



Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) · www.DLR.de · Nr. 136 · Dezember 2012

magazin 136

Biofilter für Erde und All

Hungrige Gesellschaft im Lavastein

Ein Stück Kosmos vor der Haustür

Weltraumexperimente im Sonnenofen des DLR Köln

Einmal Antarktis und zurück – in zehn Tagen

Report von einem Flug mit HALO

DLR MAGAZIN 136



DLR-Magazin mit Ton und Film

Nach der erfolgreichen Premiere des DLR-Magazins in einer Version für Tablet-Computer im September 2012 gibt es nun auch die Jahresausgabe fürs iPad und für Geräte auf Basis des Betriebssystems Android. Wie das gedruckte Magazin steht auch die Tablet-Version für zeitgemäße Wissenschaftskommunikation. Meldungen, Interview, Reportage und Rezensionen ergänzen Artikel, die von DLR-Forschern und -Forschern verfasst und von der Magazin-Redaktion aufbereitet wurden. Sechsmal im Jahr – viermal Deutsch, zweimal Englisch – steht das DLR-Magazin fortan auch über den iTunes Zeitungskiosk sowie Google Play kostenlos zur Verfügung. Die Magazin-App setzt auf multimedialen Mehrwert: Video, Audio und brillante Bilder ergänzen die traditionellen Text- und Bildelemente. Dabei wird auf intuitive Benutzerführung, Lesefreundlichkeit und die Wiedererkennung des Print-Magazins Wert gelegt.

Gerne nehmen wir Ihre Kritik und Ihre Anregungen zum DLR-Magazin entgegen: Schreiben Sie uns einfach an DLRMagazin@dlr.de.

Editorial	3	Meldungen	32
EinBlick	4	Porträt	
Leitartikel Europa – gemeinsam statt einsam!	6	Stella Huberts Alltag ist voller Katastrophen – sie wertet Daten von Krisengebieten aus	36
Meldungen	8		
Hungrige Gesellschaft im Lavastein DLR-Forscher entwickeln den Biofilter C.R.O.P. 10		Einmal Antarktis und zurück – in zehn Tagen Mit HALO auf der Langstrecke	40
Starkes Pulver Funktionsmaterialien für thermoelektrische Technologie in Kraftfahrzeugen	14		
In Tausendsteln einer Sekunde Dem Phänomen der Selbstzündung auf der Spur	16	Interview Dr. Ulrike Friedrich organisierte zum 20. Mal Parabelflüge des DLR	44
		Ein Maulwurf für den Mars Sonde des DLR soll fünf Meter tief bohren	46
Fliegen mit der Sonne DLR-Know-how für Rekordflug mit solarbetriebenem Flugzeug	20		
Ein Stück Kosmos vor der Haustür Weltraumexperimente im DLR-Sonnenofen	24	Wenn sie uns zu nahe kommen NEOSHield: Asteroidenabwehr mit System	48
		Teneriffa in der Rolle des Mars Robotische bildgestützte Rover-Navigation im Geländetest	52
Wissen, was passiert, wenn ... Energiesystemanalyse: Ein immer besserer Blick in die Zukunft der Energieversorgung	28	Whale-watching am Bodensee Das Dornier Wal-Flugboot – eine Legende zurück in Friedrichshafen	54
Die frühesten Sterne: eine Hommage Begegnung mit der Astrophysikerin und Buchautorin Anna Frebel	58	Rezensionen	62

Liebe Leserinnen und Leser,



wie viel Humor verträgt die Wissenschaft? – Ab der W2-Professur wird nicht mehr gelacht, so die landläufige Meinung. Stimmt das? Oft steht die Detailverliebtheit wissenschaftlicher Abhandlungen für die Distanz zwischen Öffentlichkeit und Wissenschaft. An dieser Stelle wird seitens der Öffentlichkeit gerne der „Elfenbeinturm“ ins Spiel gebracht, die Wissenschaftler pochen auf den erforderlichen „Tiefgang“ seriöser Wissenschaft. Viel zu oft führt das zu gegenseitigem Unverständnis. Gesucht wird der goldene Mittelweg zwischen öffentlichem Verstehen und wissenschaftlichem Anspruch.

Hier kommen die „Übersetzer“ ins Spiel, mit zeitgemäßen Formen der Kommunikation. Aber was heißt schon zeitgemäß? Nichts ist so unaktuell, wie die Meldung von heute. Die schnelle Information ist das Gesetz der Medien. Die Wissenschaftskommunikation hat in den letzten Jahren darauf reagiert. Öffentlichkeit und Medienlandschaft veränderten sich. Formate zur Wissensvermittlung sind zahlreicher geworden, sei es in Radio, Print, Fernsehen oder im Internet. Zugeschnitten sind die Formate auf die speziellen Informationsinteressen unterschiedlicher Zielgruppen. Dabei reicht das Angebot von hoch anspruchsvollen – in denen sich die Wissenschaftler wohler fühlen – bis hin zu populären Formaten, die ein Garant für gute Quoten sind.

Eine Frage müssen alle Wissenschaftsformate beantworten: Wem nützt die Forschung? Und wie macht man den Nutzen klar? An dieser Stelle liegt die Schwierigkeit: Hier trifft möglichst umfassende und detailgetreue Darstellung auf wissenschaftlich unbekanntete Normalität und – in der Regel ein begrenztes Zeitbudget für die Wissensaufnahme. Ein Spagat, den auch die DLR-Kommunikation täglich erlebt. Das Interesse an der DLR-Forschung ist groß, wie der Tag der Luft- und Raumfahrt und die Nacht der Wissenschaft regelmäßig zeigen. Fast 3.000 Beiträge in allen Medienformen allein im Jahr 2012 spiegeln die Kompetenz des DLR wider, www.DLR.de gehört zu den am häufigsten frequentierten Webseiten der deutschen Wissenschaftslandschaft.

Und doch, so glauben wir, geht Wissensvermittlung noch besser. Denn das Gehirn merkt sich viel mehr, wenn man auch noch Spaß dabei hat – einfach, weil der Text gut geschrieben ist, weil das begleitende Bild fasziniert oder weil der Vortragende es verstanden hat, die Zuhörer zu fesseln. Vielleicht mit ein wenig Humor.

