld eines CROR-Antriebs bei typischen Reiseflug-Bedingungen, erreicht durch die Reduktion des Durchmessers des hinteren Rotors. Das vermeidet die Interaktion mit den Blattspitzenwirbeln des vorderen Propellers.



Vergleich der untersuchten Konfigurationsvariationen für einen CROR-Antrieb: Zum einen wurde die Blattzahl im vorderen Rotor von acht auf zehn erhöht (8F1 x 8A1 zu 10F1 x 8A1 CROR), zum anderen der Durchmesser des hinteren Rotors reduziert (10F1 x 8A1 zu 10F1 x 8AC1 CROR).

Autoren:
Dipl.-Ing. Arne Stürmer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Transportflugzeuge am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik.
Dr.-Ing. Rainer Schnell ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am DLR-Institut für Antriebstechnik in Köln in der Abteilung Fan und Verdichter und leitet dort die Projektgruppe Fan.
Jasmin Begli ist am DLR-Standort Braunschweig verantwortlich für die Kommunikation.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/as
www.DLR.de/at
www.dream-project.eu
www.cleansky.eu



Präzision bis ins Detail

Qualitätssicherung im Flugzeugbau: Nichts wird dem Zufall überlassen

Eine Betrachtung von Thomas Ullmann und Thomas Schmidt

Leiser, leichter und spritsparender sollen sie werden, die Flugzeuge künftiger Generationen. Deren „schwarze" Rumpf- und Flügelstrukturen werden fast ausschließlich aus kohlenstofffaserverstärkten Verbundwerkstoffen (CFK) gefertigt sein. Diese neuartige Werkstoffklasse zeichnet sich durch eine außerordentlich hohe Stabilität bei zugleich geringem Eigengewicht aus. Damit eignet sie sich in idealer Weise für die Auslegung moderner Leichtbaustrukturen. Die dadurch erzielten Gewichtseinsparungen in der Flugzeugstruktur führen zu einem niedrigeren Kerosinverbrauch, womit sowohl die Betriebskosten als auch die Schadstoffemissionen verringert werden. CFK-Werkstoffe sind überdies korrosionsbeständiger als die bisher verwendeten Leichtmetalllegierungen. Das verlängert die Lebensdauer der Bauteile, erhöht die Sicherheit und senkt zudem die Wartungskosten.

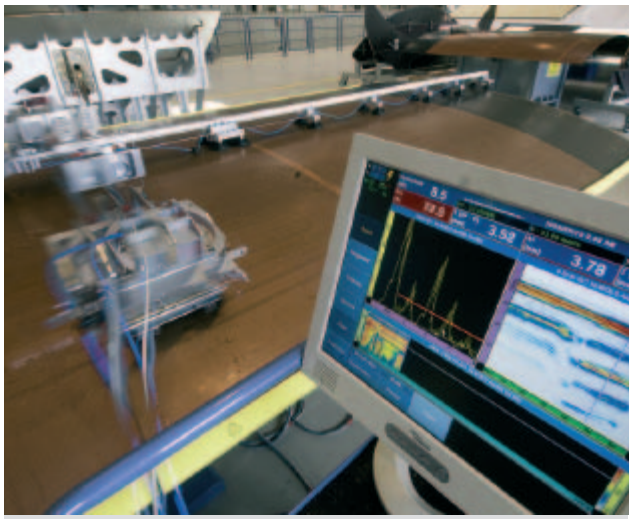
Faserverbundmaterialien können, je nach Richtung ihrer Fasern, unterschiedliche Eigenschaften haben. Im Bild: ein in mehreren Einzelschichten unterschiedlicher Richtung ausgelegtes Material, fachmännisch als Multiaxial-Gelege bezeichnet. Typisch ist der dünne Nähfaden, der die beiden Kohlenstofffaserschichten miteinander verbindet. Durch mehrere Schichten unterschiedlicher Flächengewichte oder Winkelkombinationen lassen sich Gelegekonstruktionen mit speziellen mechanischen Eigenschaften erzielen.

Doch auch die Herstellungskosten sollen reduziert werden: Neuartige Faserverbundwerkstoffe erfordern ein neuartiges Bauteildesign, denn es muss auf die Materialeigenschaften und strukturellen Besonderheiten des faserverstärkten CFK-Werkstoffs abgestimmt sein. Zwar werden einzelne Bauteile aus CFK schon seit Jahren im Flügelbereich und den Leitwerken der aktuellen Modelle von Airbus und Boeing verwendet, doch ihr großflächiger Einsatz für die tragenden Strukturen im Rumpf stellt die Ingenieure vor völlig neue Herausforderungen. Das Herstellen, das Bearbeiten und die Qualitätssicherung der Faserverbundbauteile müssen ganz neuen Kriterien genügen.

Aufbauend auf dem Know-how der Herstellung von CFK-Prototypen bietet sich durch den gezielten Einsatz innovativer Prüftechnologien und automatisierter Fertigungsmethoden die Möglichkeit, die Produktionskosten der neuen Flugzeuge deutlich zu senken. Deshalb lautet die Devise heute: Weg von der teuren Manufaktur, hin zur kostengünstigen, automatisierten Fertigung.

Neues Design mit neuen Werkstoffen

Faserverbundmaterialien sind lagenweise aufgebaute Werkstoffe mit stark anisotropen, also richtungsabhängigen Eigenschaften. Je nach Ausrichtung der Fasern dehnen sie sich thermisch sehr unterschiedlich aus, sind unterschiedlich steif und auch unterschiedlich fest. Wenn also CFK-Bauteile konstruiert und zu größeren Strukturkomponenten gefügt werden, spielt die Faserorientierung eine maßgebliche Rolle. Ein Flugzeugrumpf kann sowohl aus ganzen, auf Formkernen gewickelten CFK-Röhren wie auch aus mehreren großen CFK-Schalensegmenten zusammengesetzt werden. In jedem Fall werden die Kohlenstofffasern entlang der Oberfläche des Rumpfkörpers verlaufen, um deren außerordentliche Festigkeit optimal zu nutzen. Die Zahl der Naht- und Fügestellen muss dabei aber auf ein Minimum reduziert bleiben, da sie, genau wie die Öffnungen für Fenster, Türen, Wartungs- und Frachtraumluken, gewissermaßen Schwachstellen in der Struktur darstellen. Anders als im Leichtmetallbau bestimmen die richtungsabhängigen Materialeigenschaften des CFK-Werkstoffs die Bauteilgeometrie und Strukturbauweise mit.

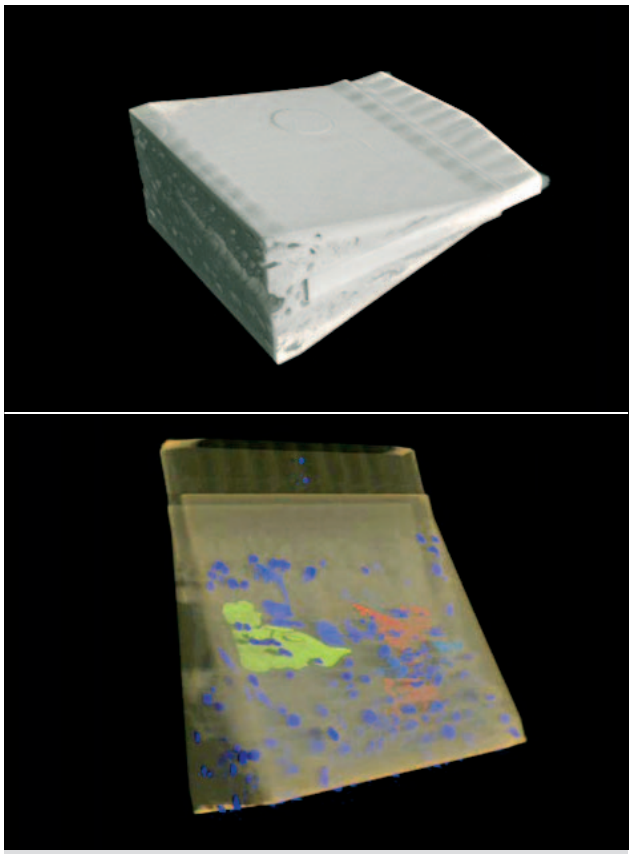


Ultraschall-Prüfung von CFK-Flugzeugrumpfschalen im Werk Nordenham der Premium AEROTEC (Quelle: Premium AEROTEC)

Eine besondere Herausforderung stellt das Aneinanderfügen zweier Rumpfsegmente dar, denn durch die hohe Formstabilität lassen CFK-Strukturbauteile nur wenige hundertstel Millimeter Toleranz zu. Rumpfschalen oder -segmente, die in unterschiedlichen Zulieferwerken – viele hundert Kilometer voneinander entfernt – gefertigt werden, müssen bei der Endmontage mit extrem hoher Passgenauigkeit aneinandergefügt werden. Da CFK-Komponenten nicht wie die Leichtmetallstrukturen miteinander verschweißt werden können, bleibt nur die Möglichkeit, sie zu verkleben oder zu vernieten. In einem Flugzeug werden jedoch mehrere hunderttausend metallische Nieten verbaut. Die zusätzliche Masse würde den Vorteil der Gewichtseinsparung deutlich schmälern. Bei Weitem besser wäre es, die Rumpfsegmente zu verkleben. Doch die Klebetechnik ist sehr anspruchsvoll, bis jetzt wird sie nur bedingt beherrscht. Besonders schwierig ist dabei die Entwicklung einer geeigneten Prüftechnik, mit der die Qualität einer Verklebung, wie etwa die Flächenbenetzung und der Aushärtegrad des Klebstoffs sowie dessen Adhäsion mit den Bauteiloberflächen kontrolliert und nachgewiesen werden kann.

Qualität prozessbegleitend sichern

Im DLR-Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie in Stade und Augsburg wird das Know-how erarbeitet werden, das für eine kostengünstige, automatisierte Fertigung und Bearbeitung von großen CFK-Serienbauteilen erforderlich ist. Darüber hinaus wird eine Strategie zur prozessbegleitenden Qualitätssicherung aufgebaut. Sie gewährleistet, dass die einzelnen Abläufe während und zwischen den Fertigungsschritten überwacht und beurteilt werden können. Das heißt auch, dass die hier zum Einsatz kommenden zerstörungsfreien Prüfverfahren anhand bestimmter Eigenschaftsmerkmale das Einhalten zuvor genau festgelegter Fertigungstoleranzen vollautomatisch überwacht und eventuelle Abweichungen durch die Auswertesoftware erkannt und bewertet werden können. Für Halbzeuge und Bauteile mit Merkmalen, die auf fehlerhafte Strukturen hinweisen, kann dies bedeuten, dass sie sofort aus der Prozesskette entnommen werden müssen, damit sie nicht noch weitere, kostenintensive Fertigungsschritte unnütz durchlaufen.

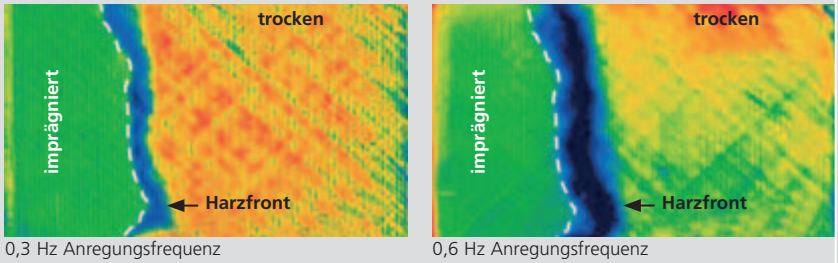


Computertomografie-Analyse einer porösen CFK-Spritzgussfügung. Oben die 3-D-Ansicht der Fügung; unten dasselbe Bauteil in veränderter Position in halb transparenter Darstellung mit farblich gekennzeichneter und nach Größe klassifizierter Porenverteilung.

Der unmittelbare Nutzen eines in den Prozess integrierten Systems zur Qualitätssicherung lässt sich erst dann wirklich bewerten, wenn neben den Kosten durch zusätzlich eingesetzte Prüfverfahren auch die enorme Einsparung durch nicht weiterverarbeitete Ausschussbauteile betrachtet wird. Um die zerstörungsfreien Prüfverfahren in den einzelnen Prozessphasen dabei möglichst kostensparend und effizient einzusetzen, ist eine voll automatisierte und synchronisierte Datenerfassung und -auswertung erforderlich, die den Ablauf der Produktionskette nicht wesentlich beeinflusst oder etwa für längere Zeit unterbricht.

Innovative Methoden der zerstörungsfreien Prüfung

Im Flugzeugbau wurde die zerstörungsfreie Qualitätsprüfung bislang meist an fertigen Bauteilen ganz am Ende eines Herstellungsprozesses durchgeführt. Das für Luftfahrtanwendungen am besten etablierte Verfahren ist die Ultraschallprüfung mit Wasserankopplung. Im Gegensatz zu den Leichtmetallbauteilen sind die Ultraschallbilder von Faserverbundstrukturen wegen des inhomogenen Werkstoffgefüges jedoch weitaus schwieriger zu interpretieren. Das liegt nicht zuletzt an den bei CFK-Werkstoffen noch fehlenden Langzeiterfahrungen hinsichtlich der Fehlerrelevanz und Fehlerklassifizierung unter einsatztypischen Bedingungen. Spezifische Materialgefüge und Fehlertypen müssen in ihrer Ausprägung mit den jeweiligen Analyseverfahren genau erfasst und hinsichtlich ihrer Auswirkung bewertet werden. Über die klassische Ultraschalltechnik hinaus werden dabei weitere berührungslose Prüfverfahren eingesetzt werden müssen. Denn ein zurechtdrapiertes Fasergelege zum Beispiel kann nicht nass geprüft werden und ein zeilenweises Abscannen einer

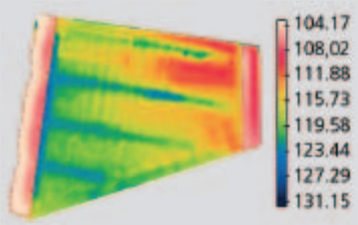


0,3 Hz Anregungsfrequenz 0,6 Hz Anregungsfrequenz

Lock-in-Thermografie-Analyse eines Infiltrationsvorgangs in CFK bei unterschiedlichen Anregungsfrequenzen. Deutlich sichtbar wird die Lage der Harzfront, die Orientierung der Kohlenstofffasern sowie der trockene und bereits infiltrierte Gewebebereich.

Bei der Lock-in-Thermografie handelt es sich um eine Prüfmethode zur bildlichen Darstellung von Bauteilschäden. Halogenscheinwerfer bringen Wärmeimpulse in das Bauteil ein. Die zurückreflektierte Wärmestrahlung wird in Bildsequenzen über mehrere Minuten von einer Infrarotkamera aufgenommen. Aus der zeitlichen Änderung der reflektierten Wärmewellen entsteht schließlich ein farblich codiertes Bild des Bauteils, aus dem die Experten zum Beispiel auf abgelöste Klebungen oder Porenansammlungen schließen können.

Einsatz einer Lock-in-Thermografie-Anlage im Prüflabor



Lock-in-Thermografie-Analyse eines Teilstücks einer CFK-Flugzeugruderklappe. Durch die lokal unterschiedliche Temperaturleitfähigkeit werden Bereiche mit inneren Verstärkungselementen und Strukturen deutlich sichtbar.

großen Bauteilfläche beansprucht zu viel Zeit. Bei der Prüfung von Halbzeugen aus Kohlenstofffasergeweben bieten sich beispielsweise optische Bilderfassungssysteme oder berührungslose, luftgekoppelte Ultraschallverfahren an. In der eigentlichen Bauteilprüfung, bei der unter anderem nach erhöhten Porositäten, auftretenden Delaminationen oder einer lokal inhomogenen Harzverteilung im Werkstoffinneren gesucht wird, sind es vor allem laser- und infrarotgestützte Analyseverfahren. Zu diesen zählt die optisch angeregte Lock-in-Thermografie. Diese Prüfmethode ermöglicht ein schnelles und großflächiges Erfassen von Strukturkomponenten unabhängig von der Geometrie der Bauteile. Die kombinierte Anwendung verschiedener zerstörungsfreier Prüfmethoden und deren Abgleich mit Referenzdaten von etablierten Verfahren wie dem wassergekoppelten Ultraschall oder der sehr hoch auflösenden Computertomografie machen die Interpretation zuverlässiger und steigern damit die Aussagekraft der weniger stark auflösenden, aber dafür schnellen, flächendeckend einsetzbaren Prüfverfahren in hohem Maße. Sie wird daher verstärkt zum Einsatz kommen.

Die in einer Prozesskette eingesetzten Analysemethoden werden durch teils komplexe Messkopfsysteme ausgeführt, die, auf Fertigungsrobotern montiert, voll automatisierte Prüfroutinen am Bauteil abarbeiten. Diese müssen der Bauteilkontur angepasst möglichst großflächig einsetzbar sein, um die Materialgefüge von quadratmetergroßen Strukturkomponenten in kürzester Zeit erfassen und beurteilen zu können. Dabei gilt es, die neuartigen Prüfköpfe ganz gezielt für den industriellen Einsatz an Serienbauteilen vorzubereiten und Schnittstellen zu bestehenden Robotiksystemen zu definieren.

Autoren:
Thomas Ullmann war mehr als zehn Jahre auf dem Gebiet der Weiterentwicklung von Thermalschutzsystemen im Bereich Raumfahrt tätig. Vor vier Jahren spezialisierte er sich auf die zerstörungsfreie Material- und Bauteilprüfung und leitet jetzt die Methodenentwicklung im Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung des DLR in Stuttgart.
Thomas Schmidt verfügt über mehrjährige Erfahrung im Bereich der Entwicklung und Fertigung von Faserverbundstrukturen für Luft- und Raumfahrtanwendungen. Er koordiniert und leitet die Aktivitäten zur prozessintegrierten zerstörungsfreien Bauteilprüfung des DLR-Technologiezentrums für Leichtbauproduktionstechnik in Augsburg.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/aeroelastische-Schwingungen

Unbemannt geht's nur im Team

Erheben sich Fluggeräte, gleich welcher Art, in die Luft, hat das auch heute noch seine Faszination. Ist jedoch nicht einmal ein Pilot an Bord, so hat man es mit mindestens so viel „Fiction" wie „Science" zu tun. An ungewöhnlichen Ideen mangelt es indes nicht. Doch wer diese auch praktisch umsetzen will, der muss auf sicherem Fundament stehen. Für die Wissenschaftler der Abteilung Unbemannte Luftfahrzeuge im DLR-Institut für Flugsystemtechnik in Braunschweig, die sich intelligenten Flugsystemen verschrieben haben, heißt das: Fachwissen, kurze Wege zum Experten von nebenan, interdisziplinäres Arbeiten und ein besonderes Verständnis für das Gesamtsystem.

Junge Braunschweiger Forschungsgruppe hat sich intelligenten Flugsystemen verschrieben

Von Dr.-Ing. Gordon Strickert

„Autonome, intelligente Funktionen für unbemannte Luftfahrzeuge!" Diese Antwort erhält man von allen Wissenschaftlern der Abteilung, wenn sie gefragt werden, was bei ihnen eigentlich entwickelt wird. Das klingt abgehoben. Bis man beobachtet, wie eben diese Wissenschaftler im Flugversuch im Matsch knien, um eine Kamera zu kalibrieren, um die letzte Millisekunde Verbesserung im Echtzeitbetriebssystem kämpfen oder wie sie bei Minusgraden Referenzdaten für einen 3-D-Scanner aufnehmen. Dann versteht man: Hier nehmen Ideen Gestalt an. Der Weg in die Praxis, die Validierung im Flugversuch, das gehört zum Selbstverständnis der Forscher von ihrem Job.

Um ein Fluggerät praxistauglich zu machen, bedarf es ganz unterschiedlicher und komplementärer Fähigkeiten. Vor acht Jahren, als die Grundsteine für die heutige Abteilung gelegt wurden, gab es noch kein unbemanntes Luftfahrzeug für Forschungszwecke. Die Projektgruppe „Unbemannter Hubschrauber" – ein erster Schritt. Über die Jahre, mit der Entwicklung des Forschungsträgers ARTIS (Autonomous Rotorcraft Testbed for Intelligent Systems), ist sie gewachsen – an ihren Themen und zahlenmäßig. Konzeptions- und Ingenieursarbeit war gefragt, Maschinenbau, Elektrotechnik, Luft- und Raumfahrttechnik. Noch heute befinden sich permanent ein bis zwei Mechatroniker und Techniker im Team, um die Modifikationsanforderungen der Wissenschaftler an die unbemannten Versuchsträger umzusetzen.

Prometheus heißt das jüngste Kind der Abteilung Unbemannte Luftfahrzeuge des DLR-Instituts Flugsystemtechnik. Mit diesem Versuchsträger soll demonstriert werden, dass die in den vergangenen Jahren entwickelten Systeme und Verfahren für das autonome Fliegen universell einsetzbar sind und sich ohne Weiteres vom Dreh- auf Starrflügler portieren lassen.

Direkt nach den Erstflügen verschob sich das Hauptarbeitsgebiet weiter auf Sensorik-Themen und die wichtige Fähigkeit zur bordautonomen Navigation. Absolutes Spezialistenwissen war jetzt vonnöten, um aus den extrem verrauschten Messdaten eines vibrierenden Hubschraubers brauchbare Daten für dessen Stabilisierung zu filtern. Algorithmen und Softwareentwicklung standen nun im Mittelpunkt, Informatiker und Elektrotechniker verstärkten das Team. Die ersten Flugregelungs- und Missionsplanungsverfahren wurden aus der Taufe gehoben. Bildverarbeiter

Prometheus' erster Flug

Der Flugversuchsträger Prometheus absolvierte im März dieses Jahres seinen Jungfernflug. Auf dem Flugplatz Hildesheim drehte er seine ersten Runden. Die DLR-Mitarbeiter des Instituts für Flugsystemtechnik bewerteten Flugeigenschaften, Rollverhalten sowie Stabilität des unbemannten Luftfahrzeugs.

Zunächst führten die Forscher verschiedene Tests auf dem Vorfeld und auf der Asphaltbahn des Flugplatzes durch. Sie prüften die Stabilität beim Rollen und das Abheben des Bugrads. Nachdem einige Einstellungen angepasst wurden, war Prometheus flugbereit und hob das erste Mal ab, um nach einigen Platzrunden wieder sicher zu landen. Der geglückte Erstflug ist der primäre Schritt eines nun folgenden Ausbaus des autonomen Flugzeugs.

Prometheus ist ein Flugversuchsträger der Abteilung Unbemannte Luftfahrzeuge, anhand dessen die Abteilung ihre Kompetenzen im Bereich der Starrflügel-UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ausbaut. Die Systemtechnik, die das automatische Fliegen ermöglicht, kommt aus dem unbemannten Hubschrauber ARTIS und wurde auf die Anforderungen eines Starrflügel-Flugzeugs angepasst. Die systemtechnischen Komponenten der Abteilung sind modular so aufgebaut, dass Hubschrauber sowie Starrflügler in derselben System- und Simulationsumgebung betrieben werden können. Dies betrifft nicht nur die Hardwarekomponenten wie Bodenkontrollstation, Flugsteuerungsrechner, Sensorik oder Telemetrie, sondern vielmehr auch die Softwarearchitektur wie Missionsplanung, Flugregelung und Elemente der Mensch-Maschine-Schnittstelle.