Deshalb wagt das DLR einen weiteren Schritt und organisiert seine Jahreshauptversammlung als Science Slam. Denn es reicht nicht mehr aus, nur ein brillanter Forscher zu sein. – Darüber zu reden, und zwar so, dass andere sich an das Thema erinnern, ist in Zeiten des Wettstreits um Forschungsgelder genauso wichtig.

Ich hoffe, dass Sie sich an das in dieser Ausgabe des DLR-Magazins Gelesene und Gesehene erinnern werden und wünsche viel Spaß beim Lesen.

Sabine Hoffmann
Leiterin DLR-Kommunikation

EinBlick

Aufgefächert

Wie ein gewaltiger Fächer spreizen sich die Förderflächen des rheinischen Braunkohlereviers auf. Im Städtedreieck zwischen Aachen, Köln und Mönchengladbach liegt das größte Braunkohleverier Europas.

Schaufelradbagger, die mächtigsten Arbeitsmaschinen der Welt, transportieren Kohle und Abraum über kilometerlange Förderbänder. An den Rändern der Abbaugebiete wachsen später neue Landschaften: künstliche Berge und Seen sowie rekultivierte Acker- und Waldflächen.

Bild des Satelliten WorldView-2,
aufgenommen am 24. März 2011



Europa – gemeinsam statt einsam!

Von Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner



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

www.DLR.de/blogs/janwoerner

Bis zur heutigen Europäischen Union war es ein langer Weg, begleitet von Hoffnungen, Bedenken und Sorgen. Während die Politik in Europa über Wirtschaftsbeziehungen und eine gemeinsame Währung diskutierte, entwickelten sich in der Wissenschaft und Technologie Strukturen, die zu einer intensiven, grenzüberschreitenden Kooperation von Universitäten und Forschungseinrichtungen führte, zu multinationalen Verbünden und zwischenstaatlichen Einrichtungen wie der Europäischen Raumfahrtagentur.

Europa heute: Jammern auf hohem Niveau. Wir diskutieren über möglicherweise „schwierige“ Konsequenzen einer eigentlich selbstverständlichen europäischen Solidarität. Gleichzeitig leiden viele Menschen an Hunger und Durst, gibt es weltweit kriegerische Konflikte mit vielen Opfern.

Als jemand, der zehn Jahre nach dem Zweiten Weltkrieg geboren wurde, habe ich den täglichen Kampf ums Überleben nie erfahren müssen. Ich hatte einfach nur unverdientes Glück, in politisch stabilen Verhältnissen und einer umsorgten Familie aufzuwachsen.

Der Blick auf das allgegenwärtige Elend in der Welt und die Auseinandersetzung mit der Luxusdebatte der Eurokritiker darf uns nicht in Lethargie verfallen lassen. Es ist unsere Verpflichtung, an gemeinsamen Ideen für eine bessere Situation zu arbeiten, sei es im Kleinen oder im Großen. Forschung und Technologie sind Mittel zur Bewältigung der globalen Herausforderungen. Sie sind geeignet, Beiträge zu einer grenzüberschreitenden Zusammenarbeit zu leisten. Die Internationale Raumstation ist nur ein, wenn auch ein besonders herausragendes Beispiel für die Möglichkeiten, die sich uns bieten.

Vor fünfzig Jahren dominierte der Kalte Krieg den Wettbewerb der Systeme im Weltraum und auf der Erde. Haben wir tatsächlich diese Zeiten endgültig hinter uns gelassen? Oder haben wir uns längst auf dessen Fortsetzung mit anderen Instrumenten eingerichtet?

Die Zukunft zu gewinnen, braucht neue Ideen! Das Rad hatte keinen Vorläufer, es stellte eine Revolution mit zuvor nicht geahnten Möglichkeiten dar. Große, disruptive Gedanken lassen sich nicht durch noch so sorgfältige Planung und Detailvorgaben entwickeln, sondern nur durch Begeisterung und Motivation jenseits unserer liebgewonnenen Gewohnheiten. Dazu gehört auch ein neues Verständnis von Globalisierung als wirkliche Kooperation zur Bewältigung allgegenwärtiger Probleme. Wenn wir dies nicht nur als eine technische oder wissenschaftliche Herausforderung, basierend auf der dem Menschen angeborenen Neugier verstehen, sondern als einen Traum für die Gesellschaft jenseits nationaler Grenzen, können Hoffnung und Optimismus über die allzu berechtigten Sorgen und Schrecken die Oberhand gewinnen. Zugunsten einer besseren Zukunft – und über ein gemeinsames Europa hinaus. ●

Meldungen

Strahlungsmessung vom Mars-Rover Curiosity wird auch in Köln und Bonn genauestens verfolgt

Wenn der Rover Curiosity in diesen Wochen den Mars erkundet, fieben auch Wissenschaftler des DLR und der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel mit. Für sie sind die ersten Erfolge schon sichtbar: Sie haben bereits während des Fluges zum Mars mit dem Strahlungsmessgerät RAD (Radiation Assessment Detector) die Strahlung im Weltraum gemessen. Nach der Landung des Rovers wurden mit RAD dann zum ersten Mal Strahlungswerte direkt auf dem Mars erfasst. „Mit den Ergebnissen können wir berechnen, wie sich zum Beispiel zukünftige Marsastronauten vor der Strahlung schützen müssen“, erklärte Dr. Günther Reitz vom DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln.

Immer wieder wurde das Strahlungsmessgerät RAD nach dem Start der Raumsonde am 26. November 2011 eingeschaltet. „Drei Sonnenstürme – im Februar, März und Mai 2012 – haben wir dabei messen können“, sagte Reitz. Zum einen erhielten die Wissenschaftler mit ihren Messungen im Weltraum wertvolle Datensätze, die ihnen Aufschluss über das Strahlenfeld im Sonnensystem geben. Zum anderen können sie sich jetzt sicher sein: Das gerade einmal schuhkartongroße Gerät RAD funktioniert zuverlässig. Insgesamt zehn Instrumente werden mit Rover Curiosity ihre Arbeit auf dem Mars aufnehmen. Dazu gehören auch mehrere Kameras, Spektrometer und ein Mini-Labor für Untersuchungen von Bodenproben.