In Zukunft transportiert das UAV nicht nur Nutzlasten wie Bildverarbeitungssysteme, vielmehr dient Prometheus auch dazu, systemtechnische Komponenten zu untersuchen. Zu einem Bruchteil der Betriebskosten eines bemannten Flugzeugs werden neuartige Flugregelungs- oder Missionsplanungsstrategien sowie Systemidentifizierung bis hin zu intelligenten Funktionen wie Sense- and Avoid-Technologien erforscht. Ziel ist es, durch einen schrittweisen Aufbau der systemtechnischen Fähigkeiten das Gesamtsystem UAV besser bewerten zu können.

Nach erfolgreichem Erstflug schwebt Prometheus zur Landung ein

Im Rahmen von Integrationstagen trifft sich das Team regelmäßig zum gemeinsamen Test neuer Funktionen im UAV-Labor

kamen hinzu, die den unbemannten Fluggeräten beibringen, ihre Umwelt wahrzunehmen. Und immer wieder wurde geflogen: Zum Test des Basissystems, zur Messdatenaufzeichnung, zur Überprüfung von Algorithmen. Im Rahmen der Institutsumstrukturierung im Jahr 2008 wurde das unbemannte Fliegen als ein wesentliches Zukunftsthema definiert und die heutige Abteilung gegründet.

Dank der Vorarbeit ist man heute wieder bei den „autonomen, intelligenten Funktionen" angekommen. Sie sind die Grundlage für eine sinnvolle, sichere zukünftige Nutzung von unbemannten Luftfahrzeugen: Aufklärungsmissionen in unbekanntem Gebiet, zum Beispiel bei der schnellen Detektion von Umgebungsveränderungen in Erdbebengebieten, Tiefflug in anspruchsvollem Gelände mit nur begrenztem Vorwissen wie beim Suchen und Retten in der Nähe von hohen Gebäuden oder bei Bergrettungseinsätzen. Für den Umgang mit den Planungsunsicherheiten derartiger Szenarien bedarf es äußerster Flexibilität. Und da zurzeit noch niemand genau weiß, wie das unbemannte Luftfahrzeug der Zukunft aussieht, hat die Abteilung ihr Portfolio mittlerweile ausgebaut: Ihre autonomen Funktionselemente fliegen auf Hubschraubern, Flugzeugen, Gleitfallschirmen und sogar in dem Wiedereintrittsexperiment Shefex II.

Bei vielen ihrer Aktivitäten haben sich die Mitarbeiter nicht vom Mainstream leiten lassen, wahrscheinlich eine Folge des geringen Durchschnittsalters der Abteilung. Im Ergebnis entstanden quasi nebenher eine Entwicklungsumgebung für Echtzeitbildverarbeitung, eine universelle Bediensoftware für unbemannte Flugkörper und ein modulares Avionikkonzept. Diese Werkzeuge können auch in anderem Kontext bestehen, die Bildverarbeitung und Navigation etwa im Mondlandeprojekt ATON, das in Kooperation mit den DLR-Instituten für Raumfahrtsysteme sowie für Robotik und Mechatronik und Sistec bearbeitet wird. Teamwork ist für die Arbeit unverzichtbar: Umweltmodellierung, Bildverarbeitung, Missionsmanagement, Flugregelung und Sensorik können nur im Zusammenspiel mit den anderen Komponenten integriert werden. Das schwächste Glied bestimmt die Leistung des Gesamtsystems. In jede wissenschaftliche Teilaufgabe ist nahezu das gesamte, 14-köpfige Team eingebunden. Die Begeisterung spielt dabei eine große Rolle. Denn eines wollen schließlich alle Teammitglieder: Ideen in die Luft bringen.

Autor:
Dr.-Ing. Gordon Strickert gehört mit 37 Jahren bereits zu den „Alten Hasen" in der Abteilung Unbemannte Luftfahrzeuge des DLR-Instituts für Flugsystemtechnik in Braunschweig. Er nutzt die einzigartige Infrastruktur aus Abteilung, Institut und Standort zur Durchführung von Versuchen zur Kooperation bemannter und unbemannter Luftfahrzeuge.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/ft/artis

B.C D
D Ost
Tourist

Flughafenmanagement der Zukunft

Flughäfen sind die zentralen Knoten des Lufttransportsystems und zugleich Schnittstellen zu den anderen Verkehrsträgern. Deren gemeinsame Probleme lassen sich nur durch ein umfassendes, verkehrsträgerübergreifendes, land- und luftseitiges Management lösen. Im Projekt TAMS, das sich genau dieser Aufgabe widmet, geht das DLR mit führenden Vertretern der deutschen Luftfahrtindustrie erstmals den Schritt zu einem neuartigen Flughafenmanagement-System. Das Projekt TAMS, von dem eine Signalwirkung für diesen Forschungsbereich ausgeht, wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) als ein deutsches Leuchtturmprojekt gefördert. Weshalb, das zeigt unser Beitrag.

Das Leuchtturm-Projekt Total Airport Management Suite (TAMS) nimmt die nächste Hürde

Von Florian Piekert und Andreas Deutschmann

Das Problem ist erkannt: Die am Flugbetrieb beteiligten Parteien sind nicht optimal verzahnt. So greifen beispielsweise die Aktivitäten von Flughafenbetreibern, Fluggesellschaften und Flugsicherung noch nicht wie ein Zahnrad ins andere. Das führt zu Reibungsverlusten innerhalb der verschiedenen Prozesse des Flugbetriebs. Gegenwärtig optimieren die einzelnen Parteien ihren jeweiligen Verantwortungsbereich. Der Wettbewerb und die wirtschaftliche Lage fordern sie heraus. Doch in vielen Fällen wird zu kurz gedacht. Auswirkungen von Einzelentscheidungen auf andere Verantwortungsbereiche sind nur ungenügend bekannt. Dies führt zu höheren Kosten und anderen Nachteilen, sowohl für einige Prozessbeteiligte als auch für Reisende. Oftmals sind lange Wartezeiten die Folge. Die Komplexität der Abfertigungsprozesse kann sich vor allem dann erschwerend auswirken, wenn Störfaktoren wie schlechtes Wetter zunächst einzelne Prozesse belasten. Es kann zu einem Schneeballeffekt kommen: Auch in nicht unmittelbar benachbarten Prozessen zeigen sich dann Auswirkungen, die oftmals vorher nicht absehbar sind und die wiederum weitere Probleme in anderen Prozessen auslösen.

Im Rahmen erster Arbeiten auf diesem Forschungsgebiet hat das DLR-Institut für Flugführung gemeinsam mit dem EUROCONTROL Experimental Center einen Ansatz des ganzheitlichen Flughafen-Managements (Total Airport Management – TAM) entwickelt. Aufbauend auf dieser bereits seit einigen Jahren etablierten Philosophie des gemeinsamen Datenaustauschs (Airport Collaborative Decision Making – A-CDM) verfolgt TAM das Ziel der parteiübergreifenden Prozessplanung und -optimierung am Flughafen. Untersuchungen, die seit der Einführung von A-CDM an europäischen Flughäfen gemacht wurden, lassen auf ein großes Verbesserungspotenzial schließen, wenn sich alle am Flugbetrieb Beteiligten besser abstimmen. Nicht nur Kosten können reduziert werden, durch weniger Verspätungen und Wartezeiten kann auch die Umwelt spürbar entlastet werden. Zusätzlich verbessert sich die Anschlusssicherheit der Passagiere. A-CDM ist auf die flugsicherungs- und bodenabfertigungsbezogenen Planungsprozesse am Flughafen fokussiert. Abläufe im Flughafenterminal wie der Check-in oder Sicherheitskontrollen sind im bisherigen Konzept noch nicht ausreichend berücksichtigt.

Reisezeit: Hetzen und Verharren liegen oft dicht beieinander. Reibungsverluste im Flughafenmanagement offenbaren sich oft in Wartezeiten. Was für die Passagiere lästig ist, hat für Fluggesellschaften wirtschaftliche Konsequenzen und wirkt sich zudem schädlich auf die Umwelt aus. Das Forschungsprojekt TAMS zielt auf besser vernetzte Flughafenprozesse.

Anreisen und Parken, Tanken und Lotsen, Gepäckverladen und Warten – eine Vielzahl von Prozessen muss koordiniert werden, um den Flughafenbetrieb effizient zu managen

Weniger warten, die Umwelt schonen

Weniger Wartezeiten für die Flugzeuge vermindern die Schadstoff-Emissionen. Müssen die Maschinen mit laufenden Triebwerken auf dem Rollfeld längere Zeit verharren, so erhöht das den CO_2-Ausstoß. Können die Wartezeiten reduziert werden, sparen die Fluglinien nicht nur signifikante Mengen an Treibstoff ein, auch die Umwelt wird geschont.

Aus Sicht der Projektpartner gesehen

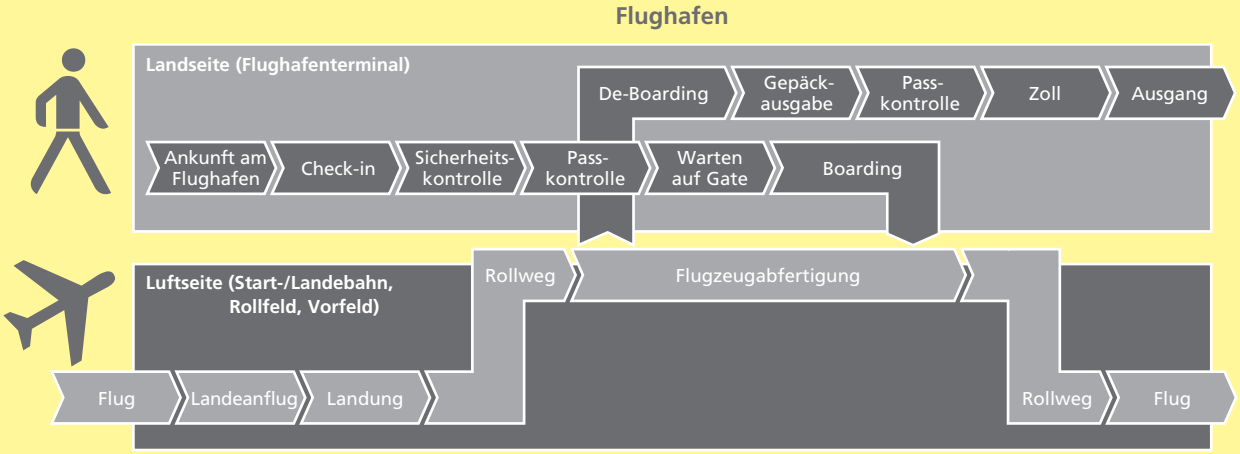
Es gibt drei gute Gründe für uns, mit dem DLR in Sachen Flughafenmanagement zusammenzuarbeiten: Die DLR-Wissenschaftler erstellen innovative Konzepte, die von den Partnern in der Industrie nicht in dieser Detailtiefe erzeugt werden können. Das Team, mit dem ich im DLR zusammengearbeitet habe, ist jung, clever und hochmotiviert. Zudem berücksichtigte es auch Konzeptelemente, vor denen manche Industrieunternehmen aus Kostengründen zurückschrecken. So kamen wir zu einem beachtlichen Ergebnis: Einem erstmals ganzheitlichen und deutlich über den bisher definierten A-CDM hinausgehenden Ansatz für eine übergreifende Systemunterstützung – und zwar für alle Akteure an einem Hub-Flughafen, also einem großen Lufttransportknotenpunkt.

Gero Hoppe, Projektmanager Inform im Geschäftsbereich Systeme Airport

Wir bei ATRiCS schätzen das große Maß an Objektivität der DLR-Kollegen und die kontinuierlich erbrachte konzeptuelle Vorarbeit in unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Zusätzlich verfügt das DLR über die ausgeprägte Fähigkeit, komplexe Systeme zu simulieren und diese zu evaluieren. Das unterstützt uns deutsche Industriepartner dabei, die führende Position auf unseren Geschäftsfeldern weiter auszubauen. Mit dem Projekt TAMS schlagen wir eine Brücke zwischen der heutzutage sehr auf Air Traffic Control zugeschnittenen Sichtweise hin zu einer ganzheitlichen Airport-Perspektive.

Moritz Strasser, Business Analyst und Projektmanager TAMS bei ATRiCS

Betrachtungshorizont des Total Airport Managementsystems



Die Idee des Total Airport Managements geht deshalb einen großen Schritt weiter: Zum einen werden die landseitigen Prozessketten und deren Wechselwirkungen mit den luftseitigen in das TAM-Konzept integriert. Zum anderen sollen die verschiedenen Prozessverantwortlichen am Flughafen eine zentrale Plattform erhalten, um ein gemeinsames Problembewusstsein zu schaffen und daraus folgend zu den Entscheidungen zu kommen. Ziel ist eine ganzheitliche, gemeinschaftliche Prozessoptimierung. Diese Plattform wird als Flughafenleitstand (Airport Operation Center – APOC) bezeichnet. Sie verbindet neuartige mit bereits bewährten Systemen und ermöglicht dadurch ein besseres Situationsbewusstsein sowie Analysemöglichkeiten für die Repräsentanten im Airport Operation Center. Das DLR-Institut für Flugführung und die DLR-Einrichtung Flughafenwesen und Luftverkehr haben das TAM-Konzept im Rahmen des DLR-internen Projekts FAMOUS (Future Airport Management Operation Utility System) weiterentwickelt. Erste Schritte zur Verbindung land- und luftseitiger Abläufe wurden bereits erfolgreich gegangen. Diese Schnittstellen auszubauen, ist einer der Forschungsschwerpunkte des Nachfolgeprojekts FAMOUS-2.

Die wissenschaftliche Exzellenz des DLR auf dem Themengebiet des ganzheitlichen Flughafenmanagements ist der nationalen Luftfahrtindustrie nicht verborgen geblieben. Da deutsche Unternehmen stetig an neuen Lösungen forschen, um ihre internationale technologische Führung insbesondere im Flughafenbereich aufrechtzuerhalten, hat das DLR gemeinsam mit Siemens Barco-Orthogon, Inform und ATRiCS, unterstützt durch Human-Factors-Consult, eine Projektidee erarbeitet, das TAM-Konzept realitätsnah umzusetzen. Der Flughafen Stuttgart konnte als möglicher Nutzer gewonnen werden. Das DLR hat diese Projektidee unter Einbeziehung der Projektträger Mobilität und Verkehrstechnologie (TÜV Rheinland) des BMWi konsequent weiterentwickelt. Aufgrund des wirtschaftspolitischen Potenzials des TAM-Ansatzes und der mit solchen anspruchsvollen Projekten verbundenen Risiken wurde das Vorhaben vom BMWi zur Förderung als Leuchtturm-Projekt ausgewählt. Seit Anfang 2009 läuft das ambitionierte, auf drei Jahre ausgelegte Projekt Total Airport Management Suite, kurz TAMS, unter Koordination des Industriepartners Siemens.

Im Rahmen des Projekts TAMS schafft das DLR eine virtuelle land- und luftseitige Flughafenumgebung für die Industriepartner, in die deren Systeme integriert werden können. Dies unterstützt zum einen ein zielgerichtetes Weiterentwickeln von gekoppelten neuartigen Applikationen und stellt zum anderen eine Plattform zur Versuchsdurchführung der TAMS-Konzepte zur Verfügung, ohne den Arbeitsablauf am Flughafen zu stören. Wissenschaftler können Systemlösungen hier direkt erproben und die Konzepte an die potenziellen Nutzer vermitteln. TAMS widmet sich aber auch weiteren Optimierungsproblemen. Hierzu sind Machbarkeitsstudien vorgesehen, die beispielsweise Eingang in prototypische Vorhersagen von Passagierflüssen finden.

Drei wesentliche Projektphasen kennzeichnen das Projekt TAMS: In Phase I werden die Systeme aufeinander abgestimmt. Die Projektbeteiligten entwickeln die bestehenden Systeme so weiter, dass der einheitliche A-CDM-Standard der EUROCONTROL unterstützt wird und die zentrale TAMS-Architektur umsetzbar ist. Die Partner integrieren daraufhin die erfolgreich angepassten Module und fassen diese zu einer ersten Systemlösung zusammen. In Phase II werden die Partner durch das DLR dabei unterstützt, auf Basis der in FAMOUS entstandenen DLR-Prototypen neuartige Industriesysteme zu erzeugen. Diese kommen in einem zentralen Flughafenleitstand zur gemeinschaftlichen Steuerung des Flughafenbetriebs direkt zum Einsatz. Das DLR in Braunschweig integriert weitere industrielle Lösungen in die virtuelle Flughafenumgebung und stellt diese zusammen mit den Leitstandsarbeitsplätzen für Experimente zur Verfügung. In Phase III erarbeiten die Projektpartner die notwendigen Konzepte, um die Systeme am Flughafen in eine TAMS-Lösung zu überführen. Begleitend dazu sind Schulungsmaßnahmen geplant. Die TAM-Suite wird als Demonstrator für Versuche am Partnerflughafen ausgebaut und mit realen Flughafendaten getestet. Zum Abschluss des Projekts sollen aufeinander abgestimmte industrielle Produkte für ein ganzheitliches Flughafenmanagement-System vorliegen und beim DLR in Braunschweig unter kontrollierbaren Bedingungen das Gesamtverbesserungspotenzial der TAM-Suite ermittelt werden. Dieses System berücksichtigt internationale Standards, es wird aber auch durch seinen innovativen Charakter neue Standards setzen.

Autoren:
Florian Piekert vom DLR-Institut für Flugführung ist TAMS-Projektmanager, Andreas Deutschmann aus der DLR-Einrichtung Flughafenwesen und Luftverkehr ist Projektmitarbeiter.

Weitere Informationen:
www.tams.aero

»Hohe Standards in der Luftfahrt erleichtern den Transfer in andere Branchen«

Pioniere grüner Mobilität

Ein Kommentar von Prof. Dr.-Ing. Joachim Szodruch

Lilienthal, Lindberg, Zeppelin, Junkers – große Namen, wenn es ums Fliegen geht, allesamt Pioniere der Luftfahrtgeschichte. In den letzten 100 Jahren hat sich die Luftfahrt von einfachen, durch die Kunst von Ingenieuren gestalteten Geräten zu einem weltumspannenden, effizienten, zuverlässigen und sicheren Transportmittel entwickelt. Was heißt es, im Jahr 2010 Pionier zu sein? Wie können wir Pioniergeist und eine Innovationskultur in der heutigen Zeit aktiv fördern?

Vielleicht registrieren zukünftige Geschichtsbücher das weltweit erste pilotengesteuerte, mit Brennstoffzellen startfähige Flugzeug, die Antares DLR-H2, als Pionierleistung. Die Antares fliegt kohlendioxidfrei und geräuschärmer als andere vergleichbare Motorsegler. Das DLR hat das Brennstoffzellensystem entwickelt und die Integration ins Flugzeug sowie die Zulassung unterstützt.

Aber Antares ist nur ein Beispiel. Das DLR hat sein Luftfahrtprogramm gemäß der Vision 2020 ausgelegt. Die Themen umfassen den ganzen Luftfahrtbereich, von alternativen Treibstoffen bis hin zum sicheren und umweltfreundlichen Fliegen. Die Themenpalette wird von einer Einrichtung des DLR als Ganzes gesehen. Eingangs dieses Hefts wird sie vorgestellt. Die Wissenschaftler dort befassen sich mit Konzepten des Lufttransportsystems, also Flugzeug, Flughafen, Flugführung und Betrieb. Mit seinen sehr breit angelegten disziplinären und systemorientierten Kompetenzen ist das DLR so hervorragend positioniert, technologische Pionierforschung zusammen mit Universitäten zu erarbeiten und anwendungsorientierte Innovationen in Kooperation mit Industrie und Wirtschaft für Produktentwicklungen zu validieren. Die Unterstützung durch Politik und Ministerien und damit durch die gesamte Gesellschaft ist dabei essenziell.

Das DLR ist in der europaweit einzigartigen Position, das Lufttransportsystem als Ganzes zu betrachten. Vielversprechende Technologien aus unseren Instituten finden auch Eingang in andere Branchen. Der Transfer, vor allem in die Energieversorgung und die bodengebundenen Transportsysteme ist einerseits durch die enge Abstimmung unserer programmatischen Steuerung gewährleistet, andererseits durch unsere industriellen Kooperationen nachgefragt. Luftfahrtrelevante validierte Technologien zeichnen ein höchst anspruchsvolles Anforderungsspektrum sowie ein großes Maß an Zuverlässigkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit aus. Mit anderen Worten: Ein ähnliches Energieversorgunssystem wie jenes des Brennstoffzellenfliegers Antares könnte auch im bodengebundenen Transportsystemen zum Einsatz kommen. Durch die hohen Sicherheits- und Zulassungsstandards, die in der Luftfahrt für Technologien gelten, wird ein so hoher Grad der Zuverlässigkeit erreicht, dass ein Transfer in andere Branchen unter reduzierten Anforderungen durchgeführt werden kann.

Als ein Motor für umweltfreundliche Technologien ist damit die Luftfahrt generell Pionier für eine „grüne“ Mobilität: Pioneering green mobility.

Prof. Dr.-Ing. Joachim Szodruch ist im Vorstand des DLR zuständig für den Bereich Luftfahrt. Er ist ferner Mitglied des Lenkungsausschusses der Deutsch-Niederländischen Windkanäle (DNW) sowie im Aufsichtsrat des European Transsonic Windtunnel (ETW). Von mehr als 60 Publikationen ist er Autor bzw. Co-Autor. Als Honorarprofessor für Luftfahrttechnik an der TU Berlin bringt er sein Wissen auch in die Lehre ein. Zudem bekleidet er die Ämter des Co-Chairman des Advisory Council for Aeronautical Research in Europe (ACARE) und des Präsidenten des Council of European Aerospace Societies (CEAS). Joachim Szodruch ist Associate Fellow des American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA).

Mit der richtigen Antenne

Quadratisch, praktisch, gut – der Slogan trifft auch auf ein neues DLR-Pilotprojekt zu: Handliche 60 mal 60 mal 40 Zentimeter misst AISat, ein sogenannter Klein- oder auch Nanosatellit. Sein Clou: die vier Meter lange, faltbare, extrem leichte und trotzdem weltraumstabile Helix-Antenne. Bei der 15. DLR-Parabelflugkampagne im März 2010 in Bordeaux hat die hochelastische Faserverbundspirale bewiesen, dass sie auch unter Schwerelosigkeitsbedingungen einwandfrei funktioniert.

Der DLR-Nanosatellit AISat soll die maritime Sicherheit erhöhen

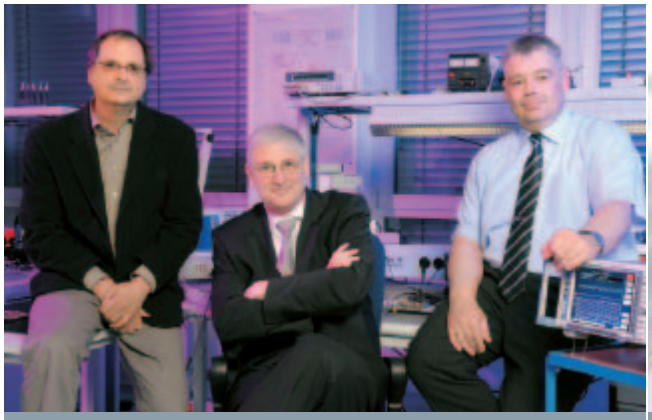
Von DLR-Redakteurin Elisabeth Mittelbach

AISat ist ein koffergroßer DLR-Nanosatellit mit einer ausfahrbaren filigranen Antenne. Beim Start mit einer Rakete auf engstem Raum gestaut, muss sich diese Hightech-Sprungfeder im Orbit selbstständig auf ihre volle Länge entfalten. Doch nicht nur bei der Antenne, sondern beim gesamten AISat-Projekt handelt es sich um ein ehrgeiziges Unterfangen: Der DLR-Satellit soll die maritime Sicherheit erhöhen und einzelne Schiffe auf viel befahrenen Ozeanrouten präzise orten. Hinter der Abkürzung „AIS“ (Automatisches Identifikationssystem) steckt ein Funksystem, das durch den Austausch von Navigations-, Positions- und Identifikationsdaten einzelner Schiffe den globalen Seeverkehr sicherer und besser steuerbar macht. Ursprünglich hat die Internationale Seeschifffahrts-Organisation IMO, eine Sonderbehörde der Vereinten Nationen, AIS als Anti-Kollisionssystem eingeführt.

Das Projekt AISat ist eine Kooperation des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt mit der Hochschule Bremen und zwei Industriepartnern. Das Bremer DLR-Institut für Raumfahrtsysteme hat den etwa zehn Kilogramm leichten Minisatelliten entwickelt, das DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in Braunschweig konzipierte die Helix-Antenne und baute ein Modell des Satelliten. Der Jungfernflug ist Ende 2010 geplant: Dann soll der Nanosatellit mit einer PSLV (Polar-Satellite-Launch-Vehicle)-Trägerrakete vom indischen Weltraumbahnhof Satish Dhawan Space Centre auf der Insel Sriharikota in den Orbit abheben.

„Das Hauptproblem bei der Ortung einzelner Schiffe ist bislang, dass zu viele verschiedene Signale gleichzeitig empfangen werden“, erklärt Dr. Jörg Behrens, Leiter der Abteilung Orbitalsysteme und Sicherheit im DLR-Institut für Raumfahrtsysteme und geistiger Vater von AISat. „Die Gründe dafür sind zum einen die zeitgleiche Beobachtung eines zu großen Gebiets, weil zu viele Satellitenantennen ungerichtet arbeiten, zum anderen die Existenz von vielen Störsignalen in benachbarten Frequenzbändern“, verdeutlicht der Geophysiker. Ursache der unerwünschten Signalkollisionen sind zum Beispiel die riesigen Ausleuchtzonen von 6.000 Kilometern – vom Nordkap bis nach Sizilien. Die Helix-Antenne von AISat konzentriert sich lediglich auf einen

Fingerspitzengefühl ist gefragt, wenn die Helix-Antenne für den Satelliten AISat geprüft wird: Feine Seile aus Glasfasern halten sie in der gewünschten Form. Bevor sie für den Start ins All auf engstem Raum zusammengestaut wird, kontrolliert Cordelia Koch vom DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik die Seilführung noch einmal ganz genau.



Die Ideengeber des DLR-Nanosatelliten AISat vom Institut für Raumfahrtsysteme in Bremen: (von links) Jörg Behrens, Leiter der Abteilung Orbitalsysteme und Sicherheit, Institutsdirektor Prof. Hansjörg Dittus und Systemingenieur Lars-Christian Hauer im Elektroniklabor des DLR in Bremen. Dort werden die elektronischen Komponenten für den Kleinsatelliten entwickelt und integriert.

Ob sich die Antenne später unter Schwerelosigkeit wunschgemäß entfalten wird, kann nur im Rahmen eines Parabelflugs wirklichkeitsnah getestet werden. Deshalb flog bei der jüngsten Parabelflugkampagne im März 2010 unter anderem auch die Helix-Antenne des AISat in vier verschiedenen Testversionen mit. Gemeinsam mit Ihren Kollegen versucht Annette Bäger herauszufinden, welches Antennenkern-Material am besten geeignet ist.

Ausleucht-Radius von 750 Kilometern: „Wir wollen so eine geringere Datenkollision und damit eine höhere Präzision erreichen", beschreibt Behrens die Idee. Zudem soll die Ausleuchtzone der Antenne künftig dynamisch verändert werden können. Einzigartig ist auch die Fähigkeit der Hochgewinn-Helix-Antenne, neben den UKW-Seefunk-Kanälen der Klasse A (Class-A-Signals) der kommerziellen Seefahrt auch sogenannte Class-B-Signals der nicht-kommerziellen Seefahrt sowie das sogenannte AIS-SART (Save And Rescue Transmitter) der Seenotrettungsbarken zu empfangen. Dies war mit den bestehenden Satellitensystemen nicht möglich.

Denn im Vergleich zu den Informationen aus dem weltweit operierenden Schiffsmeldesystem AMVER (Atlantic Merchant Vessel Emergency Reporting System) der US-amerikanischen Küstenwache bestehen momentan viele Datenlücken, insbesondere bei den stark befahrenen Routen in Europa, Afrika oder Asien. „Die etablierten Systeme können dieses Problem nicht lösen", beschreibt Prof. Hansjörg Dittus die Motivation, über eine neue Satellitentechnik die „weißen Flecken" auf der globalen Seeverkehrskarte zu schließen. Die Vorteile, für dieses Projekt einen Nanosatelliten einzusetzen, liegen für den Leiter des DLR-Instituts für Raumfahrtsysteme auf der Hand: „Die kurze Entwicklungszeit von zwei Jahren, die Möglichkeit, ihn kostengünstig als Sekundärlast auf einer Rakete mitfliegen zu lassen, und nicht zuletzt die Gelegenheit, mit dem innovativen Konzept Erfahrungen für große Folgemissionen zu sammeln."

Nach zwei Jahren Entwicklungsarbeit freuten sich die DLR-Wissenschaftler im März 2010 über einen ersten praktischen AISat-Erfolg: Im Rahmen der 15. Parabelflugkampagne in Bordeaux testete ein Wissenschaftlerteam um Prof. Dr. Joachim Block vom Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik die Weltraumtauglichkeit der Helix-Antenne. „Wir haben vier verschiedene Typen untersucht und sind hochzufrieden", berichtet Block rückblickend. Das Antennendesign ist so ausgelegt, dass nur die metallisch leitende Umkleidung der Faserverbundspirale dabei elektromagnetisch wirkt. Ein System feiner Kontrollseile aus Glasfasern begrenzt die Ausdehnung der Spirale nach der Entfaltung und stabilisiert die Antenne in der gewünschten Endkonfiguration – damit letztlich der Satellit die Antenne steuert und nicht umgekehrt.

Das automatische Identifikationssystem AIS:

Seit Mitte 2008 sind alle Berufsschiffe über 300 Bruttoraumzahl (Groß-Tonnage) in internationaler Fahrt von der IMO (International Maritime Organization) verpflichtet, eine Anlage zur automatischen Identifikation (AIS) zu betreiben. Auch Schiffe, die mehr als 50 Passagiere an Bord haben, müssen mit einer AIS-Einheit ausgerüstet sein. Die Anlage sendet abwechselnd auf den UKW-Seefunk-Kanälen A (161,975 MHz) und B (162,025 MHz) und nutzt das sogenannte HLDC (High-Level Data Link Control)-Datenprotokoll. Die Daten werden dekodiert und zum Beispiel als Textinformation oder in einem Radarbild grafisch dargestellt. Die Signale haben eine Reichweite von etwa 20 bis 30 nautischen Meilen und übertragen statische und dynamische Schiffsdaten sowie Reise-informationen. AIS gibt es zurzeit als terrestrisches AIS nur in Küstenregionen: Die Bodenstationen empfangen lediglich die Signale von Schiffen, die sich der Küste auf 50 bis 100 Kilometer nähern, oder die im Binnenschiffsverkehr unterwegs sind. Die aktuelle Verkehrssituation wird durch AIS dynamisch angezeigt, jede Schiffsbewegung ist auf dem Bildschirm sichtbar. Zusätzlich ist zu sehen, wann genau zwei sich begegnende Schiffe den kürzesten Abstand zueinander haben, wie groß dieser sein wird, und wie lange es noch dauert, bis dieser erreicht ist. Auf hoher See ist eine solche dynamische Erfassung der Schiffsdaten bisher noch nicht möglich.

„Eine Frage des Kerns“

Fünf Fragen an …

… Prof. Dr. Joachim Block, Koordinator der Raumfahrtprojekte im DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in Braunschweig und AISat-Verantwortlicher (Prime Investigator) für das Parabelflug-experiment mit der Helix-Antenne.

Die Antenne für den AISat-Satelliten sieht aus wie eine Sprungfeder. Wie sind Sie auf dieses Design gekommen?

Die Spiralform der Antenne ist vorgegeben, sie ergibt sich aus den elektromagnetischen Anforderungen für die richtige Ortung der Schiffe. Unsere Aufgabe lag darin, über die Faserverbundstruktur die mechanischen Eigenschaften der Spirale für ihre Entfaltung zu optimieren – damit sie eben funktioniert wie eine Sprungfeder. Um die gewünschte Richtcharakteristik zu erzielen, müssen geometrische Parameter wie Windungsdurchmesser und Steigung in einem bestimmten Verhältnis zur Wellenlänge stehen. Die Einzelheiten haben wir erst in Diskussionen mit den Antennenspezialisten in Bremen gelernt.

Welchen speziellen Herausforderungen muss die Antenne im Orbit gewachsen sein?

Sie muss vor allem eine stabile Endform erreichen. Natürlich schwingt sie bei der Entfaltung zunächst einmal auf ganzer Länge lebhaft und bewegt damit den viel kürzeren Satellitenkörper. Bildlich gesprochen wedelt hier wirklich der „Schwanz mit dem Hund“. Aber wenn die Antenne zur Ruhe gekommen und der Satellit in seine endgültige Raumlage gebracht worden ist, soll diese Konfiguration möglichst störungsfrei beibehalten werden.

Warum haben Sie während der 15. Parabelflugkampagne in Bordeaux vier verschiedene Antennentypen getestet?

Die vier Versuchsantennen unterschieden sich nur hinsichtlich ihres Faserkerns. Wir haben Kohlefasern, Glasfasern und Aramidfasern gewählt und auch den Durchmesser des Faserkerns variiert. Nur einen einzigen Typ in 31 Parabeln hintereinander immer wieder zu testen, wäre nicht sinnvoll gewesen. Mehr als vier verschiedene Typen hätten wir im Versuchsablauf aber auch nicht unterbringen können.

Wann werden Sie entscheiden, welche Variante nun tatsächlich AISat begleitet?

Das werden wir entscheiden, wenn die Parabelflugtests ausgewertet sind und auch die Ergebnisse einiger statischer Langzeitversuche vorliegen, also im Sommer dieses Jahres.

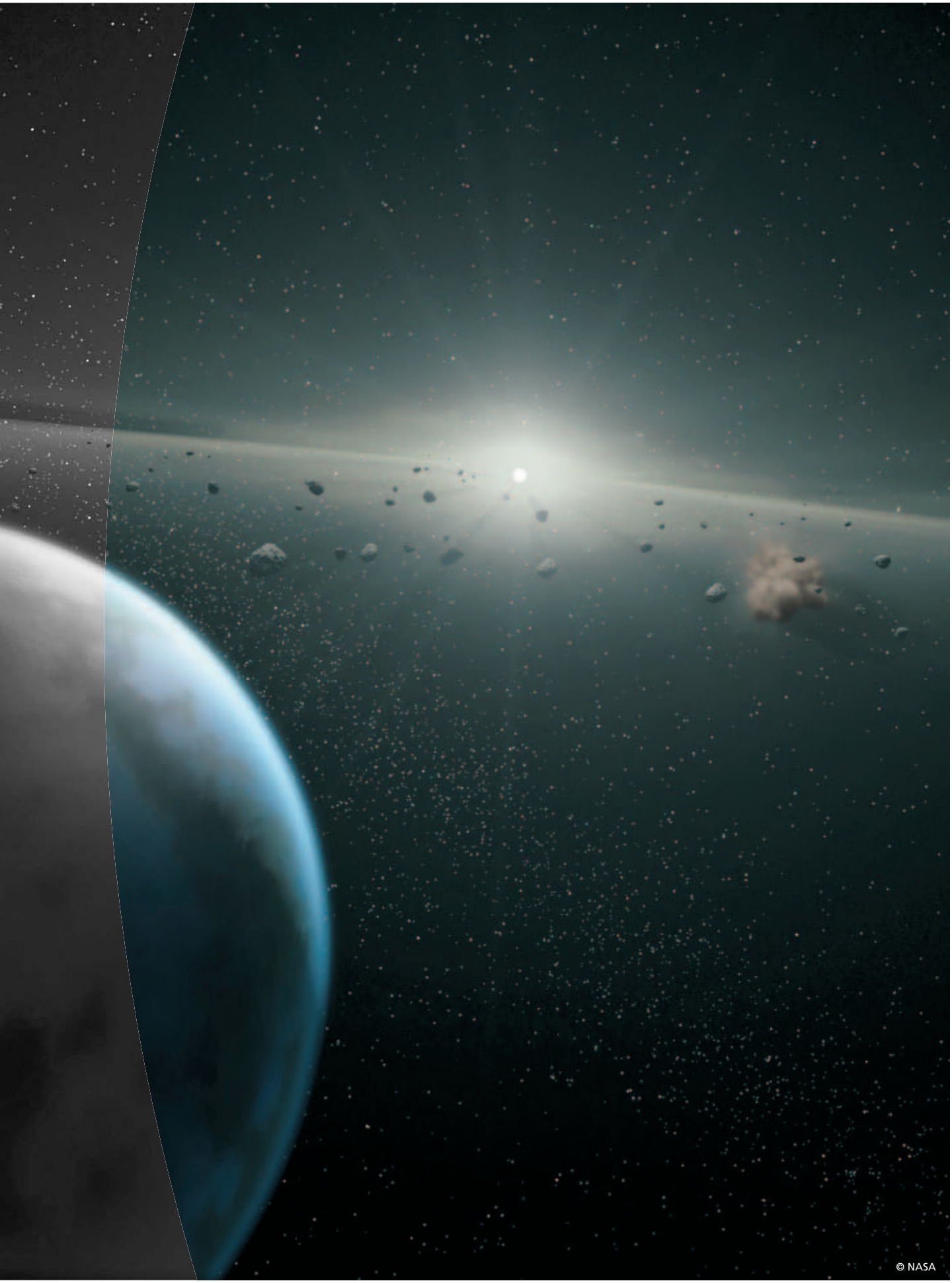
Was ist für Sie persönlich die spannendste Phase des Projekts und warum?

Nun, die spannendste Phase ist natürlich der Parabelflug selbst. Auch wenn es vorher schon so manche Aha-Erlebnisse gegeben hat, reicht nichts an diese drei Stunden über der Biscaya heran, vom persönlichen Erleben her nichts – auch wenn ich selbst vorher schon einmal bei einer Kampagne dabei war –, aber vor allem auch technisch nichts. Es ist jedes Mal eine Nagelprobe, eine Stunde der Wahrheit.

Die Fragen stellte Elisabeth Mittelbach

Die geometrischen Vorgaben genau einzuhalten, ist eine diffizile Angelegenheit. Am Boden kann das nur im hängenden Zustand kontrolliert werden. Schwerkraftbedingtes Durchhängen der Antenne wird durch Halteseile ausgeglichen.

www.DLR.de/fa
www.DLR.de/irs/de
www.imo.org


© NASA

Detektivarbeit zwischen Erde und Sonne

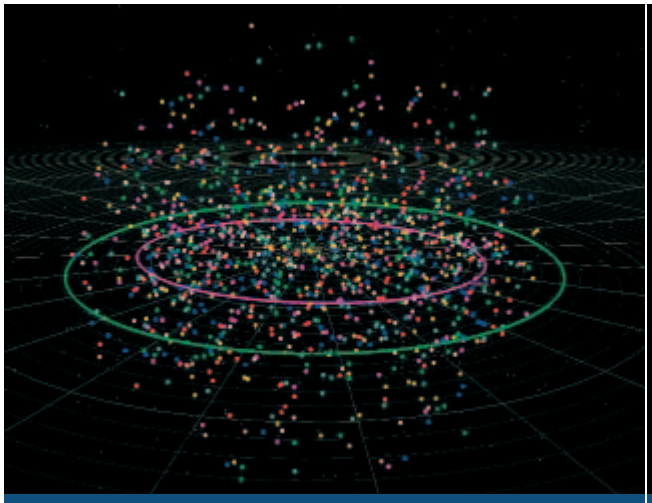
Neben den Planeten, Monden und Kometen gibt es in unserem Sonnensystem auch eine große Zahl von Asteroiden. Oft nur wenige hundert Meter groß, vielfach aber mehrere Kilometer und einige sogar bis tausend Kilometer groß, ziehen sie ihre unterschiedlichen Bahnen um die Sonne. Auf Initiative des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt soll im Jahr 2013 der Satellit AsteroidFinder gestartet werden, um eine spezielle Klasse dieser für die Erde unter Umständen gefährlichen Himmelskörper nachzuweisen.

DLR-Satellit AsteroidFinder wird nach potenziell gefährlichen Asteroiden suchen

Von Falk Dambowsky, Jan Thimo Grundmann und Dr. Ekkehard Kührt

Die meisten Asteroiden bewegen sich außerhalb der Erdumlaufbahn zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter. Dort umkreisen sie die Sonne als gigantischer Ring aus Geröll. Durch die starke Anziehungskraft des Gasriesen Jupiter konnte sich daraus nie ein vollständiger Planet bilden. Das ist ein wissenschaftlicher Glücksfall, denn so gibt es einen Schatz an Milliarden Jahre alten Geburtsfragmenten unseres Sonnensystems. Für diese Asteroiden interessieren sich die Forscher wegen ihres Alters, aber auch, weil sie eine potenzielle Gefahr für die Erde darstellen. Immer wieder können sie von einem Schwerefeld oder auch durch Zusammenstöße in die Nähe der Erdbahn abgelenkt werden.

Diese erdnahen Objekte (Near Earth Objects, kurz: NEOs) können gewaltige Schäden auf unserem Heimatplaneten anrichten. Kleine Brocken verglühen noch in der Atmosphäre, doch schon der Einschlag eines mehrere Dutzend Meter großen NEO hat verheerende Folgen. Die Zerstörungskraft solch eines Zusammenpralls zeigte sich vor hundert Jahren in Sibirien. Am 30. Juni 1908 explodierte über der Taiga nahe dem Fluss Steinige Tunguska in acht bis zwölf Kilometer Höhe ein Asteroid. Er war mit fast 70.000 Stundenkilometer in die Erdatmosphäre eingedrungen. Der Durchmesser des Gesteinsbrockens wird mit 30 bis 50 Metern angenommen. Die auf den Boden gerichtete Druckwelle knickte mit der Sprengkraft von fast tausend Hiroshima-Atombomben auf über 2.000 Quadratkilometern zwischen 60 und 80 Millionen Bäume um. Eine Fläche von der doppelten Größe Berlins wurde verwüstet. Nach statistischen Rechnungen kommt es alle paar hundert Jahre zu einer solchen kosmischen Kollision. Der sehr viel seltenere Einschlag eines mehrere Kilometer großen Himmelskörpers auf der Erde führt sogar zu einer globalen Katastrophe. Es gilt inzwischen als sicher, dass das Aussterben der Saurier vor 65 Millionen Jahren auf den Chicxulub-Einschlag zurückzuführen ist.



Innere Asteroiden in der Computersimulation: Mehr als tausend Objekte, die größer sind als 100 Meter, werden von den Wissenschaftlern vermutet

Mit seinen beeindruckenden 19 Kilometern Länge bewegt sich der Asteroid Eros in sicherer Entfernung von der Erde

Solche zerstörerischen Impaktereignisse sollen in Zukunft mit allen Mitteln verhindert werden. Dazu dienen in erster Linie Suchprogramme für NEOs, die seit vielen Jahren weltweit betrieben werden. Vor allem die USA investieren viel Geld für entsprechende Teleskope auf der Erde. Mit diesen Programmen wurde zum Beispiel herausgefunden, dass im Jahr 2029 der etwa 300 Meter große Asteroid 99942 Apophis in nur etwa 30.000 Kilometer Entfernung an der Erde vorbeifliegen wird. Neue Beobachtungen und Berechnungen geben glücklicherweise Anlass zur Entwarnung: Auch bei der nächsten Annäherung an die Erde, die sieben Jahre später noch einmal erfolgt, ist ein Zusammenstoß mit unserem Planeten nahezu ausgeschlossen.

Trotz intensiver Suche nach potenziell gefährlichen Asteroiden bestehen beträchtliche Lücken im Wissen um ihre tatsächliche Zahl. Asteroiden innerhalb der Erdbahn sind kaum bekannt. Erst 1998 wurde ein erstes, sogenanntes Inner Earth Object (IEO) entdeckt. Bis heute wurden gerade einmal zehn IEOs gefunden. Doch auf der Grundlage von Modellrechnungen werden über tausend solcher Objekte mit mindestens 100 Meter Durchmesser vermutet.

Im All behindert keine atmosphärisch verursachte Lichtstreuung die Messungen

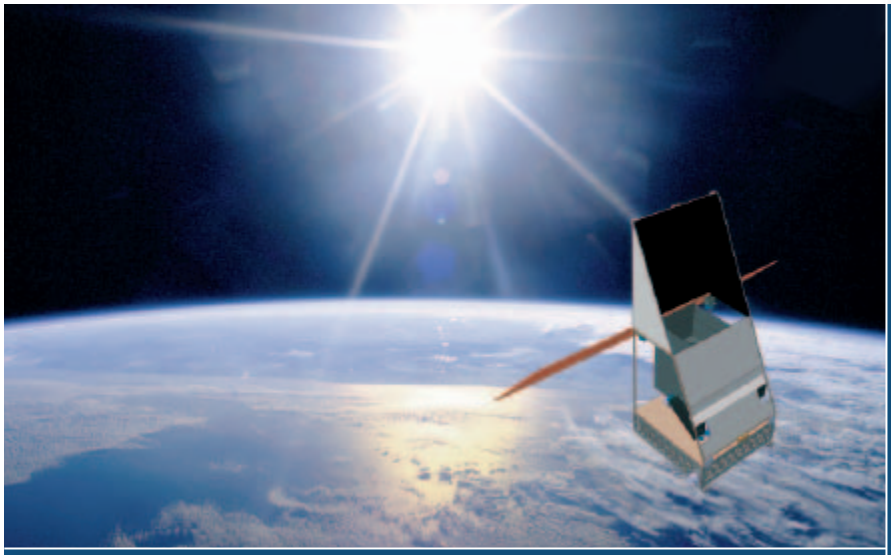
Diese geringe Nachweisrate hängt damit zusammen, dass sich IEOs durch ihre spezielle Umlaufbahn ähnlich wie die Planeten Merkur und Venus vorwiegend am hellen Taghimmel befinden. Zudem hat man meistens nur die dunkle Rückseite der Asteroiden im Blick. Um ihnen trotzdem auf die Spur zu kommen, plant das DLR im Rahmen des DLR-Kompaktsatellitenprogramms die Mission AsteroidFinder. Mit ihr sollen erdnahe IEOs erstmals aus dem Weltraum aufgespürt werden. Der Vorzug: Dort behindert keine atmosphärisch verursachte Lichtstreuung die Messungen. Außerdem kann aus dem geplanten Orbit über dem Erdterminator (Tag-Nacht-Grenze) rund um die Uhr beobachtet werden. Die Chancen für IEO-Entdeckungen sind damit weit höher als bei irdischen Teleskopen. Modellrechnungen lassen erwarten, dass bereits im ersten Missionsjahr mindestens zehn weitere IEOs entdeckt werden. Aus den Beobachtungen sollen auch ihre Bahnen bestimmt und ihre Größen geschätzt werden. Die beteiligten Wissenschaftler aus dem DLR-Institut für Planetenforschung erhoffen sich davon Hinweise zur frühen Entwicklung des Sonnensystems, beispielsweise zur Entstehung von Einschlagskratern auf Merkur und Venus.