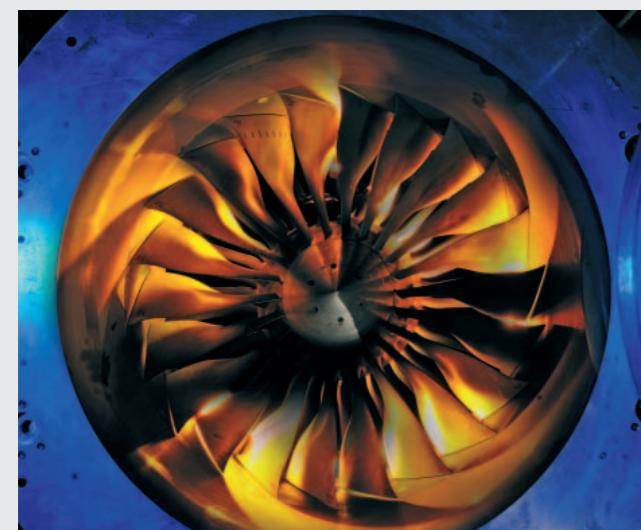
Das Strahlungsmessgerät RAD wird durch das in Bonn ansässige Raumfahrtmanagement des DLR aus dem nationalen Raumfahrtprogramm gefördert. In den nächsten zwei Jahren wird das RAD die ersten Messungen durchführen, die jemals auf der Marsoberfläche selbst erfolgten. „Wir können viel berechnen, aber nur vor Ort die tatsächlichen Werte und somit das Strahlenklima messen“, betont der Astrobiologe Günther Reitz. Die Erkenntnisse dienen dazu, die bisher berechneten Modelle zu korrigieren und zu verfeinern. Da der Mars kein Magnetfeld hat und nur durch eine sehr dünne Atmosphäre geschützt ist, wird die Strahlung deutlich höher als auf der Erde sein. Die DLR-Forscher wollen herausfinden, wie viele Teilchen vorhanden sind und welche Energie sie haben.

<http://s.DLR.de/47g5>



Künstlerische Darstellung der Landung von Curiosity: Noch verbinden drei Nylon-Seile das Fahrzeug mit dem sich senkenden „Himmelskran“, der zuvor samt Rover von der Weltraumsonde ausgesetzt worden war

Neue Methode der aktiven Lärmminderung im Test



Rotorschaufeln des Kölner UHBR-Rigs am DLR-Institut für Antriebstechnik

Ein neues Verfahren zur Minderung von Triebwerkstößen wurde im DLR Köln erfolgreich getestet. Es basiert auf dem gezielten Einblasen von Druckluft in das Flugzeugtriebwerk direkt hinter dem Hauptrotor, dem sogenannten Fan. Dadurch werden Wechselkräfte auf den nachfolgenden Leitschaufeln angeregt, die bei genau eingestellter Einblasung den aktiven Gegenschall erzeugen.

Zur aktiven Lärmminderung nutzte man bislang Lautsprecher zum Erzeugen eines Gegenschallfelds. In einem Triebwerk, beispielsweise im Einlauf, müsste ein System aus vielen Lautsprechern allerdings extrem robust, langlebig und zuverlässig sein. Zudem ist ihr Gewicht nachteilig für die Effizienz des Flugzeugs. Deshalb kamen die DLR-Triebwerksakustiker auf die Idee, denselben Effekt durch das Einblasen von Druckluft zu erzeugen. Moderne Triebwerke besitzen bereits ein für viele Zwecke verwendetes Druckluftsystem, das entsprechend angepasst auch hier zum Einsatz kommen kann.

Das DLR verfügt in Köln mit dem Versuchsverdichter UHBR (Ultra High Bypass Ratio)-Rig über einen leistungsfähigen Modellprüfstand, an dem das neue Verfahren an einem realistischen Modell eines Teiltriebwerks demonstriert werden konnte. Erste Datenanalysen zeigen, dass der laute Ton, der im Fan durch die Interaktion von Rotoren und Statoren entsteht, bereits durch eine geringe Menge eingeblasener Druckluft deutlich leiser wurde.

<http://s.DLR.de/873t>

Mehr Luft für die Turbinenforschung

Ein neuer Turboverdichter verbessert die Forschungsbedingungen im DLR Köln. Um Komponenten von Flugantrieben und Kraftwerksturbinen zu testen, müssen die späteren Betriebsbedingungen simuliert werden. Dafür hat das DLR fünf Prüfstände. Diese Infrastruktur wurde im Sommer 2012 um den Hochdruckluftverdichter HD5 erweitert. Damit können komplett Ringbrennkammern von großen Flugtriebwerken und schadstoffarme Brenner für große Gaskraftwerke unter realitätsnahen Bedingungen untersucht werden. Bis zu 200.000 Kubikmeter Luft pro Stunde auf einem bestimmten Temperatur- und Druckniveau können dazu notwendig sein.



Das Getriebe des neuen Turboverdichters kam mit einem Spezialtransporter an seinen Bestimmungsort im DLR Köln

Hauptabnehmer für komprimierte Luft ist das DLR-Institut für Antriebstechnik. Weitere Nutzer der Anlage sind die Windkanäle der Abteilung Über- und Hyperschalltechnologie des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik sowie die Deutsch-Niederländischen Windkanäle. Der neue Hochdruckverdichter erhöht die Kapazitäten und vor allem auch die Flexibilität der Anlagen. Die Prüfstände lassen sich nun auch bei hohen Drucklasten parallel betreiben und die Wissenschaftler können flexibel auf die Anforderungen bei der Entwicklung zukünftiger Gasturbinen reagieren. Davon profitieren sowohl die Forscher des DLR als auch ihre Partner aus der Luftfahrt- und Energiebranche.

<http://s.DLR.de/e4dp>

Präsident von Japans Raumfahrtagentur in Köln

Das DLR und die JAXA kooperieren seit Langem auf verschiedenen Gebieten der Raumfahrt. Im Rahmen des Besuchs besprachen JAXA-Präsident Dr. Keiji Tachikawa und DLR-Vorstandsvor sitzender Prof. Johann-Dietrich Wörner eine intensivere und strategisch ausgerichtete Zusammenarbeit. Dazu dienen sowohl Kooperationen auf Hochschulebene, wie zwischen dem DLR und der japanischen Tohoku Universität, als auch der Austausch von Wissenschaftlern. Auch ein DLR-Büro in Tokio ist geplant. Die deutsche Beteiligung an der japanischen Asteroidenerkundungsmisson „Hayabusa II“ (Start 2014/2015) gehört ebenso dazu. Bei seinem Rundgang über den DLR-Standort Köln informierte sich Keiji Tachikawa über das Raumfahrtnutzerzentrum MUSC (Microgravity User Support Center) und das Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin. Im Europäischen Astronautenzentrum (EAC) der ESA gab Astronaut Frank de Winne schließlich einen Einblick in die europäische Astronautenausbildung.