An dem Missionsvorschlag des DLR-Instituts für Planetenforschung sind weitere acht DLR-Institute beteiligt. Die Federführung hat das DLR-Institut für Raumfahrtsysteme in Bremen. Das Bremer Team entwickelt auch den Standardsatellitenbus (SSB), die mit zwei Versorgungssegmenten bestückte „Hülle“, in die das Nutzlastteleskop als Passagier „einsteigt“. Der einmal entwickelte Satellitenbus soll später auch andersartigen Kompaktsatellitenmissionen als Grundlage dienen. Für die neue Satellitengeneration werden im Bremer DLR-Institut unter anderem eine völlig neuartige Rechnerstruktur und ein ausgefeiltes Lageregelungssystem entwickelt. Alle Systeme und das Teleskop des AsteroidFinder finden am Ende in einem nur 80 mal 80 mal 100 Zentimeter großen Quader Platz, der dann gerade einmal 180 Kilogramm auf die Waage bringt.

Als wolle man von Berlin aus eine Kerzenflamme in Sankt Petersburg sehen

Die wissenschaftliche Nutzlast mit einem innovativen Konzept für das Teleskop und die CCD (Charge-Coupled Device)-Kamera wird im Rahmen eines Teilprojekts im Berliner Institut für Planetenforschung in enger Zusammenarbeit mit der Firma Kayser-Threde gebaut. Ziel ist es, extrem dunkle Objekte bis zu einer scheinbaren Helligkeit von 18,5 Magnituden zu entdecken. Mit Magnitude bezeichnet man in der Astronomie die scheinbare Helligkeit eines Himmelskörpers; je kleiner der Wert der Magnitude, desto heller das Objekt – so gilt für die Venus beispielsweise die Magnitude -4,7, für den Zwergplaneten Pluto die Magnitude 14,0. Ein Objekt von 18,5 Magnituden leuchtet zwei Milliarden mal schwächer als die Venus und 63 mal schwächer als Pluto! Übertragen auf den AsteroidFinder bedeutet dies: Er muss in der Lage sein, in 1.500 Kilometer Entfernung eine Kerzenflamme bei diffusem Hintergrundlicht aufzuspüren, so als wolle man von Berlin aus ein Flämmchen auf der Sankt Petersburger Isaaks-Kathedrale sehen wollen. Daraus ergeben sich enorme Anforderungen an den Kompaktsatellitenbus und die Nutzlast.

Eine neuartige Hochleistungskamera mit einem speziellen CCD-Sensor aus lichtempfindlichen Halbleiterelementen wird die hochpräzise „Spürnase“ des AsteroidFinder. Dieser Sensor ermöglicht 300, nur Zehntelsekunden lang belichtete, schnell ausgelesene Aufnahmen einer Himmelsregion. Diese werden nachträglich aufsummiert. Das ist erforderlich, weil während der notwendigen Gesamtbelichtungszeit von einer Minute, die zur Erkennung der leuchtschwachen Lichtpunkte von Asteroiden



Der zukünftige Satellit AsteroidFinder/SSB: Das Teleskop hat zwei Versorgungsmodule unter sich und über sich eine aufgesetzte Blende, die es im Schatten hält

erforderlich ist, der Satellit die notwendige Stabilität von etwa einer Bogensekunde nicht erreichen kann. Ein „Verwackeln" des Bilds wäre die Folge. Für die exakte Summation der Einzelbilder in Echtzeit wird die Orientierung am Fixsternhimmel vorgenommen. Dazu benötigt der Satellit eine leistungsfähige Datenverarbeitung.

Der Start von AsteroidFinder ist für das Jahr 2013 vorgesehen. Er wird das noch sehr lückenhafte Wissen über Anzahl, Größe und Bahnverlauf der sogenannten Inneren Asteroiden deutlich erweitern. Ein weiteres, sekundäres Missionsziel besteht darin, die Detektierbarkeit von Weltraummüll aus dem Erdorbit nachzuweisen. Mehrere hunderttausend Schrottteilchen von Millimeter- bis Metergröße sind durch die Raumfahrt in den letzten 50 Jahren entstanden. Sie sind eine ernst zu nehmende Gefahr für Erdsatelliten und Raumstationen. AsteroidFinder soll die zentimetergroßen Teile, die von der Erde nur schwer beobachtbar sind, erkennen.

Autoren:
Falk Dambowsky ist als Physiker und Medienwissenschaftler am DLR-Institut für Planetenforschung tätig. Jan Thimo Grundmann ist als Raumfahrttechnik-Ingenieur am DLR-Institut für Raumfahrtsysteme tätig. Dr. Ekkehard Kührt leitet die Abteilung Asteroiden und Kometen am DLR-Institut für Planetenforschung.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/Asteroidfinder
neo.jpl.nasa.gov

Im Einklang mit den Vereinten Nationen

Das DLR unterstützt mit AsteroidFinder die weltweiten Bemühungen, mögliche Gefahren aus dem Weltraum rechtzeitig zu erkennen und dadurch abwehren zu können. Diese Aktivität steht im Einklang mit den Empfehlungen des Komitees für die friedliche Nutzung des Weltraums der Vereinten Nationen und ergänzt die neue Weltraumüberwachungsinitiative der Europäischen Weltraumorganisation ESA mit ihrem Programm Space Situational Awareness.

Künstlerische Darstellung eines Asteroiden-Einschlags, wie er sich in der Erdgeschichte schon mehrmals ereignete

Der Zukunft voraus …

… und der kosmischen Vergangenheit hinterher: Orbiter und Sonden in den Tiefen des Sonnensystems

Zu behaupten, in unserem Sonnensystem ginge es so lebhaft zu wie im Luftraum über Frankfurt, wäre maßlos übertrieben. Aber tatsächlich ist eine stattliche Zahl von Raumsonden in unserer planetaren Umgebung unterwegs. Mit Experimenten und Kameras an Bord suchen sie nach Antworten auf die vielen noch offenen Fragen, die das kosmische Geschehen aufwirft. An etlichen dieser Missionen ist das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt beteiligt: zum einen durch die Förderung über die Raumfahrt-Agentur im DLR, vor allem aber mit Instrumenten, die zum Teil im DLR entwickelt wurden, sowie mit Ingenieuren und Wissenschaftlern, die Missionskonzepte entwerfen und die neu gewonnenen Daten verarbeiten, archivieren und auswerten. Längst sind aber auch die Weichen für einige bedeutende Missionen der Zukunft gestellt.

Unbekannter Merkur – Europa will die Rätsel des kleinsten Planeten mit der Orbitermission BepiColombo lösen

Auf zu Merkur, Mars und Jupiter

Die Mission BepiColombo der Europäischen Weltraumorganisation ESA, die 2014 zum Merkur starten wird, hat für die DLR-Wissenschaftler schon längst begonnen. Die Hauptbeiträge des DLR werden ein vom Institut für Planetenforschung gemeinsam mit der Universität Bern entwickeltes Laser-Höhenmessgerät sowie ein Spektrometer-Experiment sein, das mit der Universität Münster vorbereitet wird. Damit sollen die Merkuroberfläche exakt vermessen sowie die Form und Oberflächenmineralogie des Planeten bestimmt werden.

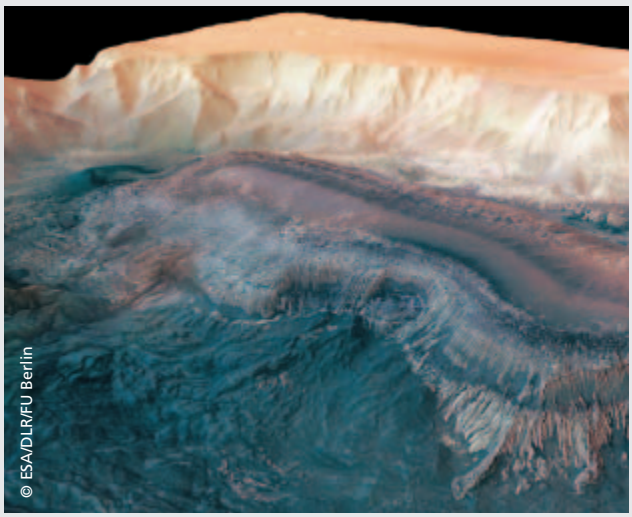
Etwa zur selben Zeit wird es im Rahmen der Mars Joint Exploration-Initiative zwei gemeinsame Missionen von ESA und NASA zum Mars geben, zunächst 2016 den ExoMars Trace Gas Orbiter und zwei Jahre später eine Landung auf dem Mars mit dem Mars Astrobiology Explorer-Cacher (MAX-C). Eine große ESA-NASA-Mission wird gegen Ende dieses Jahrzehnts zum Jupiter aufbrechen, die Europa Jupiter System Mission (EJSM). Zwei Orbiter sollen im Jupitersystem unter anderem die großen Monde Ganymed (ESA) und Europa (NASA) unter die Lupe nehmen. Die Monde bieten gewisse Voraussetzungen für Leben. Das macht sie besonders interessant.

Mars Express – aus Erfahrung gut

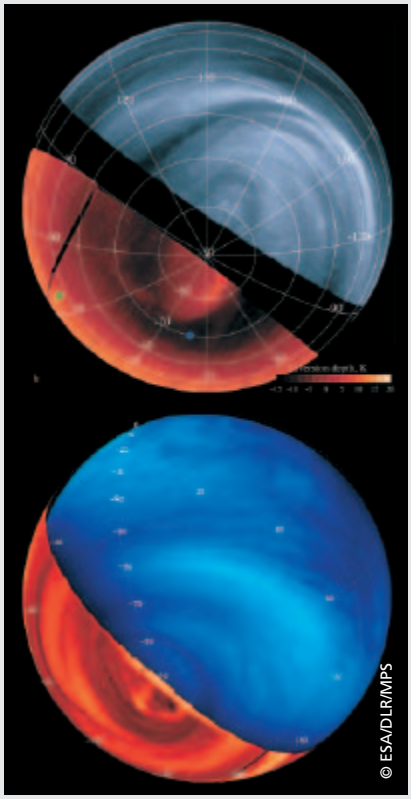
Gleich die erste Planetenmission der ESA wurde zu einem großen Erfolg. Seit 2003 umrundet der Mars Express den Roten Planeten. Mit an Bord ist das im DLR entwickelte und gemeinsam mit deutschen Unternehmen gebaute Kamerasystem HRSC (High Resolution Stereo Camera).

Damit ist es erstmals möglich, eine Planetenoberfläche gleichzeitig in hoher Auflösung, in Farbe und dreidimensional systematisch zu erfassen. Das DLR-Institut für Planetenforschung ist für den Betrieb der Kamera verantwortlich. Das Team wählt in Kooperation mit den über 50 an diesem Experiment beteiligten Wissenschaftlern aus Deutschland, Europa, den USA und Japan die Aufnahmeziele aus, programmiert die Kamera, verarbeitet die Rohdaten zu wissenschaftlich hochwertigen Produkten und sorgt auch für die Archivierung in den Datenspeichern von ESA und NASA.

Es ist das umfangreichste deutsche Experiment in der Planetenforschung. DLR-Forscher sind auch im HRSC-Wissenschaftlerteam, das von der Freien Universität Berlin aus geleitet wird. Da nach sieben Jahren noch immer alle Systeme und Experimente zuverlässig funktionieren, hat die ESA die Mission bis Ende 2012 verlängert. Bis dahin sollen mit der HRSC digitale Geländemodelle der gesamten Marsoberfläche gewonnen werden.



Das hochqualifizierte Kamerasystem HRSC ermöglicht völlig neue „Perspektiven" der Marsforschung – die Falschfarben-Schrägansicht des Tal-Kessels von Hebes Chasma zeigt Spuren der Aktivität von Wasser in der Frühzeit des Planeten



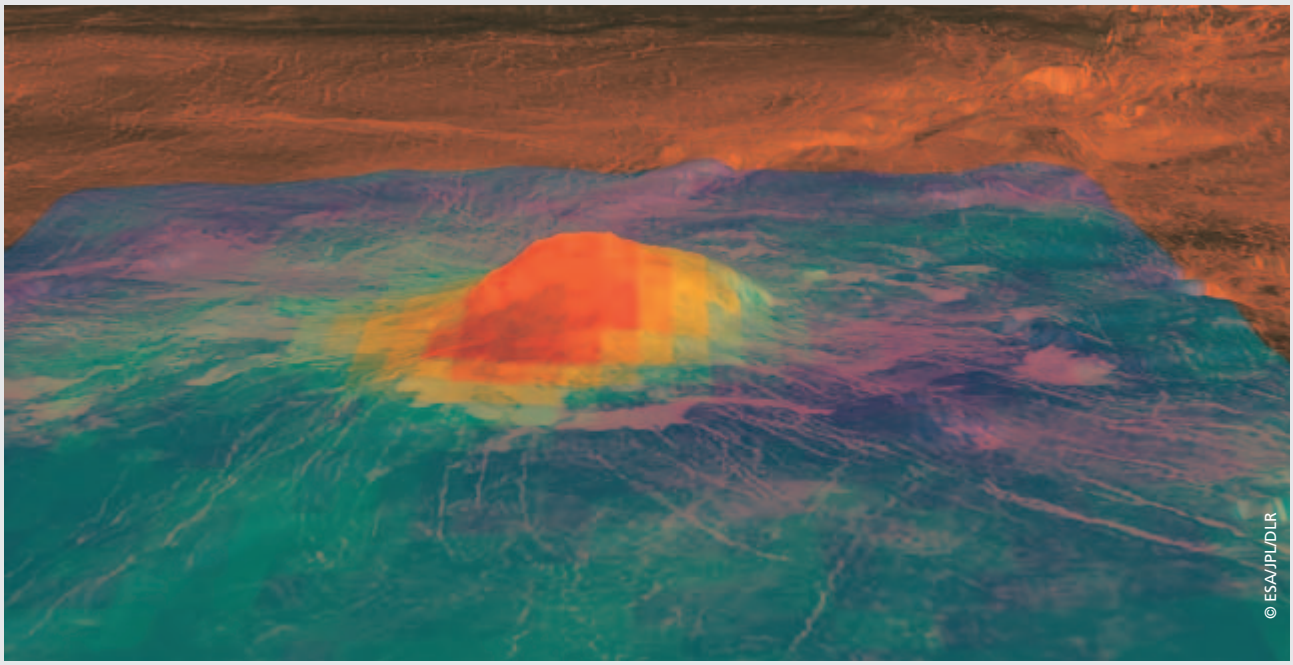
Venus Express analysiert über lange Zeiträume das turbulente Wettergeschehen auf dem von dichten Wolken eingehüllten Schwesterplaneten der Erde

Venus Express – erfolgreiche Schwestersonde

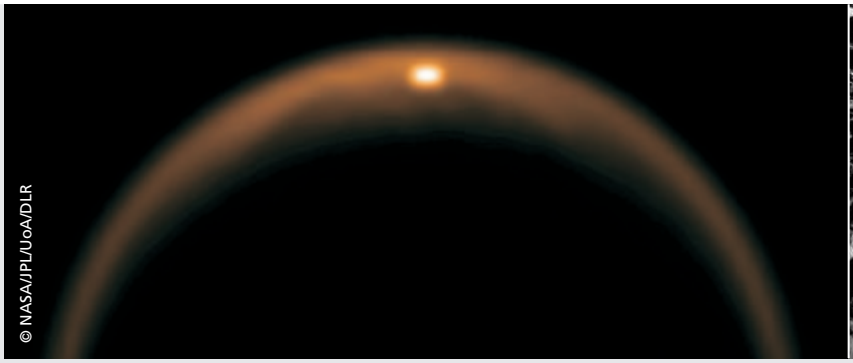
Nicht weniger erfolgreich als Mars Express umrundet Venus Express ihr Ziel, die Venus, den inneren Nachbarn der Erde. Und wie die Schwestersonde wurde auch diese zweite ESA-Planetenmission – sie erreichte die Venus am 11. April 2006 – bis Ende 2012 verlängert. Durch Langzeitstudien von Stürmen, Wolken und Wettergeschehen wird ein besseres Verständnis der Vorgänge möglich, die sich in der dynamischen Atmosphäre der Venus abspielen. Dazu wurde die Venus Monitoring Camera (VMC) vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, dem DLR-Institut für Planetenforschung sowie dem Institut für Datentechnik der Universität Braunschweig entwickelt.

Die Forscher suchen auch nach aktiven Vulkanen auf der 460 Grad Celsius heißen Oberfläche der Venus: Mit dem Infrarot-Experiment VIRTIS könnte in sogenannten „atmosphärischen Fenstern“ bei bestimmten Wellenlängen die Suche nach verräterisch heißen Vulkanschloten erfolgreich sein.

Im April 2010 haben zwei DLR-Wissenschaftler in einer gemeinsamen Forschungsarbeit mit amerikanischen Kollegen zum ersten Mal neun ungewöhnliche „Hotspots“ auf der Venus entdeckt, die darauf hindeuten, dass der Planet in jüngster Zeit vulkanisch aktiv war.



Die Analyse von Spektrometer-Daten durch DLR-Forscher zeigt, in Rot dargestellt, erhöhte Temperaturen am Vulkan Idunn Mons, die auf eine vielleicht noch vulkanisch aktive Venus hindeuten



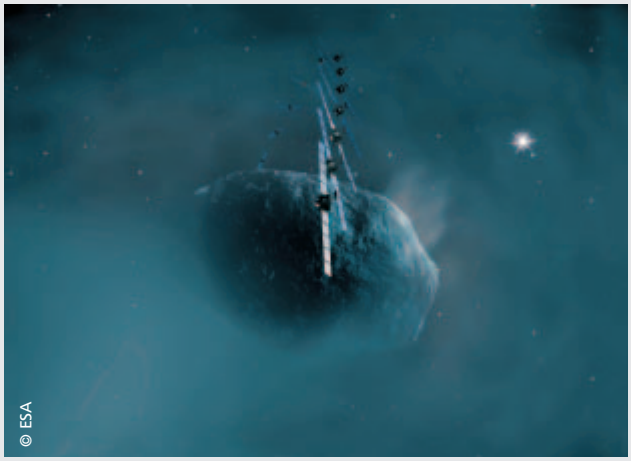
DLR-Forscher entdeckten 2009 nahe dem Nordpol des Titan die Spiegelung eines Sees im Sonnenlicht, der bei minus 180 Grad Celsius mit flüssigem Ethan und Methan gefüllt ist

Aus diesen Eisspalten am Südpol des Saturnmonds Enceladus wird mit Hochdruck Wasser ins All gesprüht – wegen der sofort gefrierenden Partikel sprechen die Forscher von Kryovulkanismus

Cassini-Huygens in neuem Licht

Auf die Saturnmission Cassini-Huygens werden die Planetenforscher in einigen Dekaden sicher Lobeshymnen singen. Seit Juli 2004 in einer Umlaufbahn um den zweitgrößten Planeten des Sonnensystems, liefert die NASA-Sonde zuverlässig Bilddaten und Messergebnisse aus der eisigen Welt des Saturn und seiner Monde. 2005 landete die ESA-Sonde Huygens, die als Passagier auf Cassini die lange Reise mitmachte, auf Titan, dem größten und wegen seiner dichten Atmosphäre rätselhaften Mond des Saturn. Im Jahr 2010 befindet sich Cassini bereits am Ende der ersten Verlängerung, der Äquinox-Mission: Im August 2009 konnte die Sonde einzigartige Beobachtungen machen, als das Sonnenlicht bei Tag- und Nachtgleiche (Äquinox) genau von der Seite auf die vergleichsweise hauchdünnen Saturnringe traf.

Die im September 2010 beginnende und bis Mai 2017 währende zweite Verlängerung trägt den Namen „Cassini Sonnwend-Mission“: In den kommenden siebeneinhalb Jahren bis zur nördlichen Sommersonnwende wird die Sonne immer steiler auf die nördliche Halbkugel des Saturn und der Monde scheinen, was dann die detaillierte Beobachtung dieser Breitengrade ermöglichen wird. Davon profitieren auch die Kartografen am DLR-Institut für Planetenforschung, die für das Cassini-Projekt die Atlanten der sieben größten Eismonde berechnen. Und vom Titan, auf dem DLR-Forscher 2009 nahe dem Nordpol einen großen, mit Kohlenwasserstoffen gefüllten See entdeckten, werden nun auch die hohen nördlichen Breiten beobachtet werden.



Die europäische Kometensonde Rosetta wird im Jahr 2014 ihr Ziel erreichen und das im DLR gebaute Landemodul Philae im Folgejahr 2015 auf dem Schweifstern Churyumov-Gerasimenko absetzen

Rosetta – erst zu Lutetia und dann in den Winterschlaf

Es ist das ehrgeizigste, am längsten währende und spannendste Projekt der europäischen Raumfahrt zur Erforschung des Sonnensystems: Am 2. März 2004 startete die Kometensonde Rosetta der ESA vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou mit dem Ziel, 2014 einen Kometen zu erreichen und sogar auf ihm zu landen. Zunächst umrundete die Sonde viermal die Sonne und flog dabei dreimal sehr nahe an der Erde und einmal am Mars vorbei. Durch diese „Swing-by“-Manöver erhielt sie Schwung, um sich auf einer langgestreckten, ellipsenförmigen Bahn dem Orbit des Kometen 67/P Churyumov-Gerasimenko auf seinem Weg um die Sonne tangential zu nähern. Schon recht nahe an der Bahn des Jupiter, wird Rosetta dann das am weitesten von der Sonne entfernte von Menschen gemachte Objekt sein, das seine elektrische Energie mit Solarzellen erzeugt. Gegen Ende des Jahrs 2009 hatte Rosetta die Hälfte des mehrere Milliarden Kilometer langen Wegs zum Kometenziel absolviert. Zuvor flog die Sonde in nur 803 Kilometer Entfernung am kleinen, ungefähr fünf Kilometer großen Asteroiden Šteins vorbei. Am 10. Juli 2010 wird Rosetta noch den hundert Kilometer großen Kleinplaneten Lutetia passieren, dabei wiederum Bilder aufnehmen und Messungen vornehmen.

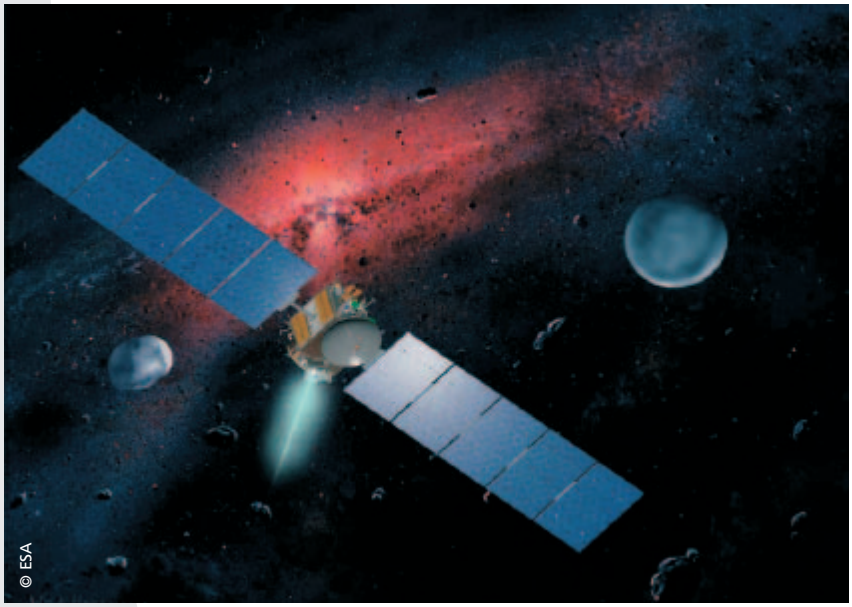
Danach wird die Sonde von der ESA-Bodenkontrolle in Darmstadt in einen „Winterschlaf“ versetzt, aus dem sie erst 2014 wiedererweckt werden wird. Dann beginnt die Annäherung an den Kometen. Rosetta wird nun in eine Umlaufbahn um Churyumov-Gerasimenko manövriert werden. Im November 2014 schließlich soll das Landemodul Philae, das in einem Konsortium unter DLR-Führung gebaut wurde, auf dem Kometen abgesetzt werden – ein einzigartiges Manöver. Das Kontrollzentrum für Philae befindet sich am DLR in Köln. Drei Experimente auf dem Landemodul werden von DLR-Wissenschaftlern geleitet: Eine Kamera, eine Thermalsonde zur Untersuchung des Kometenschweifs und ein seismisches Experiment zur Bestimmung des inneren Kometenkerns. An zahlreichen Experimenten sowohl auf dem Kometenorbiter als auch auf dem Landemodul sind DLR-Wissenschaftler beteiligt.

Dawn – Reise in die Frühzeit

Um die NASA-Sonde Dawn, die am 27. September 2008 in Cape Canaveral zu den beiden großen Asteroiden Vesta und Ceres startete, ist es ein wenig still geworden. Dawn ist eine Raumsonde aus dem NASA Discovery-Programm, das der Wissenschaft die Möglichkeit gibt, mit relativ preisgünstigen Missionen Fragen nachzugehen, die unser Sonnensystem aufwirft. Spannend wird es für Dawn im Jahr 2011. Nach 2,8 Milliarden Kilometern wird die Sonde den Asteroidengürtel zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter erreichen und in eine Umlaufbahn um den Asteroiden Vesta gelenkt. Nach neun Monaten im Vesta-Orbit wird Dawn im April 2012 weiter zu Ceres fliegen, dem mit etwa tausend Kilometer Durchmesser größten Kleinplaneten. Dort schwenkt sie im April 2015 in eine Umlaufbahn ein.

Es ist das erste Mal, dass ein und dieselbe Sonde zwei verschiedene Körper des Sonnensystems aus einer Umlaufbahn beobachten wird. Und es ist das erste Mal, dass während einer NASA-Mission in die Tiefen des Sonnensystems keine amerikanische Kamera für die Fotos verwendet wird: Stattdessen werden zwei deutsche Aufnahmesysteme hochaufgelöste Bilder der beiden Kleinplaneten zur Erde senden.

Die baugleichen Kameras entstanden in Zusammenarbeit zwischen dem Berliner DLR-Institut für Planetenforschung und dem federführenden Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (MPS) in Katlenburg-Lindau sowie dem Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze der Technischen Universität Braunschweig. Die Raumfahrt-Agentur im DLR finanzierte den Bau der Kameras. Von der Erforschung der Asteroiden Ceres und Vesta, zweier noch sehr ursprünglicher Körper, erhoffen sich die Wissenschaftler Erkenntnisse über die Frühzeit des fast 4,6 Milliarden Jahre alten Sonnensystems – daher auch der Name der Mission: „Dawn“ ist das englische Wort für die Morgendämmerung.



Mit dem Ziel, Vesta und Ceres, zwei der drei größten Kleinplaneten zu erforschen, ist die NASA-Sonde Dawn mit zwei deutschen Kameras auf dem Weg in den Asteroidengürtel

Das DLR-Institut für Planetenforschung betreibt seit 25 Jahren die Planetare Bildbibliothek, eine Außenstelle der NASA, mit umfangreichem Bilddaten- und Missionsarchiv:

www.DLR.de/rpif

Eine extrem umfangreiche, bestens gegliederte und vorzüglich (auf Englisch) erläuterte Sammlung von Bildern aus dem Sonnensystem findet sich im Planetary Photojournal der NASA:

photojournal.jpl.nasa.gov

Hintergründe, Berichte und Bilder zu den Missionen Mars Express, Venus Express und Rosetta der ESA können auf deren Webseite abgefragt werden:

www.esa.int

Das DLR begleitet die Mission Mars Express und speziell das Kamera-Experiment HRSC auf einer Sonderseite:

www.DLR.de/mars

Unter der Rubrik Solar System können stärker wissenschaftlich und technisch orientierte Interessenten auf den speziellen Science & Technology-Seiten der ESA Hintergrundinformationen finden:

sci.esa.int

Das Kamera-Experiment auf der Cassini-Mission wird am Space Science Institute in Boulder, Colorado, geleitet und stellt meist unmittelbar nach Empfang der Aufnahmen erste Bilder als Rohdaten online:

ciclops.org

Sehr aktiv in seinem Bemühen, die Öffentlichkeit, Studenten, Lehrer, Schüler und Jugendliche über die Ziele und Aktivitäten der Asteroidensonde Dawn (mit englischen Inhalten) zu informieren, ist das Wissenschaftsteam dieser Mission:

dawn.jpl.nasa.gov

Autor:
Ulrich Köhler ist Planetengeologe und am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin u. a. für die Öffentlichkeitsarbeit verantwortlich.

© dpa - report

Blitzartig reagieren

Schwergewitter mit Hagel, Starkregen, Orkanböen, Tornados und Blitzschlag bedrohen Leben und Sicherheit der Menschen und verursachen jedes Jahr hohe Sachschäden. Für Deutschland schätzt die Münchener Rückversicherung die Gesamtschäden durch Gewitter auf ein bis zwei Milliarden Euro pro Jahr und für Europa auf jährlich fünf bis acht Milliarden Euro. Wettereinflüsse tragen direkt und indirekt zu Unfällen und Verspätungen im Luftverkehr bei. Die Abschätzung des Schwergewitter-Risikos in einem sich wandelnden Klima ist daher notwendig. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt koordiniert dazu ein Forschungsprojekt: RegioExAKT. Es wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und hat das Ziel, für Deutschland die Trends für das Auftreten und das Gefahrenpotenzial schwerer Gewitter zu bestimmen. Ein Projektteil sieht vor, Anpassungsmaßnahmen exemplarisch für die Projektbeteiligten Flughafen München und Münchener Rückversicherung zu entwickeln.

Gewitter – eine Herausforderung für die Luftfahrt
Die Projekte RegioExAKT und Wetter & Fliegen greifen sie auf

Von Dr. Nikolai Dotzek, Dr. Hartmut Höller und Dr. Thomas Gerz

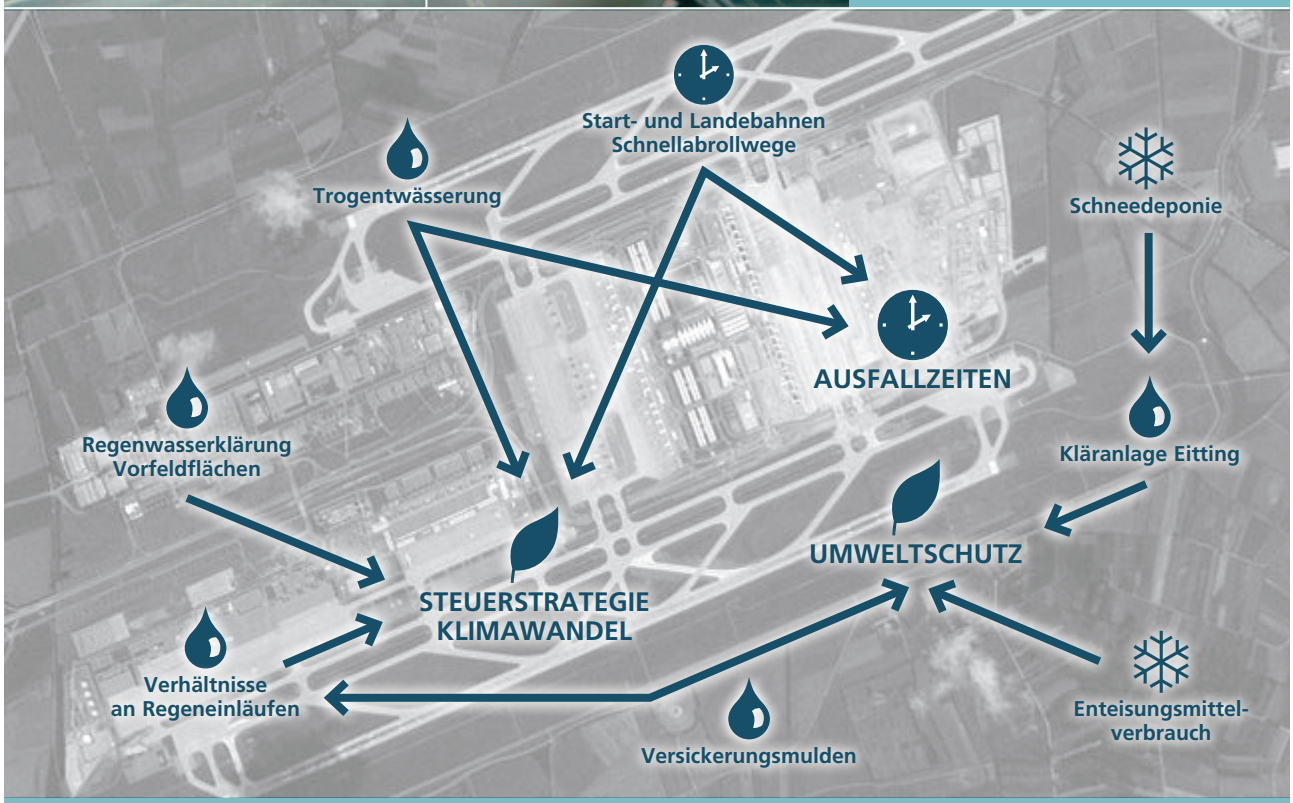
Gewitter über Dresden – für Flughäfen wie den der Elbemetropole sind Abschätzungen des Risikos eines Schwergewitters von hohem Interesse. DLR-Forscher untersuchen, wie sich das Gefahrenpotenzial vorhersagen lässt.

Wettersensitive Wirtschaftszweige wie Luftverkehr, Versicherungen, Bau- und Wasserwirtschaft benötigen regionale Risikoanalysen und Anpassungsstrategien. Auch der Deutsche Wetterdienst (DWD) arbeitet daran, seine Vorhersage- und Frühwarnverfahren für Schwergewitter zu optimieren. Für die Wirtschaft ist es zudem wichtig, Bauvorschriften in Bezug auf Klimatrends hinsichtlich Windlasten und Niederschlagsextremen anzupassen.

Klimawandel und Schwergewitter

Gewitter benötigen atmosphärische Voraussetzungen wie Instabilität, Feuchte und Hebung. Bei Unwettern kommt noch die Windscherung hinzu. Hierfür existieren großräumige Maßzahlen, deren langjährige Trends man aus meteorologischen Analysen und Modellrechnungen sowohl in der Vergangenheit verfolgen als auch für die Zukunft abschätzen kann. Die Verknüpfung mit tatsächlich aufgetretenen Unwettern kann beispielsweise über die Europäische Unwetter-Datenbank ESWD hergestellt werden, die vom European Severe Storms Laboratory (ESSL) betrieben wird, einer Ausgründung des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre.

Beispiele für eine Beeinträchtigung des Flugverkehrs durch Gewitter: Sturzflut am Flughafen München und Hagelschaden an der Radarverkleidung einer Boeing 737



Von RegioExAKT identifizierte und seitens der RWTH Aachen sowie der IKT gGmbH mit dem Flughafen München umgesetzte Anpassungsmaßnahmen im Bereich Entwässerung

Bezüglich der Schwergewitter in Deutschland zeigt sich bei Betrachtung der Daten seit 1950 weder ein bedeutender noch flächendeckender Trend zu einer meteorologisch bedrohlichen Entwicklung. Die sehr wohl vorhandenen Aufwärtstrends der Schäden durch solche Ereignisse sind gegenwärtig und auch noch in den nächsten Jahren in hohem Maß durch eine Zunahme der Wertedichte, Exposition und Verwundbarkeit bedingt. Regionale Klimamodellrechnungen für das 21. Jahrhundert ergeben, dass Gewitter sogar seltener werden könnten, wobei aber die dann tatsächlich entstehenden Gewitter ein erhöhtes Unwetterpotenzial in sich bergen. Neben einer Modellbildung für extremes Windklima und Windlasten hat RegioExAKT die Kopplung extremer Wetterereignisse mit bestimmten Wetterlagen untersucht. Der Fokus lag dabei auf Starkniederschlägen mit Bezug auf die Abflussmodellierung am Flughafen München unter den Gegebenheiten zukünftiger Klimaentwicklungen.

Bemessungsgrundlagen für Entwässerung und Windlasten

Ein wesentlicher Nutzen von RegioExAKT ist die Minimierung der Ausfallzeiten auf dem Gelände des Flughafens München mit seiner versiegelten Fläche von über 500 Hektar. Dies wird durch eine Anpassung seines Entwässerungssystems an die sich verändernden Wetterbedingungen erreicht.

Durch die detaillierte Nachbildung des Entwässerungssystems (Projektpartner: RWTH Aachen und IKT gGmbH Gelsenkirchen), vor allem durch die hydrodynamische Modellierung der Oberflächenabflüsse auf den Start- und Landebahnen, werden Veränderungen des Entwässerungssystems und der Anlagen zur Fassung der Oberflächenabflüsse realitätsnäher abgebildet als bisher. Dies schließt insbesondere die Möglichkeit ein, durch Querrillen (grooves) auf den Rollwegen und Startbahnen den Abfluss zu beschleunigen. Mit dem Entwässerungsmodell der RWTH Aachen können die einzelnen Anpassungsstrategien nachgebildet werden. In Abhängigkeit der Wetteränderungen kann man damit Maßnahmen zur Entwässerung (Ausfallzeiten) und zum Umweltschutz schon vorab bewerten.

Ein zweites beachtliches Ergebnis von RegioExAKT ist die Installation eines Ultraschall-Anemometer-Netzwerks am Flughafen München. Die vier Messmasten sind in Form eines gleichschenkligen Dreiecks mit einer Seitenlänge von 100 Metern angeordnet. In jeder der drei Ecken befindet sich ein zehn Meter hoher Messmast. Im Schwerpunkt des Dreiecks steht ein Mast mit einer Höhe von 20 Metern. An den Messmasten sind insgesamt sechs Ultraschall-Anemometer zur Windmessung angebracht, wobei je eines an der Spitze der 10-Meter-Masten befestigt ist und die verbleibenden drei dieser Sensoren in fünf, zehn und 20 Meter Höhe am 20-Meter-Mast angebracht wurden.

Die seit August 2008 mit einer Rate von 32 Hertz kontinuierlich erhobenen Messwerte sind in ihrer räumlichen Struktur weltweit einmalig. Sie ermöglichen die Beschreibung der Wind-

felder in Gewitter- und Böenfronten und unterstützen die Modellbildung für extremes Windklima und Windlasten. Das DLR-Projekt Wetter & Fliegen erhofft sich von den Turbulenzdaten Aussagen zur Struktur von Wirbelschleppen. Auch der Deutsche Wetterdienst profitiert bereits von diesem Netzwerk: Im Projekt iport-WX werden die Masten mit zusätzlichen Sensoren bestückt, um Temperatur und Feuchte im Hinblick auf Nebelbildung zu messen.

Kurz- und Kürzestfristvorhersage

RegioExAKT trägt dazu bei, dass Schwergewitter am Flughafen München frühzeitig vorhergesagt werden können, und zwar sowohl im Rahmen der Kurzfristvorhersage (2-6 Stunden, Projektpartner FU Berlin) als auch der Kürzestfristvorhersage (Nowcasting, 0-2 Stunden). Das Blitzmessnetz LINET (Projektpartner nowcast GmbH) erlaubt es, Boden- und Wolkenblitze zu unterscheiden und die Höhe der Wolkenblitze zu bestimmen. Mit dem DLR-Radar POLDIRAD (www.pa.op.DLR.de/poldirad/) lassen sich beispielsweise Hagel und Regen unterscheiden. Kombinierte Blitz- und Radarmessungen ermöglichen es, Gewitterzellen genauer zu verfolgen und vorherzusagen.

Ein Beispiel hierfür ist die Gewitterfront des Orkantiefs Emma am 1. März 2008, die zwischen 10.20 und 10.50 Uhr über den Flughafen zog. Ihre großräumige Struktur erlaubte eine Verfolgung und Prognose über relativ lange Zeiträume. Zusätzlich wurden ausgewählte Parameter im Lebenszyklus von Radar- und Blitzzellen separat erfasst und auf Vorhersage-Indikatoren überprüft. Die Mindestsperrzeit des Flughafens München konnte so bereits zwei Stunden vor Eintreffen der Gewitterfront vorhergesagt werden.

Das Projekt Wetter & Fliegen

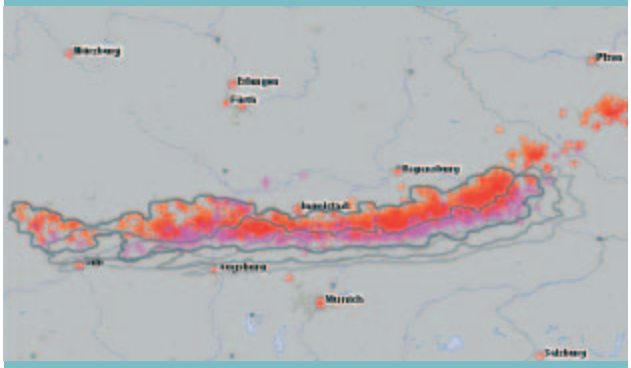
Je mehr der Luftverkehr zunimmt, umso stärker wird er anfällig gegenüber widrigen Wetterverhältnissen. Doch Wetter ist kein technisches Problem, das sich kontrollieren lässt. Also müssen alle Anstrengungen darauf gerichtet sein, die wechselnden Zustände der Atmosphäre so genau und zeitnah wie möglich zu erfassen, und das sowohl am Flughafen als auch im Flugzeug, im Augenblick sowie für den in puncto Luftverkehrsablauf relevanten Folgezeitraum. Das DLR-Projekt Wetter & Fliegen nimmt diese Herausforderungen an. Ziel ist es, die Sicherheit und Effizienz des Luftverkehrs zu erhöhen. Hierzu entstehen

- integrierte Flughafenwettersysteme (IFWS) für die Flughäfen Frankfurt und München mit den Komponenten Wirbelschleppe, Gewitter und Winterwetter zur maßgeschneiderten Wetterinformation in der Flughafenumgebung sowie

- bord- und bodengestützte Steuerungs-, Überwachungs- und Informationssysteme zur Verbesserung des Flugverhaltens bei Windböen, Wirbelschleppen und Gewittern mit den Aspekten automatische Flugsteuerungssysteme, Flugzeugsensoren zur Erkennung von Wirbelschleppen und Böen sowie Piloten-Informationssysteme.

Die Projekte RegioExAKT und Wetter & Fliegen tragen dazu bei, den Luftverkehr und den Betrieb von Flughäfen an die sich wandelnde Bedrohung durch schwere Gewitter zielgerichtet anzupassen. Dazu sind Planungs- und Steuerungsmaßnahmen im Flugverkehrsmanagement (ATM), bei der Flugverkehrskontrolle (ATC) und im Flugzeug erforderlich, um den Einfluss der „Störung Wetter“ zu minimieren. Hier wird unter anderem die erarbeitete Kürzestfristvorhersagemöglichkeit, das sogenannte Nowcasting, sicherstellen, dass die Kapazität des Flughafens optimiert werden kann – auch bei zukünftig mehr Flugbewegungen. Von den Arbeiten profitieren neben dem Flughafen München vor allem die Fluggesellschaften, aber auch die Deutsche Flugsicherung und der Deutsche Wetterdienst.

Der 20-Meter-Hauptmast des Ultraschall-Anemometer-Netzwerks in der Nordwest-Ecke des Flughafens München



Aus Blitzen (LINET, farbige Symbole) am 1. März 2008 um 10.17 Uhr vorhergesagte Verlagerung der Gewitterfront des Sturmtiefs „Emma“: Blitzkonturen (graue Linien) gelten für die Beobachtung und für 15 bzw. 30 Minuten Prognosezeit im Bereich des Flughafens München

Autoren:
Die Autoren kommen aus dem Institut für Physik der Atmosphäre des DLR in Oberpfaffenhofen.
Dr. Nikolai Dotzek leitet die Arbeitsgruppe Extremwetter der Abteilung Dynamik der Atmosphäre und koordiniert das Projekt RegioExAKT.
Dr. Hartmut Höllers Forschungsschwerpunkte sind Wolkenphysik, Radarmeteorologie und Blitzmessung speziell zu Hagelgewittern und Starkregen.
Dr. Thomas Gerz leitet die Abteilung Wolkenphysik und Verkehrsmeteorologie und ist verantwortlich für das Projekt Wetter & Fliegen.

Weitere Informationen:
www.regioexakt.de
www.pa.op.DLR.de/wirbelschleppe
www.essl.org/ESWD

Himmlische Jagd auf Eiskristalle

Es ist hinlänglich bekannt: Menschen verursachen ein Mehr an Kohlendioxid in der Atmosphäre. Das beeinflusst das Klima der Erde. Doch wie sieht es mit den Kondensstreifen von Flugzeugen aus? Spielen diese auch eine Rolle, und wenn ja, welche? Was passiert in den klaren Streifen, den zarten spiralförmigen Wölkchen oder den breiten nebulösen Bahnen, die kaum von gewöhnlichen Schleierwolken zu unterscheiden sind? Wissenschaftler des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) haben sich mit internationalen Partnern auf die Suche nach diesen sichtbaren Flugzeug-Spuren gemacht – und zwar genau dort, wo sie entstehen. Juniorprofessorin Dr. Christiane Voigt vom Institut für Physik der Atmosphäre erklärt im Interview, wie so etwas geht und welche überraschenden Rückschlüsse die Forscherinnen und Forscher bereits ziehen konnten.