<http://s.DLR.de/j679>



Yoko Shinohe, Prof. Johann-Dietrich Wörner, Dr. Keiji Tachikawa und Frank de Winne (v. l. n. r.) im Nachbau des Columbus-Labors

DLR Raumfahrtmanagement unterstützt Wettersatelliten

Der europäische Wettersatellit MetOp-B umkreist seit dem 17. September 2012 die Erde. Er ist einer von drei baugleichen Satelliten (MetOp-A, -B und -C). Ihre zwölf Instrumente liefern meteorologische Daten, um ein dreidimensionales meteorologisches Bild der Erde zu erstellen und die Wettervorhersagen zu verbessern.

Das DLR ist für die fachliche Überwachung des MetOp-Programms zuständig. Deutschland ist über das DLR Raumfahrtmanagement mit rund 30 Prozent an der MetOp-Mission beteiligt. Auch der Satellitenbus sowie ein wissenschaftliches Instrument stammen aus Deutschland. Sie werden bei EADS Astrium in Friedrichshafen gebaut.

<http://s.DLR.de/9095>



Test von MetOp-B im ESA-Technologiezentrum im niederländischen Noordwijk



Hungrige Gesellschaft im Lavastein

Ein paar Pflanzen, Lavasteine aus der Eifel, zwei Plastikröhren, ein Glasbehälter, Wasser, Fische – und Abfälle. Mehr braucht es nicht, um ein geschlossenes Lebenserhaltungssystem zu bauen. C.R.O.P. – Combined regenerative organic-food production – heißt die Anlage, die organische Abfälle zersetzen und die entstehenden Stoffwechselprodukte für die Produktion neuer Lebensmittel nutzen soll. Im kleinen Maßstab funktioniert das bereits. Deshalb können der Wissenschaftler Dr. Jens Hauslage und sein Team im Foyer des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln regelmäßig Tomaten ernten. In einem Gewächshaus bei Bonn soll demnächst getestet werden, ob der Biofilter C.R.O.P. auch im großen Maßstab funktioniert. Und: Ob er auf der Erde in harschen Lebensräumen oder im lebensfeindlichen Weltall bei Langzeitmissionen zum Einsatz kommen kann.

DLR-Forscher entwickeln den Biofilter C.R.O.P.

Von Manuela Braun

Die Protagonisten sind winzig klein. So klein, dass sie mit dem menschlichen Auge überhaupt nicht wahrgenommen werden. Jens Hauslage klopft mit dem Finger gegen die Glassröre der C.R.O.P.-Anlage im Kölner Institutsfoyer. Außer feuchten Lavasteinchen aus der Eifel, über die Wasser rieselt, ist dort nichts zu sehen. „Da drin, da läuft ein Krieg ab. Ein Krieg um die besten Nährstoffe“, sagt er. Im Lavaschotter scheint alles ruhig, unter dem Mikroskop würde das ganz anders aussehen. Über 70 Arten von Bakterien, Pilzen und Einzellern tummeln sich an der Oberfläche und in den vielen kleinen Löchern der porösen Steine – und liefern sich einen harten Konkurrenzkampf um die Abfallstoffe, die der Wasserkreislauf der C.R.O.P.-Anlage immer wieder über sie spült.

„Diesen Konkurrenzkampf, den nutzen wir, um den Stoffkreislauf abzukürzen.“ Was für das Bakterienreich im Lavastein köstliche Nahrungsmittel sind, sind für Pflanzen und Menschen oftmals schädliche Stoffe. Ammoniak, das für Boden, Pflanzen und die menschliche Nase eine Zumutung ist, gehört beispielsweise auch zu den begehrten Nahrungsmitteln vieler Bakterien. Was die Bakterien nach ihrer Mahlzeit wieder ausscheiden, ist hingegen vor allem eines: Nährstoff für Pflanzen, der ohne das geschlossene Kreislaufsystem der C.R.O.P.-Anlage verlorengehen würde. Das Ganze geschieht ohne einen langwierigen Umweg über einen Komposthaufen – der übliche Weg, um organische Abfälle als Dünger wiederverwenden zu können. „Wer kann sich denn schon einen Komposthaufen auf der Internationalen Raumstation im Weltall vorstellen?!“

Einmal mit einem Löffel Erde geimpft, explodiert in dem steinigen Biofilter das Leben. Dabei beweisen die Bakterien, wie anpassungsfähig sie bei ihrem Überlebenskampf sind: Egal, welche Abfallstoffe man in den Biofilter gibt – es finden sich Organismen, die genau diesen Stoff als Nahrung nutzen und somit abbauen können. Das funktioniert selbst in den beiden nur einen Meter hohen Röhren der C.R.O.P.-Versuchsanlage. „Unter dem Mikroskop sieht die Bakterienwelt auf so einem Lavasteinchen wie ein ganzes Gruselkabinett aus“, sagt Biologe Hauslage. „Milben, Würmer – in den Mikroklimazonen der Steine fühlen sich alle wohl.“ Durch die unzähligen Löcher in den Lavasteinen besitzen die insgesamt immerhin eine Oberfläche, die der Größe von zwei Fußballfeldern entspricht. Jede Menge Lebensraum für die unterschiedlichsten Einzeller mit den unterschiedlichsten Speiseplänen – unabhängig davon, ob sie lieber mit Sauerstoff an der Steinoberfläche leben oder ohne Sauerstoff im Inneren der porösen Eifelsteine. Und würde der Filter einmal austrocknen, wäre das noch nicht das Ende des dynamischen Biofilters: Die Bakterien würden einfach in einen Ruhezustand gehen, um bei der nächsten Befeuchtung wieder einen Neustart hinzulegen.