Juniorprofessorin Dr. Christiane Voigt ist unterwegs in den Kondensstreifen der Flugzeuge und erforscht deren Klimawirkungen

Ein Gespräch von Manuela Braun

Kreisförmige Eiswolken, wie auf diesem Bild zu sehen, hatten die Wissenschaftler bei ihren Forschungsflügen in die Kondensstreifen nicht erwartet, diese konnten sie erstmals dokumentieren. Wie solche Gebilde in der kalten Luft entstehen, ist Gegenstand weiterer Arbeiten der DLR-Atmosphärenforscherinnen und -forscher.

Für Ihre Forschung begeben Sie sich auf Verfolgungsjagd. Wie genau sieht das aus?

Wir sind mit dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon der Klimawirkung von Kondensstreifen auf der Spur. Dazu verfolgen wir andere Flugzeuge. Das Ganze geschieht in acht bis elf Kilometer Höhe bei einer Geschwindigkeit von ungefähr 700 Kilometern in der Stunde – oder anders gesagt: bei 200 Metern pro Sekunde. Wir halten dabei einen Abstand von 18 Kilometern zum vorausfliegenden Flugzeug ein. Die Passagiere darin sollen ja nicht gefährdet werden.

Was genau messen Sie während eines solchen Flugs?

Auf der Nasenspitze der Falcon haben wir einen meteorologischen Messmast, mit dem Windrichtung und Windgeschwindigkeit gemessen werden. Zudem haben wir in Behältern an den Flügeln sogenannte Partikelsonden – das sind Messinstrumente für Eiskristalle und Aerosolpartikel in den Kondensstreifen. Und im Flugzeug selbst gibt es weitere Instrumente, die die Zusammensetzung der Luft – zum Beispiel von Stickoxiden, Ozon und Schwefeldioxid – messen. Die verschiedenen Instrumente werden von internationalen Teams und Kollegen am DLR betreut. Die Messungen in den Kondensstreifen haben wir im November 2008 mit der Falcon bei der CONCERT-Messkampagne durchgeführt.

Welches war das bisher schwierigste Flugmanöver bei der Messkampagne?

Das war auf jeden Fall die Messung hinter zwei parallel fliegenden Flugzeugen. Die Bildung von Kondensstreifen ist nämlich abhängig von meteorologischen Bedingungen wie Temperatur, Feuchte und Druck. Um diese äußeren Einflüsse bei

unterschiedlichen Flugzeugtypen möglichst ähnlich zu halten, sollte ein kleines Charter-Flugzeug direkt neben ein großes Linienflugzeug geleitet werden, damit wir mit unserer Falcon abwechselnd Messungen in den beiden Kondensstreifen durchführen konnten. Die Vorbereitungen für diese Flüge waren sehr aufwändig: Das Begleit-Manöver musste ganz genau mit den Piloten besprochen werden, die Messinstrumente mussten zuverlässig funktionieren – und natürlich musste auch die Vorhersage der Kondensstreifen stimmen, denn diese entstehen meistens bei Temperaturen unter minus 40 Grad Celsius in kalter und feuchter Luft.

Ohne die Unterstützung der Lufthansa und der Lotsen der Deutschen Flugsicherung wären diese Flüge nicht möglich gewesen. Und die Piloten sowie die Kollegen der DLR-Flugabteilung haben Unglaubliches geleistet, so wurden die Messungen ein voller Erfolg. Aufregend war auch die Verfolgung des A380, des weltweit größten Passagierflugzeugs. Das Flugzeug war auf dem Weg von London nach Singapur und wir konnten ihm eine Viertelstunde quer über Deutschland folgen. Hinter dem A380 bildete sich ein massiver Kondensstreifen und der Flug war ziemlich turbulent.

Warum messen Sie hinter so unterschiedlichen Flugzeugtypen?

Bei der Messkampagne haben wir 22 Kondensstreifen von elf unterschiedlichen Flugzeugtypen beprobt, von der leichten Fokker bis zum 500 Tonnen schweren A380. Uns interessiert, ob der Flugzeugtyp, also seine Größe, sein Gewicht oder der Treibstoffverbrauch einen Einfluss auf die Eigenschaften von Kondensstreifen hat.

Welche Auswirkungen haben die Kondensstreifen auf das Klima?

Kondensstreifen legen sich wie eine Decke um die Erde. Dadurch verringern sie die Wärmeabstrahlung von der Erde ins Weltall und bewirken so eine Erwärmung. Sie verstärken sozusagen den natürlichen Treibhauseffekt. Andererseits reflektieren die Eiskristalle in den Kondensstreifen die Strahlung der Sonne zurück in den Weltraum. Das würde wiederum für kühlere Temperaturen sorgen. In der Summe ergibt sich allerdings eine Erwärmung der Erdatmosphäre.

Der Luftverkehr hat eine Wachstumsrate von 5,3 Prozent pro Jahr – umgerechnet bedeutet dies die Verdopplung der Passagierzahlen in weniger als 20 Jahren. Damit werden die Maßnahmen, die die Klimaauswirkungen von Kondensstreifen verringern, zu einer großen Herausforderung. Wir müssen ihren Einfluss auf die Energiebilanz der Erde genau erforschen und berechnen können.

Was konnten Sie während Ihres Flugs beobachten?

Kondensstreifen sind anfangs linienförmige Eiswolken. Die Eiskristalle sind dabei nicht gleichmäßig im Kondensstreifen verteilt. Interessanterweise haben wir zum ersten Mal Kondensstreifen-Kreise oder -Röhren beobachtet, also Eiskristalle, die in einer runden Struktur angeordnet sind. Wir wissen noch nicht, wie diese kreisförmigen Eiswolken entstehen – eventuell durch die Zentrifugalkraft, die auf die rotierenden Partikel wirkt. Es könnte aber auch sein, dass durch die Einmischung von kalter Luft am Rand der Kondensstreifen mehr oder größere Eiskristalle gebildet werden.

Lässt sich sagen, wie viel Himmel zurzeit durch Kondensstreifen abgedeckt ist?

Satellitenmessungen zeigen, dass im Jahresmittel über Zentraleuropa etwa 0,5 Prozent des Himmels von jungen, linienförmigen Kondensstreifen bedeckt sind. Leben diese jungen Kondensstreifen bei Eisübersättigung in der kalten, feuchten Luft über mehrere Stunden, können sie sich wie Zirruswolken ausbreiten. Vom Satelliten aus kann man das nicht mehr beobachten, weil diese Kondensstreifen-Zirren wie natürliche Wolken aussehen. Diese langlebigen Kondensstreifen decken den Himmel jedoch viel stärker ab – möglicherweise bis zu zehnmal mehr als linienförmige Kondensstreifen. Damit haben die langlebigen Kondensstreifen natürlich einen großen Einfluss auf das Klima.

Sie haben mittlerweile zahlreiche Flüge absolviert. Zu welchen Ergebnissen sind Sie gekommen?

Es war bislang unklar, ob der Flugzeugtyp einen Einfluss auf die Eigenschaften von Kondensstreifen hat, wie zum Beispiel seine Dimensionen oder die Partikelgröße und -anzahl. Diese Parameter braucht man zur Berechnung des Strahlungsantriebs. Unsere Messungen zeigen, dass die Dimensionen von jungen Kondensstreifen – also ihre Höhe und Breite – vom Flugzeugtyp abhängen. Die Größe der Eiskristalle in Kondensstreifen ist dagegen unabhängig vom Flugzeugtyp. Sowohl für die Bildung als auch für die Lebensdauer von Kondensstreifen spielt jedoch der meteorologische Zustand der Atmosphäre eine wichtige Rolle.

Zudem gab es bislang nur wenige Messungen in Kondensstreifen. Mit unseren Daten liefern wir eine Grundlage, um die Klimaauswirkungen von Kondensstreifen genauer als bisher

Eiskristalle im Kondensstreifen eines A380-800, gemessen mit einer Partikelsonde der Universität Clermont-Ferrand. Die winzigen Eiskristalle mit Durchmessern von mehr als 0,1 Millimeter stammen von umliegenden Zirren und wurden in den Kondensstreifen eingemischt. Die Form der Eiskristalle beeinflusst die Strahlungswirkung von Kondensstreifen.

Fotos von Kondensstreifen und Kondensstreifen-Röhren, aufgenommen aus dem Cockpit von den Piloten der Falcon während der CONCERT-Messkampagne im November 2008

berechnen zu können. Wir leisten quasi Pionierarbeit für die weitere Forschung auf diesem Gebiet.

Können Sie auch bereits sagen, in welchem Maße die langlebigen Kondensstreifen zur Klimaerwärmung beitragen?

Neueste Abschätzungen unter Mitarbeit von Kollegen am DLR zeigen, dass die Klimaerwärmung durch persistente Kondensstreifen sogar über dem Kohlendioxid-Effekt des Luftverkehrs liegen kann. In der Wissenschaft geht man derzeit davon aus, dass der Luftverkehr ungefähr fünf Prozent zum vom Menschen verursachten Strahlungsantrieb beiträgt. Bei dieser Schätzung sind die Unsicherheiten aber so groß, dass der Anteil des Luftverkehrs an der Klimaerwärmung auch zwischen zwei und 14 Prozent liegen könnte. Für einen nachhaltigen Luftverkehr in der Zukunft müssen wir also weiter forschen.

Zur Person:

Prof. Dr. Christiane Voigt, geboren 1971, drei Kinder, studierte Physik in Heidelberg und Oxford. Nach ihrer Dissertation am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg ging sie an das Dänische Meteorologische Institut nach Kopenhagen, an die Eidgenössische Technische Hochschule nach Zürich und anschließend an das DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen. Seit 2007 leitet sie die Nachwuchsgruppe AEROTROP (Impact of Aircraft Emissions on the heteROgeneous chemistry of the TROPopause region) und erforscht mit ihrem Team die Veränderung der Atmosphäre und des Klimas durch den Luftverkehr. Gemeinsam mit Prof. Dr. Ulrich Schumann, Direktor des Instituts für Physik der Atmosphäre am DLR leitete sie im November 2008 die internationale Flugzeug-Messkampagne CONCERT (CONtrial and Cirrus ExpeRimenT) im Rahmen des DLR-Projekts CATS (Climate compatible Air Transport System).

Kondensstreifen:
Kondensstreifen entstehen, wenn sich der heiße und feuchte Abgasstrahl eines Flugzeugs mit kalter Umgebungsluft mischt. Dabei steigt die relative Feuchte im Abgas an. Wird die Wassersättigung erreicht, kondensiert Wasserdampf auf Ruß und schwefelsäurehaltigen Partikeln aus den Triebwerken und es bilden sich winzige Wassertröpfchen. Bei weiterer Abkühlung durch Vermischung mit der kalten Umgebungsluft gefrieren die Tropfen zu kleinen Eiskristallen. Ist die umliegende Atmosphäre eisübersättigt, so wachsen die Eiskristalle durch Aufnahme von Wasserdampf aus der Umgebung und bilden langlebige, persistente Kondensstreifen, die ebenso wie die Rußpartikel die natürliche Bewölkung verändern.

Aerosol:
Aerosole sind winzige Schwebeteilchen in einem Gas. Am Abgasstrahl eines Flugzeugs befinden sich zum Beispiel nanometergroße Rußpartikel oder Schwefelsäureaerosole.

Strahlungsantrieb:
Die Änderung der Strahlungsbilanz des Systems Erde-Atmosphäre durch eine Störung wird als Strahlungsantrieb bezeichnet.

Autorin:
Manuela Braun ist in der DLR-Kommunikation Online-Redakteurin.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/pa

Leichte Hülle

Etwa eine Million Luftfrachtcontainer sind weltweit unterwegs. Auch der Logistikkonzern Deutsche Post DHL nutzt diese Unit Load Devices, kurz ULDs, für seine Logistikdienstleistungen. Um Kosten zu sparen und die Umwelt zu schonen, denkt die Aviation Group der Deutschen Post DHL über eine Weiterentwicklung der Luftfrachtcontainer in Leichtbauweise nach. Weniger Gewicht – weniger Treibstoff. So hofft man, den sogenannten ökologischen Fußabdruck (CO_2-Footprint) zu vermindern. Im Rahmen der bestehenden strategischen Innovationspartnerschaft zwischen dem DLR-Technologiemarketing und DHL Solutions & Innovations wurde das DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik beauftragt, eine Machbarkeitsstudie zum Thema „Design Innovationen für Luftfrachtcontainer (ULD)" durchzuführen.

Luftfrachtcontainer in neuer Bauweise – DLR-Studie für die Deutsche Post DHL

Von Dr. Ute Gerhards

Derzeit gibt es in der Luftfracht eine Vielfalt an Containertypen. Sie haben meistens den gleichen Aufbau: Bodenplatte, Rahmen, Seitenwände, Dach und eine verschließbare Öffnung zum Be- und Entladen. Die Materialien sind je nach Bauteil aus Aluminium oder Kunststoffen. Die Behälterformen sind dem jeweiligen Flugzeugrumpf und ihrer genauen Position im Flugzeug angepasst. Die wichtigste von der Deutschen Post DHL definierte Anforderung an einen weiterentwickelten Luftfrachtcontainer ist eine deutliche Gewichtseinsparung durch Verwendung neuer Materialien. Robustheit, Feuerbeständigkeit und Reparaturfreundlichkeit, Eignung zur Radiofrequenz-Identifikation (RFID) und Faltbarkeit sind weitere Kriterien.

„Wir steigen an dem Punkt ein, wo der Übergang zwischen Grundlagenforschung und Anwendung stattfindet, idealerweise bereits bei der Planung der Forschungsthemen."

Hassan Aftabruyan, Projektmanager von DHL Solutions & Innovations

Die Forscher des DLR-Instituts für Faserverbundleichtbau und Adaptronik befassten sich zunächst mit den Problemstellungen und Arbeitsabläufen beim Handling von ULDs. Dazu gehörte auch ein Vor-Ort-Studium auf dem DHL-Luftdrehkreuz in Leipzig, Europas modernstem Umschlagplatz für Luftfracht. Dort analysierten sie die täglichen Anforderungen an Luftfrachtcontainer inklusive des Transports am Boden und der Reparatur von Beschädigungen. Basierend darauf entwickelten sie verschiedene innovative Konzepte zum Design von Luftfrachtcontainern der Zukunft. Die Gewichtsreduktion soll vor allem durch Faserverbundwerkstoffe und Sandwichstrukturen erreicht werden. Bei weiteren Arbeiten wird man sich zunächst auf die Entwicklung einer wesentlich leichteren Bodenplatte konzentrieren, die auch als Palette eingesetzt werden kann.

Über die Machbarkeitsstudie hinaus hat das DLR-Technologiemarketing eine qualitative Betrachtung des Markts für neue Luftfrachtcontainer in Leichtbauweise durchgeführt. Für den Bau eines Prototypen werden industrielle Partner aus den Bereichen Material und Containerbau ausgewählt. Hier konnte das DLR-Technologiemarketing bereits passende Unternehmen identifizieren und erste Erfolg versprechende Gespräche führen.

Strategische Innovationspartnerschaften – „Spin-on" für erfolgreiche Produkte

Damit Unternehmen wie beispielsweise die Deutsche Post DHL von den DLR-Forschungsaktivitäten profitieren können, übernimmt das DLR-Technologiemarketing traditionell eine Brückenfunktion zwischen Wissenschaft und Innovation. Seit 2007 werden vom DLR-Technologiemarketing systematisch strategische Innovationspartnerschaften als neue und intensivere Form der Kooperation mit der Wirtschaft aufgebaut: Dadurch wird eine Innovationsplattform geschaffen, die von den Entwicklungszielen beider Partner getragen wird. Eine Vereinbarung regelt die Modalitäten und Ziele der Zusammenarbeit bereits im Vorfeld einer Innovation. Im Vordergrund dieser strategischen Partnerschaften steht, ein gemeinsames „Spin-on" zu leben. Die Partner arbeiten bereits im Vorfeld einer Technologieentwicklung eng zusammen, um identifizierte Chancen gemeinsam systematisch zu Anwendungen zu führen und möglichst früh Forschungs- und Innovationsprozess aufeinander abzustimmen. Dazu werden nicht nur die Technologien des DLR genutzt, sondern auch DLR-Evaluierungsverfahren eingesetzt. Neue Produkte können auf diese Weise früher, effizienter und mit weniger Risiko entwickelt werden.

Autorin:
Dr. rer. nat. Ute Gerhards ist beim DLR-Technologiemarketing im Bereich Markterschließung tätig und betreut dort die strategischen Innovationspartnerschaften.

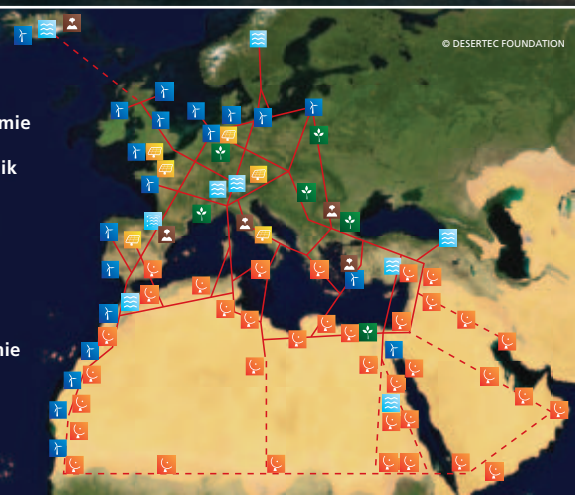
Weitere Informationen:
www.DLR.de/tm

© Deutsche Post AG

© Deutsche Post AG

Nordafrika und der Nahe Osten sind reich an Solarenergie. Mit einem Leitungsnetz könnte der sauber gewonnene Strom aus Nordafrika nach Europa transportiert werden. Zudem ließen sich mit der Energie aus Solarthermie-Kraftwerken Entsalzungsanlagen betreiben, um Trinkwasser für die Wüstenstaaten zu erzeugen.

- Solarthermie
- Fotovoltaik
- Wind
- Wasser
- Biomasse
- Geothermie



Desertec Industries

Am 3. Oktober 2010 nahm Desertec Industries, eine Initiative von Industrieunternehmen und der Desertec Foundation ihre Arbeit auf. Die Initiative von 17 Gesellschaftern aus acht Ländern sowie 16 Unternehmen als weiteren Partnern will eine sichere, nachhaltige und klimafreundliche Energieversorgung aus den Wüsten Nordafrikas und des Nahen Ostens ermöglichen. Sie entwickelt derzeit die Rahmenbedingungen, um die Region rund um das Mittelmeer und Europa mit Energie aus Sonne und Wind zu beliefern. Das Ziel ist, Strom für die Region selbst bereitzustellen und bis 2050 15 Prozent des europäischen Strombedarfs zu erzeugen.

„Wir haben die Technologie, die Konzepte und die Kontakte“

Interview mit Prof. Dr. Dr.-Ing. Hans Müller-Steinhagen

Sie sind zum Vorsitzenden des ersten Beirats von Desertec Industries gewählt worden. Was hat sich seit der Gründung getan?

Sehr viel. Die Geschäftsstelle der Initiative in München ist eingerichtet, zwei Geschäftsführer, Paul von Son und Rainer Aringhoff, sind eingestellt, Mitarbeiter sind rekrutiert. Außerdem ist eine Unmenge an Gesprächen mit Vertretern aus der Politik, Verbänden und der Wirtschaft in den entsprechenden Ländern geführt worden. Die Anzahl der an Desertec Industries beteiligten Konzerne hat sich inzwischen auf 17 Mitglieder und 16 assoziierte Mitglieder erhöht. Außerdem konnte Prof. Klaus Töpfer als strategischer Berater gewonnen werden.

Wann wird das erste Kraftwerk gebaut werden?

Das ist nicht Aufgabe der Initiative. Sie ist der Wegbereiter und soll die politischen, regulatorischen und ökonomischen Rahmenbedingungen schaffen. Trotzdem: In Marokko, Ägypten und in Algerien werden bereits solarthermische Kraftwerke gebaut, außerdem ist eine ganze Reihe Standorte identifiziert, über die schon Gespräche zwischen Firmen und Regierungen laufen.

Desertec ist ja eines der größten Industrie- bzw. Infrastrukturprojekte überhaupt. Warum nehmen die Konzerne dieses Großprojekt in Angriff?

Was die Firmen motiviert, sind zwei Dinge: Die Länder in Nordafrika und im Mittleren Osten werden ihren Strombedarf bis 2050 etwa verfünffachen. Das heißt, es müssen Kraftwerke gebaut werden, ganz egal mit welcher Technologie. Hinzu kommt, dass die Vorräte an Erdöl, Erdgas und Kohle geringer und damit teurer werden, und dass außerdem ihre Emissionen einen negativen Einfluss auf das Klima haben. Auf der anderen Seite sehen viele Firmen ganz klar einen Markt. Durch das spanische Energieeinspeisungsgesetz sind bereits viele Projekte angestoßen worden, auch in den USA gehen Projekte in die Realisierungsphase. Damit beginnt diese Technologie, in der Energiewirtschaft weltweit eine Rolle zu spielen. In zehn bis 15 Jahren werden solarthermische Kraftwerke mit konventionellen Kraftwerken wettbewerbsfähig sein. Für Firmen wie Siemens, Eon, RWE, MAN und Solar Millennium gilt: Wer heute dabei ist, hat eine gute Chance, in zehn Jahren dabei zu sein, wenn mit diesen Technologien viel Geld verdient werden kann.

Den Direktor eines Forschungsinstituts erwartet man nicht unbedingt als Vorsitzenden des Beirats. Was ist der Beitrag des DLR zu Desertec?

Das DLR beschäftigt sich seit etwa 30 Jahren mit solarthermischen Kraftwerken. Wir sind eine der weltweit führenden Forschungsorganisationen. Zum anderen ist unsere detaillierte Energie-Systemanalyse im Auftrag des Bundesumweltministeriums die Informationsbasis für die Gründung von Desertec Industries. Wir haben die Technologie, die Konzepte und die Kontakte in die Länder und zu den Firmen.

Welchen Beitrag können die Wissenschaftler beim DLR in Zukunft leisten?

Unsere Aufgaben werden enorm zunehmen. Bereits jetzt halten wir Kurse für die neuen Mitarbeiter der Desertec Industries. Wir werden unsere Studien aktualisieren und Standortanalysen für neue Kraftwerke durchführen. Hier kommt dem DLR der Zugang zu Satellitendaten zugute. Außerdem treiben wir die Entwicklung der Technologie weiter voran, mit dem Ziel, effizientere und kostengünstigere solarthermische Kraftwerke zu entwickeln. Gemeinsam mit den relevanten Firmen verbessern wir sowohl einzelne Komponenten als auch das Gesamtsystem sowie Anwendungen wie Meerwasserentsalzung und Wasserstoffherstellung.

Professor Dr. Dr.-Ing. Hans Müller-Steinhagen leitet das Institut für Technische Thermodynamik des DLR am Standort Stuttgart

Autorin:
Dorothee Bürkle ist die Energie-Redakteurin in der DLR-Kommunikation.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/tt
www.desertec.org

Messegelände

Eine Stadt wird zum Labor

Wie verhindert man Stau, der aus dem Nichts entsteht? Kann mein Navigationsgerät den öffentlichen Nahverkehr einbeziehen? Führt es mich auch bis zum nächsten freien Parkplatz in der Innenstadt? Kann man den Fahrplan so anpassen, dass die Straßenbahn auf meinen Zug wartet? Welche Stau-Umleitung ist für mich die günstigste? Wann fahre ich am besten los? Kann mein Auto der Ampel nicht sagen, dass ich gleich da bin? Gibt es bald einen Autopiloten für mein Fahrzeug? – Unsere Mobilität wirft tagtäglich Fragen auf. So vielfältig die Ziele und Wege, so vielfältig sind auch die Problemstellungen zur Mobilität. Um sie zu beantworten, macht das DLR nun eine ganze Stadt zum Mobilitätslabor.

Die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität

Von Sascha Bauer und Jan Schulz

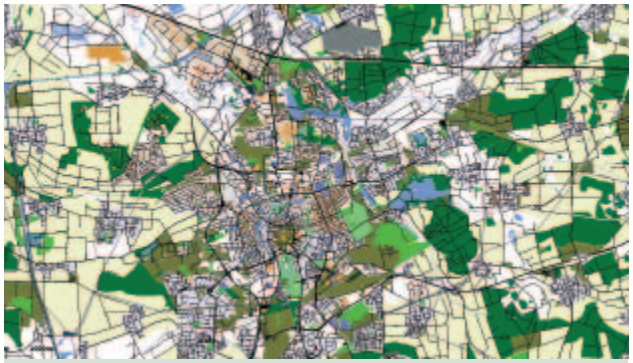
Mobilität ist ein fundamentaler Bestandteil unseres Lebens und eine wichtige Schnittstelle in unserem Alltag für das Vereinbaren von Wohnen, Arbeiten, Bilden, Erholen. Doch Mobilität hat auch negative Seiten: Verkehrsüberlastung, Unfälle, Umweltverschmutzung. Ein Anliegen der Verkehrspolitik und der Verkehrsforschung ist es, die Mobilität von diesen negativen Effekten zu entkoppeln, mit dem Fokus auf Sicherheit, Effizienz, Nachhaltigkeit und Komfort.

Verkehrsforschung wird gebündelt

Die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) unterstützt die Verkehrsforschung über ihre gesamte Bandbreite mit all den enthaltenen Wechselwirkungen. AIM ist einzigartig, denn bisherige Labore und Testfelder sind an einzelne Themen angelehnt und in der Regel zeitlich beschränkt. AIM verknüpft Forschung, Technologien und Anwendungen langfristig in einer realen Umgebung – als offene Plattform für das DLR und seine Partner aus Wissenschaft und Wirtschaft. Die Bündelung in einer einzigen Plattform reduziert Investitionskosten für Forschungsprojekte und eröffnet ein wesentlich weiteres Spektrum für Fragen und Anwendungen. Die einmal aufgebaute Basis-Infrastruktur wird in den unterschiedlichsten Projekten weitergenutzt und nur bei Bedarf spezifisch ergänzt. Durch den für mehr als zehn Jahre geplanten Betrieb ermöglicht AIM auch Langzeituntersuchungen. Infrastruktur und Ergebnisse sind lange Zeit nutzbar.

Die Kombination aus neuartigen Verkehrsmitteln, Technologien und Methoden macht das einzigartige Forschungsspektrum von AIM aus. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der sogenannten „Komodalität“: Das heißt, dass Verkehrsträger nicht nur einzeln, sondern auch in Kombinationen eingesetzt werden, um den Transport von Reisenden oder Gütern effizient zu organisieren. Erreicht werden kann dies nur durch ein intelligentes Zusammenspiel von Verkehrserfassung und verkehrsmittelübergreifendem Verkehrsmanagement im Straßen- und Schienenverkehr sowie mit verstärktem Einsatz kooperativer Systeme. Beispielsweise kommunizieren Fahrzeuge mit Hilfe solcher Systeme untereinander und tauschen Informationen mit der Infrastruktur aus. So können Ampeln über Rot-Zeiten informieren und Fahrzeuge können sich untereinander vor Gefahren warnen.

Wenn Wege sich kreuzen und verschiedene Verkehrsmittel sich begegnen, wie hier vor dem Braunschweiger Schloss, ist das für die Verkehrsforschung eine beispielhafte Situation, um zu untersuchen, wie sich Mobilität intelligent managen lässt



Angereichert mit Zusatzinformationen bietet das weiterentwickelte Verkehrsnetz die Grundlage für die Simulation des Verkehrsgeschehens und ermöglicht vielfältige Untersuchungen ohne Eingriffe in den realen Verkehrsablauf

Wie organisiert man den Verkehr so, dass Wartezeiten möglichst kurz ausfallen? Antworten sollen mit der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität in Braunschweig gefunden werden.

Verkehr ist ein komplexes System: Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Verkehrsträgern, verschiedenen Nutzergruppen vom Schüler bis zum Pendler sowie verschiedene Nutzungsarten – der Fußgänger nutzt das Verkehrssystem anders als der Autofahrer – stellen jegliches Verkehrsmanagement vor eine gewaltige Herausforderung. Dementsprechend vielschichtig sind Feldversuche in der Verkehrsforschung. Doch Mobilitätsphänomene lassen sich nur schwer in künstlicher Umgebung erzeugen. Aus diesem Grund geht das DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik mit AIM einen neuen Weg: Es macht eine ganze Region mit seinen Verkehrsbeziehungen und seinem Verkehrswegenetz zu einem Forschungslabor.

Knapp eine Million Einwohner der Region Braunschweig leisten mit ihrem Mobilitätsverhalten einen natürlichen Beitrag zu AIM. Ihre unterschiedlichen Wege zu Schule, Arbeit oder Einkauf unter Nutzung von Auto, Bus, Straßenbahn, Eisenbahn oder Fahrrad erzeugen ein komplexes Verkehrsgeschehen. Zusammen mit der vielseitigen Verkehrsinfrastruktur mit Autobahn- und Schienennetzanbindung bringt Braunschweig beste Voraussetzungen für die Beantwortung unterschiedlicher Fragen der Verkehrsforschung mit. Darüber hinaus ist die Region zum Beispiel mit dem Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF), der Technischen Universität Braunschweig und dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik – mit den fachübergreifenden Kompetenzen aus den Bereichen Automotive, Bahnsysteme und Verkehrsmanagement – und zahlreichen technologieorientierten kleinen und mittelständischen Unternehmen ein anerkanntes Forschungsumfeld für Mobilität.

AIM ist eine flexible Plattform, die – zu Beginn mit Basisfunktionalitäten und Basisdiensten ausgestattet – in konkreten Forschungsprojekten bedarfsgerecht auf- und ausgebaut wird. Sie beinhaltet Grundfunktionalitäten wie Datenerfassung, -management, -verarbeitung und -visualisierung. Darauf können die verschiedenen Forschungsarbeiten aufsetzen. Eine wichtige Komponente ist ein virtuelles Modell des Verkehrswegenetzes, mit dem das Verkehrsgeschehen simuliert werden kann. So lassen sich sowohl Verkehrsprognosen erstellen, als auch neue Verkehrsmanagement-Ansätze überprüfen, ohne den realen Verkehrsablauf zu stören. Ein weiterer Bestandteil von AIM ist ein Verkehrsdatenmanagementsystem, das heterogene Daten und Informationen zum Beispiel von Verkehrssensoren, Verkehrsfunk-Nachrichten, Fahrplänen und Verspätungsmeldungen von öffentlichen Verkehrsbetrieben oder der Deutschen Bahn zusammenführt. Mit diesem Managementsystem werden die unterschiedlichen Daten so aufbereitet, dass sie den Nutzern von AIM über standardisierte Schnittstellen zur Verfügung gestellt werden können. Ein Visualisierungswerkzeug sorgt für die Präsentation allgemeiner und verkehrsrelevanter Daten wie beispielsweise Statusinformationen von Online-Datenquellen, Verfügbarkeit und Quantität der Verkehrs- und Metadaten.

In einem der ersten Projekte legt das DLR den Grundstein für eine AIM-Forschungsflotte. Dabei übertragen Taxis in regelmäßigen Abständen ihre per satellitengestützter Ortung bestimmte Position an die Zentrale. Mit Daten von vielen Taxis, die sozusagen als Verkehrssensoren unterwegs sind, kann sowohl die Reisezeit als auch die Verkehrslage in einem Verkehrsnetz bestimmt werden. In weiteren Projekten soll die Forschungsflotte um Fahrzeuge des öffentlichen Personennahverkehrs, von Apothekendiensten, Krankentransporten, Dienstwagenflotten, Müllwagen und Ähnlichen erweitert werden. Ein weiteres Vorhaben ist die Ausrüstung mehrerer Kreuzungen mit Sensoren, die dann zu Forschungsstrecken verknüpft werden.

Nach zwei Jahren Vorbereitung und Planung fiel Anfang 2010 der offizielle Startschuss für die Region Braunschweig. Damit beginnt der Ausbau Braunschweigs zu einer Plattform für anwendungsorientierte Wissenschaft, Forschung und Entwicklung für den Verkehr der Zukunft.

Autoren:
Dipl.-Inf. Sascha Bauer und Dipl.-Ing. Jan Schulz sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Gruppe Verkehrsdatenerfassung der Abteilung Verkehrsmanagement des DLR-Instituts Verkehrssystemtechnik in Berlin. Sascha Bauer hat sich während seiner Zeit im DLR auf die Kalibrierung und Evaluation von Sensoren spezialisiert. Die Kompetenzen des Verkehrsingenieurs Jan Schulz liegen im interdisziplinären Forschungsfeld Verkehr speziell in den Bereichen der Verkehrssensorik, Navigation und Zielführung.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/ts/aim

Erfahren fahren: Ältere Fahrer kompensieren Ablenkung besser

Von Dr. Martin Baumann

Ablenkung und Unaufmerksamkeit des Fahrers zählen zu den häufigsten Unfallursachen. Verkehrsexperten schätzen, dass diese beiden Faktoren bei 25 bis 50 Prozent aller Unfälle eine Rolle spielen. Dabei ist unter Ablenkung nicht nur das Wegblicken von der Straße – also die visuelle Ablenkung, zum Beispiel beim Ablesen eines Straßenschilds – zu verstehen. Vielmehr kann der Fahrer auch kognitiv von der Fahraufgabe abgelenkt sein, wenn er sich mental mit Inhalten beschäftigt, die für die Fahraufgabe irrelevant sind, zum Beispiel indem er telefoniert. Ausgehend von diesen Befunden wurden vom DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik in verschiedenen Experimenten – meist Studien im Fahrsimulator – die Auswirkungen kognitiver Ablenkung auf das Fahrverhalten untersucht.

Bisherige Forschungen belegen, dass sich die Reaktionszeiten verlängern: Bremsmanöver des Vorausfahrenden beispielsweise werden weniger gut vorhergesehen. Beobachtungen und Interviews ergaben, dass sich Fahrer dieser negativen Konsequenzen von Ablenkung allerdings oft auch bewusst sind. Sie wenden Kompensationsstrategien an, um zum Beispiel der zusätzlichen Beanspruchung durch Telefonieren während des Fahrens zu begegnen. So verringern einige Fahrer ihre Geschwindigkeit und vermeiden komplexere Fahrmanöver wie Überholen oder sie unterbrechen das Gespräch, wenn die Anforderungen der Fahraufgabe steigen.

Mögliche Unterschiede in diesen Kompensationsstrategien bei älteren und jüngeren Fahrern zu entdecken, war das Ziel einer von der Abteilung Automotive des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig durchgeführten Fahrstudie. Die Untersuchung war Teil des EU-Forschungsprojekts ISi-PADAS (Integrated Human Modelling and Simulation to support Human Error Risk Analysis of Partially Autonomous Driver Assistance Systems). Darin wurden Fahrermodelle auf der Basis empirischer Untersuchungen des Fahrerverhaltens mit und ohne Fahrerassistenzsystem konstruiert und bewertet. Die zehn Teilnehmer der Studie absolvierten mit dem institutseigenen Versuchsfahrzeug ViewCar jeweils eine etwa dreistündige Fahrt auf einer autobahnähnlich ausgebauten Bundesstraße. Das ViewCar erlaubt eine hochgenaue Aufzeichnung des Fahrerverhaltens und wesentlicher Aspekte der Fahrsituation. Während der Fahrt wurden die Fahrer mehrmals mit einer Nebenaufgabe konfrontiert. Es zeigte sich, dass ältere und jüngere Fahrer unterschiedlich reagieren. Ältere Fahrer kompensieren das durch die Ablenkung entstandene erhöhte Unfallrisiko, indem sie ihr Fahrverhalten anpassen. Als eine der Ursachen wird angenommen, dass ältere Fahrer durch ihre Erfahrung für die mit Ablenkung verbundenen Risiken sensibilisiert sind. Außerdem verfügen sie über die Alltagserfahrung, dass die Informationsverarbeitung es mit steigendem Alter nur noch bedingt zulässt, mehrere Aufgaben gleichzeitig zu bearbeiten. Dieser Erfahrung tragen ältere Personen offenbar mit mehr Vorsicht Rechnung.

Autor:
Dr. Martin Baumann ist Leiter der Gruppe „Fahrer verstehen“ im DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik in Braunschweig.

Offenbar sensibilisiert für die Gefahr von Ablenkung: Ältere Autofahrer zeigten sich in einer DLR-Studie vorsichtiger als junge

Schweben im Orkan

Der erste Windkanal Deutschlands für Indoor-Skydiving

Von Peter Zarth

Bottrop, nahe dem Alpincenter. Wir sind in einem 35 Meter hohen Gebäude aus Aluminium und Glas. Innen sieht es aus wie in einer Lounge mit Sitzsäcken, voller Sportler. In einem orangefarbenen Windlicht leuchtet das Flämmchen eines Teelichts still vor sich hin. Zwei Schritte weiter tost ein Orkan. Hinter Panzerglas. In dem Sturm schwebt Lorin. Und lächelt. 161 km/h steht auf einer Anzeige. Deutlich höher als zwölf Beaufort. Wie sich das anhört? „Wie bei einem Föhn. Oder so, als pfiffe ein leichter Wind." Wie es riecht? „Nach Turnhalle, aber nicht nach Schweiß." Und das Gefühl? „Als ob ich liegen würde, aber auf einem Luftkissen." Der das sagt, ist fünfzehn. Durchtrainiert und ein Leichtgewicht. Plötzlich blaue Stroboskop-Blitze. Ein Countdown aus Licht, der ihn zur Landung zwingt. Die findet in einem Türrahmen statt. Das Andocken sieht aus wie bei Kormoranen, die ihre Flügel trocknen. Aber welcher Kormoran trägt schon einen schwarzen Helm mit Nummer 7?

Head down im Jupiterwind

Den Orkan steuert Barbara. Ihr „Control Room" liegt außerhalb des Sturms, ebenfalls hinter vier Zentimeter dickem Glas. Im Frankfurter Zoo nimmt man diese Stärke für Gorillakäfige. Barbara indes herrscht über 2.100 PS, vier Axialmotoren, ebenso viele Frequenzumwandler und mehr als 1.000 Kubikmeter Luft. Pro Sekunde. Man braucht viel Ruhe, um so viel Wind zu kontrollieren. Bei Vollauslastung 280 Kilometer pro Stunde. Solche Windgeschwindigkeiten sind selten. Gut, auf dem Jupiter ist das normal. Aber in Bottrop?

Der eingangs von uns befragte junge Mann ist ein guter Sportler. Geflogen ist er noch nie. Jedenfalls nicht ohne Flugzeug. „Hier kann er viel coolere Bewegungen ausführen, als es ein Flugzeug kann", sagt Boris Nebe. Der ist Geschäftsführer des ersten deutschen Windkanals für „Indoor-Skydiving" und hat den Kanal aerodynamisch mit Hilfe des Instituts für Luft- und Raumfahrt der TU Berlin auslegen und entwickeln lassen.

Fliegen im Turm – in Bottrop ist's möglich

Der Luftstrom im Windtunnel ist so gleichmäßig wie beim Freifall eines echten Fallschirmsprungs. Profis wie Laien heben hier einfach ab.

Mit einer 17 Meter hohen und im Durchmesser 4,3 Meter messenden Flugkammer ist der Bottroper Windtunnel der größte Europas

„Standardwindkanaltechnik. Keine Luftlöcher. Kaum Querverwirbelungen. Eine fast hundertprozentige Simulation des freien Falls", sagt er knapp. Dabei ist das in dieser Form weltweit einmalig. Nebe ist ein Mann des Understatements. Kaum etwas in der Anlage protzt. Doch Standard ist hier nichts, nicht einmal die Toilette. Dort steht das Piktogramm für „Herren" Kopf. „Head down", wie eine Technik des Freifalls genannt wird. Der Spiegelrahmen daneben ist barock und golden. Auf einem Plakat lesen wir vom „vielleicht heiligen Moment", wenn „Menschen fliegen können".

Viererstern, Jojo und Tomatenbrot

Das wirkt gelassen. Gelassen und professionell geht es vor dem Auge des Sturms, außerhalb der Flugkammer, zu. Fallschirmspringerinnen aus Eisenach üben einen Viererstern an der Luftschleuse. Ein Junge spielt Jojo. Um kurz darauf mit 182 Kilometern pro Stunde fast 17 Meter hoch abzuheben. Ein Knirps liegt auf schwarz-rot-grauen Sitzkissen. Sein Gameboy gewinnt gerade gegen Zugucken. Manche essen Tomatenbrot. Ein Mädchen trinkt Capuccino. An der Bar keckert Malte. Sein Lachen ist schräg und fröhlich. Malte ist behindert. Das Fliegen macht ihn glücklich. „Wir freuen uns immer, wenn Malte kommt", sagt Peter Volk. Volk war kurz beim VfB Stuttgart. Davor bei der Sporthochschule Köln. Jetzt ist der Diplom-Sportwissenschaftler Marketing- und Salesmanager der Skydiver. 90 Prozent der Besucher an Wochenenden seien „Bauchflieger". Sie kämen wegen des „Entertainments" nach Bottrop. Nebenbei erfährt man, dass hier Profi-Fallschirmspringer üben und auch die Bundeswehr hier trainiert.

Die Ruhe und die DEKRA

Ein Flug im Windkanal beginnt profan. Bezahlen, Check-in, Umkleiden. Ausgabe von Schutzbrille und Gehörschutz, Briefing. Der „Instructor" heißt an diesem Tag Sebastian. Sein Sweatshirt ist rot und schwarz. Wie die dominierende Farbkombination: rote Kombis für die Anfänger; schwarze für die Profis. Auf Sebastians Sweatshirt steht: „Under Armour Performance". Der Slogan des Indoor-Skydivings heißt: „adrenalin pur", klein geschrieben. Es stimmt das eine wie das andere nicht. Einzige Waffe ist der Helm. Angst hat hier niemand. Sagt jeder. Jedenfalls dann nicht mehr, wenn er mal durch die Glasscheiben in das Auge des Sturms geblickt und dabei eine Tasse Kaffee in der Hand gehalten hat. In der Lobby hängen sie auf Sitzkissen ab. Vom Orkan hört man nur ein Säuseln. Der Blick auf die Flugkammer hat etwas von dem in ein Aquarium. Innen trägt jeder doppelten Gehörschutz, Stöpsel und Spezialhelm. Ruhe macht sicher. – Aber auch die DEKRA. Der Windkanal ist hoch, sehr hoch. Und tief. Das Fangnetz wird jeden Dienstag nachgezogen. In die Tiefe blickt sowieso kein Anfänger. Kaum haben sich nämlich die „Indoor-Skydiver" in den Orkan fallen lassen, müssen sie den Kopf in den Nacken legen. Das Becken wird nach vorne geschoben. Ein Lächeln huscht ihnen aufs Gesicht. Ausnahmslos jedem. So auch Christine. Die fand ihre Einweisung etwas kurz und schnell; dass „learning by flying" weit besser funktioniert als trockene Theorie und deshalb Programm ist, konnte sie da noch nicht wissen. Ihre langen Haare soll sie sicherheitshalber zusammenhalten, zu einem Dutt. Alles aus den Taschen leeren. Nun zerfasern einige ihrer blonden Spitzen, die unter dem Helm hervorkommen, im Sturm. Auf dem Rücken, im Windschatten, sieht das aus wie in Zeitlupe. Eine Sekunde später ist Christine zehn Meter höher. Ihre Wangen flattern.

Sechs Minuten Freifall in den Bottroper Alpen

Natürlich ist Sebastian beim Erstflug dabei. Auch bei dem jungen Mann, den wir schon kennen. Der bekommt erstmal einen sanften Klaps aufs Gesäß. Sein Hohlkreuz stimmt noch nicht. Seine Lage ist nicht stabil. Beim dritten Flug wird der „Instructor" ihm applaudieren. Er fliegt sich frei. Wenn er zwischendurch mal an das Panzerglas stößt oder sich aufs Netz legen muss, ist er in guter Hand. Die Instruktoren beherrschen ihren Sicherheitsjob. Wie gut sie sind, zeigen sie in ihren Freestyle-Übungen: Schon mal gesehen, wie ein Mensch in der Luft, mit den Füßen nach unten, kreist, mit geschätzten sechzig Sachen? Und apropos Sicherheit: Bei Stromausfall würden sich die Ventilatoren weiterdrehen. Damit ist auch im Notfall ein langsames Absinken sichergestellt. Ist aber noch nicht vorgekommen. Schon Vierjährige dürfen in Bottrop in einen Orkan. „Die paddeln sich frei", sagt Sebastian.

Zwei Stunden sind mittlerweile vergangen. Für sechs Minuten reine Flugzeit. Aus 4.000 Meter Höhe bräuchte man im Freifall eine Minute bis zum Ziehen des Handyploys. Die Halle leert sich. Draußen rauchen die Eisenacher Springerinnen. Ihr Blick fällt auf die Kärtner Alpen – an einer Betonwand der nahen Skihalle. Es ist ein milder Tag im Ruhrgebiet; und doch gibt es einen Orkan, ein paar Meter entfernt. Aber der ist gefangen. Man sagt, im Auge des Hurrikans sei es ruhig. In Bottrop gilt das selbst für den Sturm.

www.indoor-skydiving.com/ger/

© wikipedia

„Überraschung – ich liebe dieses Wort."

Der das sagt, ist Physiker im DLR-Institut für Planetenforschung. Dr. Allan Harris, kennenzulernen im DLR-Web-Porträt (www.DLR.de/Menschen/), ist mit diesem Faible nicht allein. Nicht jedermann wird seinen beruflichen Alltag wie er mit einem Abenteuer vergleichen. Doch Orte, an denen Unerwartetes, ja zuweilen Unglaubliches zu entdecken ist, gibt es mehr, als es uns im Alltag bewusst ist. Museen gehören fraglos dazu. Allein 27 Technik- und 16 Luftfahrtmuseen gibt es in Deutschland, hinzu kommen 22 Science Center … Das DLR-Magazin wird von nun an regelmäßig einen solchen Ort des Staunens vorstellen und damit eine Lanze brechen für diese einzigartigen Entdeckungsstätten. Denn auch das beste Web-Portal kann eines (noch) nicht: Größendimensionen, Geruch und Haptik erlebbar machen. Lassen Sie sich also einladen zum Museumsbesuch, heute in Teil I nach Friedrichshafen ins Zeppelinmuseum. DLR-Luftfahrtredakteur Hans-Leo Richter war dort – und obwohl Kenner der Szene, doch ganz schön überrascht.