Am Anfang ist nur trübe Brühe

Jens Hauslage zupft sorgfältig das alte Laub von den Tomatenpflanzen, öffnet den Deckel der Röhre und wirft die Blätter auf die feuchten Lavasteine. „Sozusagen Pflanzenkannibalismus: Wir füttern Tomaten mit Tomatenlaub“, sagt er lachend. „Denn in



Frisches Futter für die Bakterien: Dr. Jens Hauslage entfernt alte Blätter und gibt sie in den Biofilter. Dort warten gefräßige Bakterien schon auf den Nachschub.



Regelmäßig kann der Biologe Mini-Tomaten ernten, die vom Biofilter C.R.O.P. mit wiederverwerteten Abfällen gedüngt wurden



Ein sorgfältig überwachter Stoffkreislauf lässt die jungen Pflänzchen sprießen

einem Tomatenblatt sind genau die Nährstoffe drin, die eine Tomate braucht – also geben wir diese über den Biofilter auch wieder in das System zurück.“ Im Foyer des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin beginnt es nach frischen Tomaten zu riechen. Die Nährstoffe, die nach dem Rieseln durch den Biofilter im Wasser enthalten sind, tun den Micro-Tinas – einer Tomatensorte, die von der Utah State University für den Weltraum gezüchtet wurde – gut. Hauslage kontrolliert auf einer digitalen Anzeige die wichtigsten Werte des Wassers: Der pH-Wert ist in Ordnung. Die Leitfähigkeit, die Aufschluss über den Anteil an Nährstoffen im Wasser gibt, ist zufriedenstellend. Unten im Becken flüchten einige Buntbarsche hinter die Röhren. Die Tilapia-Fische fressen ebenfalls Abfälle – und speichern deren Nährstoffe in ihrem Körper. „Stickstoffspeicher“ nennt Hauslage sie. „Tilapia-Fische sind hart im Nehmen.“ Ihre Ausscheidungen gehen wiederum durch den Biofilter, werden von den Bakterien verwertet und gelangen als Nährstoffe ins Wasser.

In ersten Versuchen hat der Biofilter bereits seine Tauglichkeit unter Beweis gestellt. Urinlösung, feingehäckselte Pflanzenabfälle, zerkleinerte Essensreste – die Bakterienwelt in den Röhren hat all das schon verwertet und abgebaut. Je öfter diese trübe Brühe mit Abfällen über die Lavasteine und ihre Bewohner läuft, umso sauberer und gleichzeitig gehaltvoller an Nährstoffen wird sie. Sechs Liter Lavasteinchsen schaffen es, innerhalb von drei Tagen zwei Liter Urin zu wertvollem Nitrat abzubauen. Darmkeime werden bedeutend reduziert, weil ihnen das Klima in der C.R.O.P.-Anlage das Leben schwer macht – sie sterben und ihre Überreste werden von den Bakterien gefressen und verwertet. Mit dem nährstoffreichen Wasser, das der Biofilter produziert, hat das C.R.O.P.-Team Jens Hauslage, Kai Waßner und Gerhard Bornemann schon Paprika, Salat, Tomaten, Gurke, Basilikum und Petersilie gedüngt. Mit dem geschlossenen Lebenserhaltungssystem haben die Wissenschaftler bereits Tomaten- und Chilipflanzen vom Samen bis zur Frucht gezüchtet. Der Anfang ist gemacht, das Projekt C.R.O.P. wird in der Forschungsanlage „envihab“ (environmental habitat) des DLR weiterentwickelt werden. Das Team um Jens Hauslage will nun herausfinden, welche Stoffe abgebaut werden können, wie leistungsfähig ihr Biofilter sein kann, in welchen Bereichen der Biofilter zum Einsatz kommen könnte und wie aus der Anlage im Labor eine funktionsfähige Anlage beispielsweise für die Landwirtschaft werden kann.

Tests im Gewächshaus der Universität Bonn

Ortswechsel. Zwischen Rheinbach und Meckenheim, auf dem Campus Klein-Altendorf der Universität Bonn, steht in der Forschungseinrichtung „agrohort“ ein grauer 800-Liter-Kanister, der deutlich nach Kohl riecht. Zehn Kilogramm gehäckselter Kohl werden jede Woche in die C.R.O.P.-Anlage gegeben und dort von den Bakterien im Lavagestein zu einer nährstoffreichen Düngelösung umgewandelt. Schon nach einem Tag ist der strenge Kohl-Geruch verschwunden, nach zwei bis drei Tagen sind die Kohlreste zersetzt. Im Wassertank befindet sich nun eine Düngelüssigkeit, die die Nährstoffe des abgebauten Kohls für die nächste Pflanzengeneration enthält. Die Wissenschaftler haben auch schon Tomatenblätter, Äpfel oder alten Salat im Filter verflüssigt. „Hier trifft der Biofilter auf die Realität“, betont Dr. Thorsten Kraska von der Universität Bonn. Als Kooperation des Regionale 2010-Projekts „Gärten der Technik“ erforschen „envihab“ und „agrohort“, ob sich der C.R.O.P.-Filter auch im großen Maßstab – und nicht nur im Institutsfoyer im DLR – als tauglich erweist. „Die Produktion von einem Kopfsalat im Monat nutzt ja niemandem, wir brauchen andere Dimensionen.“

Thorsten Kraska öffnet die Tür zu einem von mehreren fast 40 Meter langen Gewächshäusern. Reihenweise werden hier zu Forschungszwecken Tomaten oder Salat gezüchtet. Schläuche führen das Wasser an jede einzelne Wurzel, Heizrohre und Lampen sorgen für die optimalen Bedingungen für jede

Pflanze. Für Kraska und Hauslage geht es vor allem um eines: die Kinderkrankheiten von C.R.O.P. festzustellen und zu besiegen, damit der Biofilter den Sprung ins wahre Leben besteht. Zu viel Tomatenlaub oder Kohlreste verstopfen die Pumpen, die die Abfälle mit dem Wasser über die Lavasteine spülen. Blattkrankheiten würden in einem geschlossenen System wie C.R.O.P. immer wieder in das Wasser zur Düngung gelangen. Welche Pflanzen vertragen überhaupt das nährstoffreiche Wasser? „Wenn wir es hier im Gewächshaus nicht schaffen, schaffen wir es nirgendwo“, sagt Kraska.

Das große Ziel: Statt die Pflanzenabfälle aus dem Gewächshaus zu verbrennen, sollen diese auf direktem Weg mit dem Biofilter C.R.O.P. verwertet werden, um dessen nährstoffreiches Wasser zur Düngung der Pflanzen wiederverwenden zu können. Dadurch ließen sich nicht nur Abfälle sinnvoll wiederverwerten, sondern auch die konventionellen Düngemittel reduzieren. Selbst Gülle könnte mit C.R.O.P. „veredelt“ werden, bevor sie zur Düngung auf die Felder gebracht wird. Die Bakterien der Anlage würden dann das giftige Ammoniak zu Nitrat abbauen. Diese Aufgabe übernehmen bisher die Bakterien im Boden der Felder – für die Ackerböden eine große Belastung.

Landwirtschaft, Polarstation, Weltall

Der Einsatz in der Landwirtschaft ist aber nur eine der Visionen, die Jens Hauslage und sein Team umsetzen wollen. „Niemand kann sich so schnell anpassen wie Bakterien“, lobt Hauslage die Bewohner des C.R.O.P.-Filters. Medikamente oder Hormonprodukte im Trinkwasser könnten mit dem Biofilter gezielt abgebaut werden. In Städten würde das Biofiltersystem dafür sorgen, dass zum Beispiel Urin schnell abgebaut und dessen Nährstoffe wiederverwertet werden. „Für ein Haus mit zehn Menschen reicht wahrscheinlich eine vier bis sechs Meter lange Röhre mit 50 Zentimeter Durchmesser.“ In der Industrie könnten Abwässer und Klärschlamm durch Biofilter kostengünstig vorge reinigt werden. Dass C.R.O.P. aus Abfällen Dünger für Pflanzen produziert, macht den Biofilter auch unabhängig von der Umgebung. Deshalb entwickeln DLR-Ingenieure vom Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen einen automatisierten Pflanzenanzuchtcontainer. Solche Behälter wären ideal für Krisengebiete, lebensfeindliche, harsche Regionen, Forschungseinrichtungen wie Antarktissationen oder sogar für den Weltraum.

Zurzeit arbeiten Wissenschaftler des DLR daran, die autarken Gewächshäuser unter Weltraumbedingungen zu testen und sie dafür auf der geplanten Weltraummission „EU:Crops“ in einem Satelliten unterschiedlichen Stufen der Schwerelosigkeit auszusetzen. „Noch wird der Apfelkirsch in der ISS entsorgt, obwohl er wichtige Nährstoffe wie Nitrate und Phosphate enthält“, kritisiert Hauslage. „Und auch der Urin der Astronauten wird zwar zum Wasserrecycling verwendet – die Nährstoffe aber werden weggeschmissen.“

Und irgendwann Plastik fressende Bakterien

Und dann gibt es noch einen Traum. Den Traum, dass irgendwann einmal auch Plastik von Bakterien abgebaut werden kann. „Man zerhackt sein Laptop, gibt es in einen Biofilter und das Plastik wird einfach abgebaut“, wünscht sich Jens Hauslage. Bakterien, die Plastik fressen? „Die sind so enorm anpassungsfähig, das sollten wir unbedingt nutzen.“ Für Hauslage hat der konventionelle Komposthaufen ausgedient. Viel zu umständlich, viel zu schlecht zu kontrollieren. Hauslage ist sich sicher: Der Feuchtkomposter, in dem Bakterien Bestandteile im Wasser verwerten und zersetzen, ist die Zukunft. „Wasser, das ist die neue Erde.“ ●

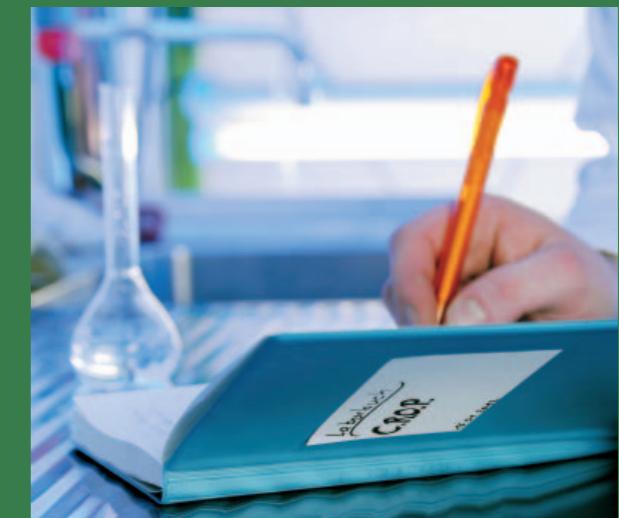
Weitere Informationen:
<http://s.DLR.de/w12d>
www.gaerten-der-technik.de/

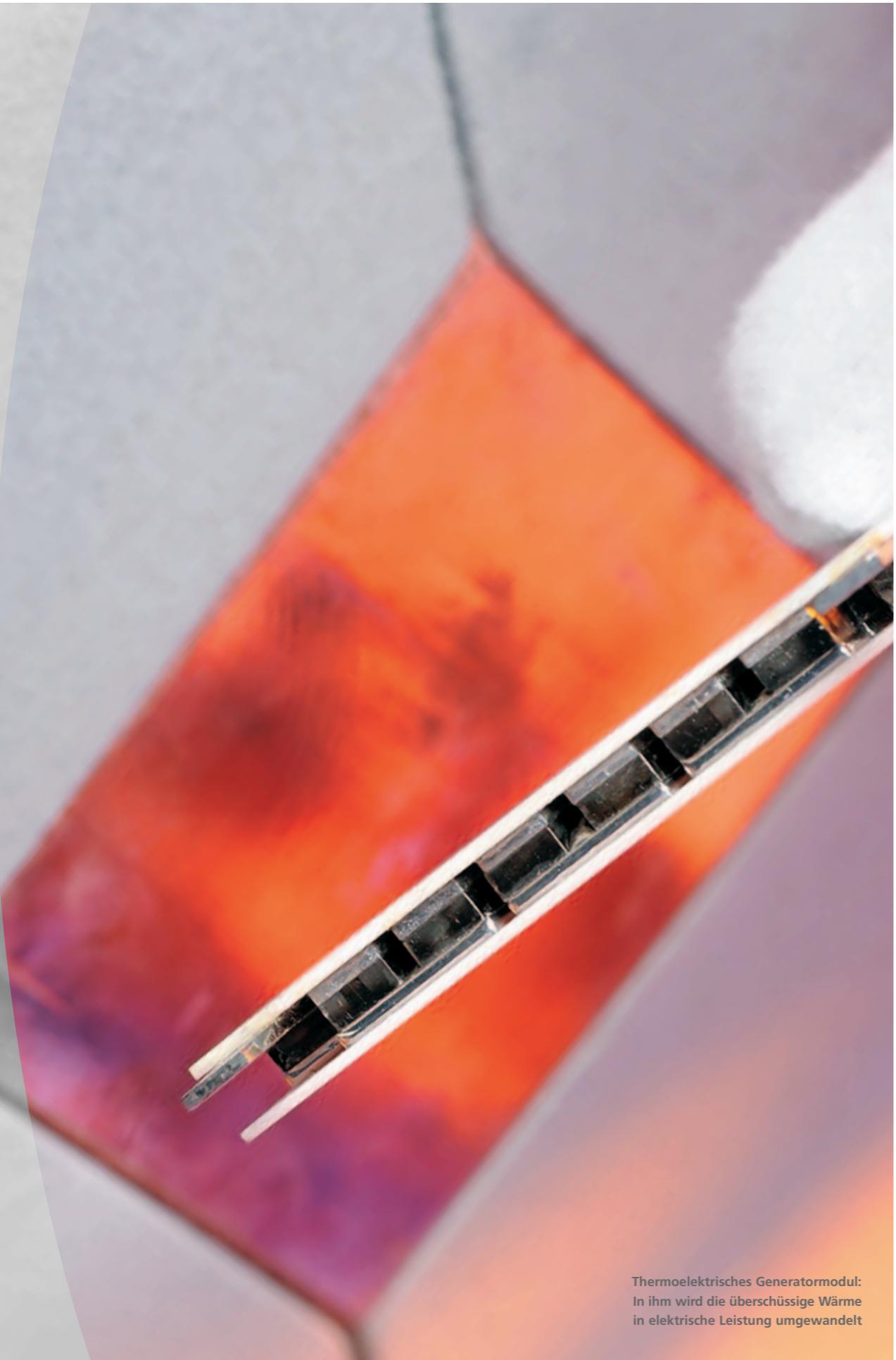


Das Kernstück des Lebenserhaltungssystems C.R.O.P. sind die beiden mit Lavasteinen gefüllten Röhren. In ihnen fressen Bakterien die Abfälle. Das Produkt des Stoffwechsels sind wertvolle Nährstoffe für Pflanzen.



Im Labor des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin hat der Biofilter seine Wirksamkeit bereits unter Beweis gestellt. Die Forschungseinrichtung :agrohort testet nun das System in größerem Maßstab.





Starkes Pulver

Weltweit arbeiten Automobilhersteller an kraftstoffsparenden Fahrzeugen. Viele Wege führen dahin: die weitere Elektrifizierung der Kraftfahrzeuge, sparsamere Motoren und auch die Nutzung der Abwärme von Verbrennungsmotoren. Mit Hilfe thermoelektrischer Generatoren (TEG) lässt sich Wärme, die sonst ungenutzt über den Abgasstrang verloren ging, in elektrische Energie umwandeln, zugunsten einer deutlich besseren Energiebilanz moderner Fahrzeuge. Das DLR forscht daran.

Funktionsmaterialien für thermoelektrische Technologie in Kraftfahrzeugen verbessern die Energiebilanz

Von Reinhard Sottong

Um thermoelektrische Generatoren für den serienmäßigen Einsatz in Kraftfahrzeugen nutzbar zu machen, arbeitet die Abteilung Thermoelektrische Materialien und Systeme des DLR-Instituts für Werkstoff-Forschung mit Partnern aus der Automobilhersteller- und Zuliefererindustrie zusammen. Ihr Ziel sind hocheffiziente thermoelektrische Materialien und thermoelektrische Generatoren für den Einsatz bei Temperaturen bis 400 Grad Celsius. In dem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt TEG gelang es gemeinsam mit BMW und Ermitec, einen zylindrischen TEG zum Einbau in den Abgas-Rückkühlner eines Dieselmotors zu entwickeln. Auf der Internationalen Thermoelektrik-Konferenz 2012 wurde der DLR-Posterbeitrag dazu unter circa 300 Beiträgen als beste Anwendung prämiert.

Für erste Prototypen und Demonstratoren setzten die DLR-Wissenschaftler Bleitellurid ein. Es ist das Hochtemperatur-Material mit der derzeit besten Verfügbarkeit und technologischen Reife. Für eine breite Anwendung müssen allerdings bleifreie Funktionsmaterialien gefunden werden. Daher konzentriert man sich in laufenden Forschungsarbeiten zunehmend auf eine TEG-Modultechnologie, die Materialien aus der Klasse der Skutterudite als Basis hat. Diese Funktionsmaterialien werden

beim DLR hinsichtlich ihrer elektrischen und mechanischen Eigenschaften untersucht und optimiert. Die Forscher wollen die Materialeffizienz steigern und die Module für den dauerhaften Einsatz fit machen. Ihr besonderes Augenmerk richten sie dabei auf Ausgangsmaterialien, die mit ausreichendem Durchsatz hergestellt und in Entwicklungs- sowie Fertigungsschritte eingespeist werden können. Denn hier liegt bisher ein praktisches Hindernis für eine industrielle Verwendung thermoelektrischer Systeme. Die Materialien in Glasampullen bereitzustellen, ist zwar für Laboruntersuchungen ein geeigneter Weg, aber für eine Serienfertigung zu aufwändig und zu teuer.

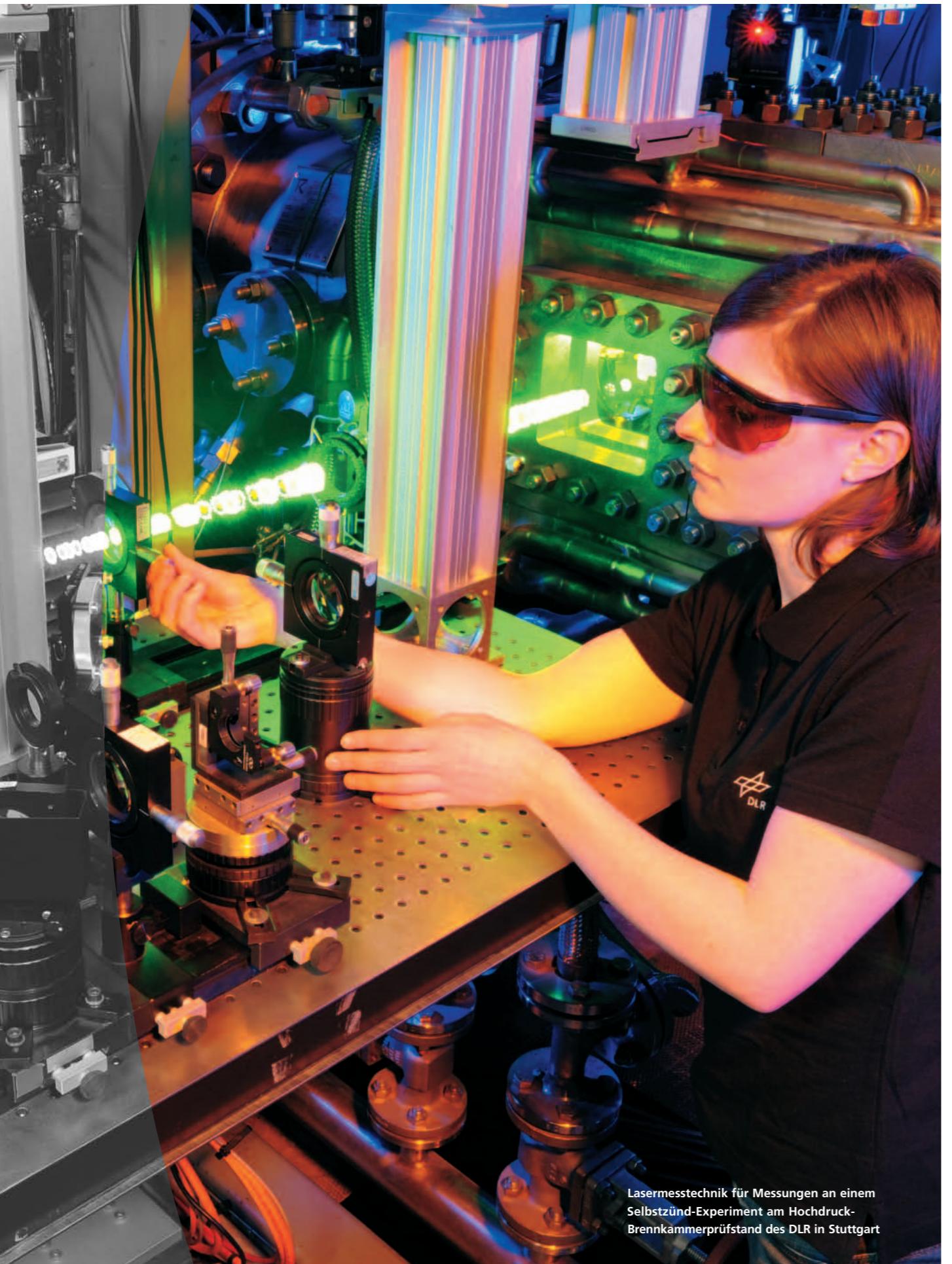
Das thermoelektrische Material kann damit lediglich in einer Menge von deutlich weniger als hundert Gramm pro Ansatz synthetisiert werden. So untersuchen die Wissenschaftler im Institut für Werkstoff-Forschung andere Herstellerrouten, die einen höheren Materialdurchsatz erlauben. Eine mögliche Technik sehen sie darin, das aufgeschmolzene thermoelektrische Material zu verdünnen, ein Prozess, der großtechnisch für viele Materialien bereits beherrscht wird. Nachdem in der Versuchsanlage bereits Bleitellurid synthetisiert und auch dotiertes Bleitellurid zu Pulver verdüst werden konnte, besteht die derzeitige Herausforderung für die DLR-Mitarbeiter darin, die Verdüfung von Skutterudit-Material in guter Qualität zu etablieren. Dieser Prozess soll in weiteren Schritten hinsichtlich der Materialqualität optimiert werden, um die Grundlage für eine industrielle Herstellung großer Mengen thermoelektrischen Pulvers zu schaffen. Mit Unterstützung des DLR-Technologiemarketing wird nun der Transfer dieser Technologie vorbereitet. Mit einem europäischen Industriepartner werden intensive Gespräche zu einer Aufskalierung der Technologie für eine Pilotfertigung geführt. Die erzielten Fortschritte lassen die Forscher des DLR hoffen, einen maßgeblichen Beitrag zur Etablierung thermoelektrischer Systeme zu leisten. Das würde Kraftfahrzeuge effizienter machen, weil deren überschüssige Wärme genutzt wird. ●



Autor:

Reinhard Sottong arbeitet in der Abteilung Thermoelektrische Materialien und Systeme des Instituts für Werkstoff-Forschung im DLR Köln. Thermoelektrische Generatoren für Kraftfahrzeuge sind Thema der Dissertation des Physikers.

Weitere Informationen:
www.DLR.de/WF



In Tausendsteln einer Sekunde

Schadstoffarm, flexibel und dabei absolut zuverlässig – das sind Anforderungen, die ein modernes Gasturbinen-Kraftwerk erfüllen muss. Ein Problem dabei ist die sogenannte Selbstzündung in Gasturbinen-Brennkammern, also die spontane Zündung von Brennstoff in Luft, ohne eine externe Zündquelle. Unkontrollierte Selbstzündung kann schlimmstenfalls zum Totalausfall einer Anlage führen. Ein besonders kritischer, da zündfreudiger, Brennstoff ist Wasserstoff, der vor allem in alternativen Brennstoffen, wie sie etwa bei der Biomassevergasung gewonnen werden, vorkommt. Um auch solche Brennstoffe sicher in modernen, schadstoffarmen Gasturbinen einzusetzen zu können, wollen Wissenschaftler