Kinderstube der Luftfahrt

Meilensteine der Luftfahrtgeschichte sind bis heute eng verbunden mit der Region ihres Geschehens: Berlin-Lichterfelde steht für die frühen Gleitflüge Otto Lilienthals, Kitty Hawk für die ersten Motorflüge der Gebrüder Wright und Berlin-Johannisthal für den ersten Flugplatz in Deutschland. Friedrichshafen, diese einst so beschauliche Kleinstadt am Bodensee, nimmt hier einen besonders wichtigen Platz ein, steht der Name doch sowohl für die außerordentliche Ära der Zeppelin-Luftschiffe als auch mit dem Namen Dornier für den Beginn der Epoche der „Schwerer-als-Luft"-Fahrzeuge, den Übergang vom Luftschiff zum Flugzeug. Heute kann sich die Stadt Friedrichshafen glücklich schätzen, zu beiden Epochen der Luftfahrtgeschichte jeweils ein außergewöhnlich gut sortiertes Museum zu besitzen.

Bei Zeppelin in Friedrichshafen

Von Hans-Leo Richter

Beide Museen kann man sich innerhalb eines Tagesbesuchs zu Gemüte führen. Dann empfiehlt es sich, analog zur Historie mit dem Zeppelin-Museum zu beginnen. Der Weg führt vom Bahnhof direkt hinunter zum Bodensee, das Zeppelin-Museum ist im alten Hafenbahnhof untergebracht, ein Ensemble in klassischer Bauhaus-Architektur. Und unmittelbar am Bodensee begann ja auch das Luftschiff-Engagement des Grafen Zeppelin. 1899 wurde in der nahegelegenen Bucht von Manzell in einer schwimmenden Montagehalle mit dem Bau des Luftschiff-Prototyps LZ 1 begonnen. Am 2. Juli 1900 startete das Luftschiff erstmals, rund 12.000 Zuschauer sahen vom Ufer aus das Spektakel. Es folgten weitere Luftschiffe, doch mal zeigte sich die Technik den Anforderungen noch nicht gewachsen, mal spielte das Wetter mit ungünstigen Winden nicht mit. Im August 1908 kam es gar zur ersten Katastrophe: Das Luftschiff LZ 4 geriet nach einer Notlandung bei Echterdingen in Brand und wurde völlig zerstört. In einer beispiellosen Hilfsaktion erzielte eine landesweite Volksspende mehr als sechs Millionen Reichsmark, damit konnte der Graf seine Pläne zunächst fortführen.

Die Luftschiffe wurden „erwachsen", spielten dann im Ersten Weltkrieg eine bescheidene Rolle, bevor gegen Ende der Weimarer Republik die eigentliche Blütezeit der Riesenzigarren begann. Das Luftschiff LZ 127 „Graf Zeppelin" – der berühmte Namensgeber war bereits im März 1917 verstorben – unternahm zahlreiche interkontinentale Reisen. Sie führten unter anderem nach Amerika und im Sommer 1929 sogar einmal rund um den Erdball.

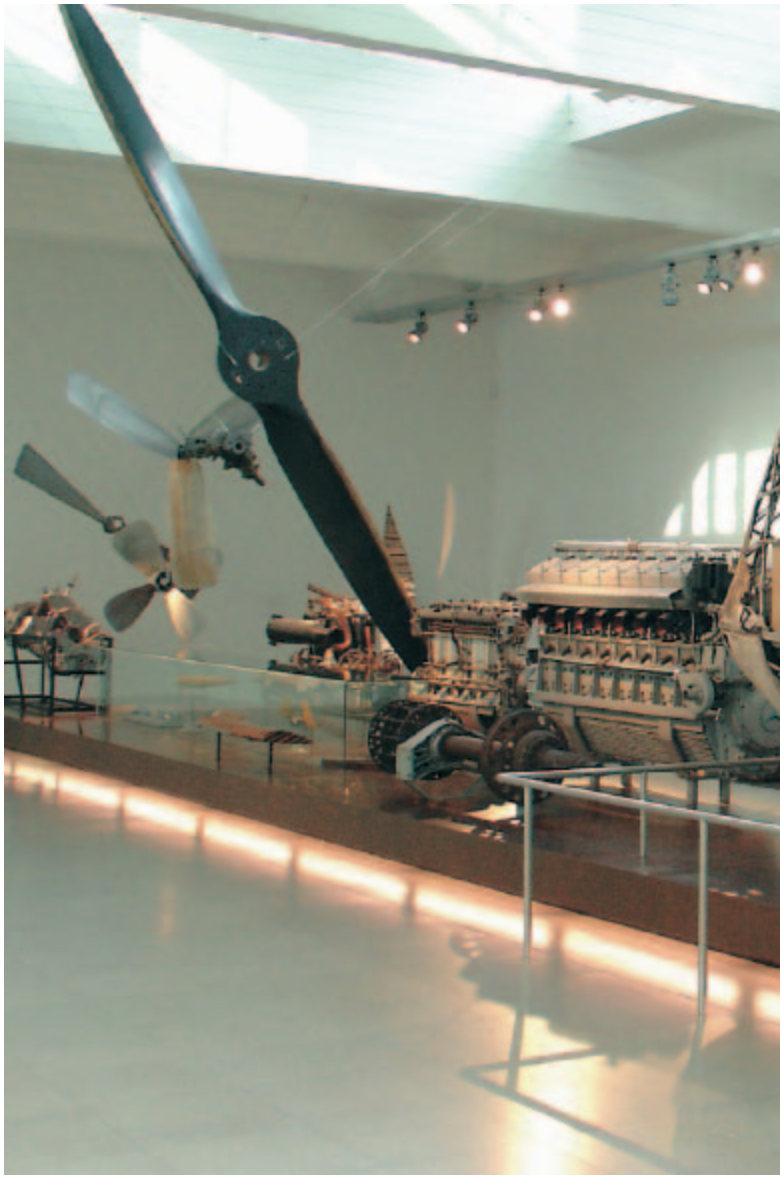
Faszination der Geschichte: Das deutsche Luftschiff Graf Zeppelin (LZ-127) im Hangar Lakehurst, New Jersey; Aufnahme vom 7. August 1929

Und just in diese große Zeit der Zeppeline fühlt sich der Besucher des Museums versetzt, wenn er vor der Rekonstruktion eines rund 33 Meter langen Teilstücks des Luftschiffs LZ 129 „Hindenburg" steht, des größten Luftschiffs, das jemals vom Boden abhob. Die Konstruktion füllt die riesige Halle fast gänzlich und im Größenvergleich erscheint der davor ausgestellte Maybach „Zeppelin", in den Dreißigern immerhin die absolute Luxus-Karosse und in seinen Abmessungen alles andere als kümmerlich, geradezu winzig. Über eine schmale Treppe, das Fallreep, gelangt man auf das Passagierdeck und durch eine sehr geschickte Spiegelanordnung erhält der Besucher dieses Halbmodells eine Vorstellung von den originalen Breiten-Ausmaßen des Decks. Geht es im Kabinenbereich relativ eng zu, so bekommt man im üppigen Speisesalon einen Eindruck von Bequemlichkeit und Luxus der damaligen Luftreisenden. Selbst ein Blüthner-Konzertflügel durfte nicht fehlen – selbstverständlich eine spezielle Leichtbauversion von nur 180 Kilogramm Gewicht. Die gigantischen „Zigarren" waren in der Tat weit mehr einem Schiff ähnlich als einem Luftfahrzeug heutiger Gestalt, der Begriff „Luftschiff" trägt dem Rechnung. Auch die geräumige Kommandobrücke hatte nichts mit einem Flugzeug-Cockpit zu tun. Der Zeppelin-Führer verfügte über ein großes, speichenbewehrtes Handruder, dazu gab es weitere Handräder für die Betätigung von Ventilen, Trimmvorrichtungen und dergleichen. Im hinteren Bereich des Kommandostands verfügten Navigatoren und Funker über Platz- und Sichtverhältnisse, wovon Cockpit-Crews heute nur noch träumen können.

Verlässt man den Zeppelin-Nachbau, bietet sich ein hochinteressantes Kaleidoskop dreier Jahrzehnte Luftschifffahrt: Modelle, Motoren, großflächige Displays und Tafeln informieren detailliert über Konstruktion, Bau und Einsatz der Luftschiffe. Überraschend ist der Blick von außen unter die Hülle des Zeppelin-Nachbaus. Die Gesamtkonstruktion wurde getragen von einem riesigen Gerüst filigraner Aluminium-Gitterstrukturen, darin fanden sich Gas- und Wasserzellen und scheinbar nicht enden wollende Kontrollgänge für Servicepersonal und Monteure. Der Durchmesser der Konstruktion betrug 46,8 Meter, durchaus Raum für ein mehrstöckiges Haus. Die Gesamtlänge des Luftschiffs „Hindenburg" betrug 245 Meter, der Gasinhalt 200.000 Kubikmeter. Vier Daimler-Benz-16-Zylindermotoren von je 1.320 PS sorgten für den Vortrieb – und eine Reisegeschwindigkeit von etwa 130 Kilometern pro Stunde. Vor allem die aus zahlreichen Ringen und Fachwerksträgern bestehende Gitterkonstruktion war von Auslegung und Design her hochmodern und ihrer Zeit weit voraus. Zur Anwendung kam das damals noch relativ neue Duraluminium, welches nahezu gleiche Festigkeitswerte wie Stahl aufweist, allerdings deutlich leichter ist. Interessanterweise kommen bei den heutigen Friedrichshafener Luftschiffen „Zeppelin Neuer Technologie" sehr ähnliche Gitterstrukturen zum Einsatz, diese sind allerdings aus kohlenstofffaserverstärktem Verbundwerkstoff gefertigt und nochmal erheblich leichter. An der Entwicklung dieser CFK-Gitterstrukturen war das DLR-Institut für Strukturmechanik in Braunschweig (heute Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik) maßgeblich beteiligt.

Neben den technischen Highlights präsentiert das Museum auch zahlreiche Kleinexponate aus dem Umfeld der Zeppelin-Welt: Instrumente, Uniformen, Geschirr, großformatige Motiv-Teller, Ansichtspostkarten, ein Kaleidoskop aus einer Epoche großer Luftreisen, bei welchen Stil und Noblesse eine sehr große Rolle spielten, die Reisegeschwindigkeit hingegen nur untergeordnete Bedeutung hatte. Darüber hinaus informiert das Museum über vielfältige Aspekte der zivilen wie auch der zeitweiligen militärischen Nutzung der Zeppeline – eine überaus spannende und hochinformative Zeitreise durch die ersten Jahrzehnte des letzten Jahrhunderts.

Betritt der Besucher dann allerdings das Obergeschoss des Museums, hält er für einen Moment erstaunt inne: Nahezu übergangslos gelangt er in die nicht minder faszinierende Welt



der Kunst. Bilder, Skulpturen und Grafiken erwarten ihn – eine Kunst-Welt aus Mittelalter, Neuzeit und Moderne tut sich auf. Die Exponate stammen zu großen Teilen aus dem seinerzeitigen Bodensee-Museum, welches 1944 bei einem Luftangriff weitestgehend zerstört wurde. Heute liegt – sozusagen unter dem Motto „Technik trifft Kunst" – der Schwerpunkt auf der Kunst des 20. Jahrhunderts. Vor allem zahlreiche Gemälde und Grafiken von Otto Dix sind über die Region hinaus von Bedeutung.

Die Hoch-Zeit der Zeppeline allerdings fand mit der Katastrophe von Lakehurst, dem Absturz und Verglühen des Luftschiffs „Hindenburg" am 6. Mai 1937, ein abruptes Ende. Zu dieser Zeit hatte sich das Prinzip „Schwerer als Luft" bereits etabliert. Zwar konnten es die Flugzeuge nicht annähernd mit Komfort und Luxus der Riesenzigarren aufnehmen, dafür boten sie den Vorteil höherer Fluggeschwindigkeit. Neben den großen Namen Junkers, Heinkel und Messerschmitt hatten sich auch die Produkte aus dem Hause Dornier bereits einen guten Ruf verschafft.

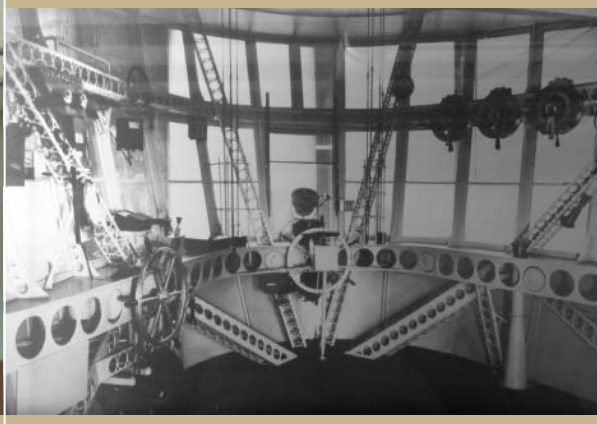
Doch das ist eine andere Geschichte, die wir im nächsten DLR-Magazin im September erzählen.

Weitere Informationen:
www.zeppelin-museum.de

Eine interessante Größenimpression vermittelt die einzig erhaltene Motorgondel des 1940 abgewrackten Luftschiffs LZ 127 „Graf Zeppelin“. Sie beherbergt einen Maybach V 12-Motor, 570 PS Leistung, 33,3 Liter Hubraum, 1,1 Tonnen Gewicht.

Blick auf das unmittelbar am Hafenbahnhof Friedrichshafen gelegene Zeppelin-Museum

Auch an den Nachwuchs wird im Zeppelin-Museum gedacht: Einen Zeppelin zu steuern, macht schon den jüngsten Technik-Freaks Spaß



Dieses historische Foto des Führerstands eines Zeppelin-Luftschiffs lässt die Analogie zur Kommandobrücke eines großen Ozean-Liners erkennen. Maschinentelegrafen und große, speichenbewehrte Handruder bestimmen das Bild.

Blick in die beeindruckende Eingangshalle des Zeppelin-Museums mit einer Teilrekonstruktion des Luftschiffs LZ 129 „Hindenburg“. Darunter die damalige Luxus-Karosse Maybach „Zeppelin“, deren 12-Zylinder-Motor auf dem Original-Zeppelin-Antriebsaggregat basiert. Links vorn erkennt man die Teilrekonstruktion eines Luftschiff-Konus mit Andockmechanismus für den Haltemast.

© Bilder: Zeppelin-Museum

Alles für den einen Moment

Manchmal ist die Stunde der Wahrheit nur ein Augenblick, eine kurze Zeitspanne, in der eine schicksalhafte Entscheidung zu fällen ist, ein Moment, der magisch wird, weil alles, was vorher war und was nachher sein wird, in neuem Licht erscheint. Solche Zeitpunkte spielen in den diesmal für Sie gelesenen Büchern eine wesentliche Rolle – sei es bei der Entscheidung für ein fast tollkühnes Landemanöver im vollsten Vertrauen in das eigene fliegerische Können, sei es der Appell an Sicherheitsverantwortliche, Momentaufnahmen objektiv zu betrachten, bevor die bildhafte Geschichte der 99 Luftballons wahr wird, oder sei es ein Augenblick der Selbsterkenntnis am Ende eines langen Wegs. Momente entscheiden. Doch wie die Entscheidung ausgeht, wird oftmals schon lange vorher bestimmt.

Des Käpt'ns Credo: Kompetenz statt Extravaganz

Ein Luftfahreralbtraum wird wahr: Nach einer Kollision mit einem Schwarm Kanadagänse fallen beide Triebwerke aus. Keine Landepiste erreichbar, das Aufsetzen auf einer Wasserfläche – die Alternative zum Total-Crash. Im Januar 2009 gelang diese fliegerische Meisterleistung dem amerikanischen Flugkapitän Chesley Sullenberger und seinem Co-Piloten Jeffrey Skiles. In seiner dokumentarischen Schilderung unter dem (deutschen) Titel **Man muss kein Held sein (C. Bertelsmann Verlag München)** schildert Sullenberger (zusammen mit Jeffrey Zaslow) diesen „worst case". In kürzester Zeit musste sich die Cockpit-Crew entscheiden. Rückkehr zum Startflughafen La Guardia? – Nicht mehr möglich. Der relativ nahegelegene Flughafen Teterboro? – Bei einer Sinkrate von bereits 300 Meter pro Minute nicht mehr zu erreichen. Der Hudson River: der Ausweg. Alle Passagiere und Besatzungsmitglieder konnten von Rettungsbooten und Fähren aufgenommen werden, bevor der Airbus A320 in dem eiskalten Fluten versank.

Der Buchtitel ist quasi ein Psychogramm des Autors. Sullenberger nimmt den Leser mit seiner unprätentiösen Bescheidenheit ein. Durch die ausführliche Schilderung seines fliegerischen Werdegangs lernt man einen Menschen kennen, der sachbezogen und ohne emotionale Extravaganzen sein Handwerk erlernt. Die genaue Schilderung des denkwürdigen Fünfminutenflugs ist dann auch das interessanteste Kapitel. Ein minutiöses Wort- und Aktionsprotokoll ergänzt die Schilderung. Wenn Sullenberger die zahlreichen Facetten seines Privatlebens beschreibt, ist man allerdings geneigt, weiterzublättern. Wiederum interessant berichtet der Autor schließlich über die Zeit „danach" mit zahllosen Ehrungen, Einladungen, Vorträgen sowie auch über seinen Einsatz dafür, aus diesem Beinahe-Katastrophenflug die richtigen Konsequenzen zu ziehen.

Hans-Leo Richter

In anderem Licht

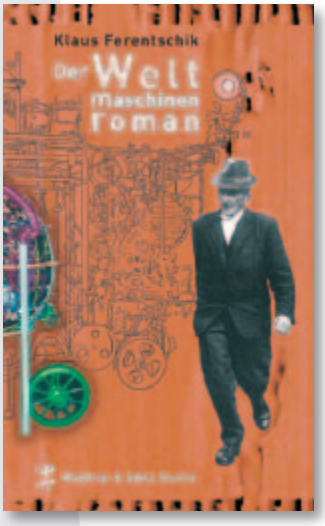
Egal wann, egal wo – werden aus Nachbarn Rivalen, wird versucht, dem Gegner „in die Karten zu schauen". Ziel ist die Erlangung taktischer oder strategischer Vorteile. So die Theorie. Die Praxis sah Späher vor. Mit Beginn der Luftfahrt, ballon- oder flugzeuggestützt, bekam die Komponente Aufklärung neue Möglichkeiten. Das Ziel: „Informationsgewinnung, Aufklärung und Überwachung", so auch der Untertitel des Buchs **Sehen – ohne gesehen zu werden** von Eugen Herpfer aus dem **Bernhard & Graefe Verlag**. Herpfer ist als Autor dieses Sachbuchs mit stark dokumentarischem Charakter prädestiniert – jahrzehntelang war er im Bereich Aufklärung und Überwachung bei

Dornier und EADS tätig. Addressiert der Autor sein Buch an jene, „…die sich für die historische Aufklärung interessieren“, so finden auch andere Leser sehr interessante Informationen: militärgeschichtliche wie technische Aspekte der Aufklärung. Wer jedoch bis dato geheime Informationen erwartet, kann das Buch wieder beiseite legen. Russen wie auch Amerikaner halten sich immer noch sehr bedeckt. Wen wundert's. Was der Leser jedoch findet, ist die intelligente Verknüpfung von Informationen zu einem aufschlussreichen Gesamtbild.

Nach Ballonen und Flugzeugen folgen die Möglichkeiten der raumgestützten Aufklärung mittels Satelliten. Zwei Dinge sind bei aller Begeisterung für dieses auf dem deutschen Markt einmalige Produkt kritisch zu bemerken. Ein besseres Lektorat hätte die Allgemeinverständlichkeit erhöht. Und schade ist es um einige Illustrationen, die angesichts ihrer Unschärfe aus einem Powerpoint-Vortrag übernommen zu sein scheinen. Interessant und bis heute aktuell ist das Credo des Buchs: „Aber die Verantwortlichen für die Sicherheit eines Landes oder eines Bündnisses sollten über diese Werkzeuge verfügen können, um zu sehen, was zu sehen ist. Statt nur sehen zu wollen, was gerade opportun erscheint“.

Andreas Schütz

Und am Ende das Fragezeichen



„Die Maschine ist jetzt fertig. Ihr könnt damit machen, was Ihr wollt.“ Der Bauer sprach's und ging zu Bett. Er wachte nicht wieder auf. **Der Weltmaschinenroman** von Klaus Ferentschik **(Verlag Matthes & Seitz Berlin)** erzählt die wahre Geschichte von Franz Gsellmann. 22 Jahre lang hatte ihn seine Wundermaschine angetrieben, hatte ihn Hof und Vieh vergessen lassen und die Familie in die Zweitrangigkeit degradiert. Gsellmann war trotz höhnischer Worte der Nachbarn stur geblieben, hatte Teil für Teil herbeigeschafft, keinen noch so mühevollen Gang gescheut, Armut in Kauf genommen. Alles für dieses am Ende einen Wohnraum füllende technische Monstrum. Inspiration gab ihm das Atomium auf der Brüsseler Weltausstellung 1958 ebenso wie simples Plastikspielzeug. Unbeirrt folgte er seinem Drang, etwas ganz Besonderes zu erbauen. Einziger Lohn: die klappernde, pfeifende, trillernde, leuchtende Konstruktion; später endlich mit dem Begriff Weltmaschine geadelt und Anziehungspunkt gleichermaßen für Journalisten wie für Künstler.

Gsellmann, allein mit seiner Maschine auf Du und Du, spricht zunächst sehr zögerlich, später stolz über seinen „Murks“. Eine Frage allerdings scheut er: Was macht die Maschine? Die Antwort sollten die hohen Ingenieure geben, denn er habe keine Bildung. Schließlich gesteht er sich ein, dass er auf den Moment warte, in dem seine Maschine ein Eigenleben entwickelt und von sich aus etwas produziert. Ob er das noch erlebe? – Ein sich drehendes Fragezeichen ist das letzte Bauteil, das er an das Produkt seiner Schöpfung anbringt.

Am Ende ist man sich nicht sicher, ob man Gsellmanns Naivität belächeln oder ihn wegen seiner Fantasie und Konsequenz bewundern mag. Imagination zählte für ihn mehr als produktive Realität. Eine wahrhaft wundersame, nachdenklich machende Geschichte, die in der Konzentration auf das unerhörte Ereignis in der bäuerlich geprägten Steiermark und in der Beschreibung des in sich gekehrten, sich samt seiner Konstruktion aus dem Alltagsleben ausgrenzenden Tüftlers viel von einer Novelle hat. – Ein Roman, wie Ferentschik es verspricht, ein Roman ist der Weltmaschinenroman nicht.

Cordula Tegen

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, Verkehr und Energie 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 sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den dreizehn Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 6.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris 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 Göge (ViSdP), Cordula Tegen (Redaktionsleitung)

DLR-Kommunikation
Porz-Wahnheide, Linder Höhe,
51147 Köln
Telefon: 02203 601-2286
Telefax: 02203 601-3249
E-Mail: kommunikation@dlr.de
www.DLR.de/dlr-magazin

Druck: Druckerei Thierbach,
45478 Mülheim an der Ruhr

Gestaltung: CD Werbeagentur GmbH,
53842 Troisdorf, www.cdonline.de

ISSN 2190-0094

Onlinebestellung:
www.DLR.de/magazin-abo

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. Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier. Bilder DLR, soweit nicht anders angegeben.

DLR **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt** e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft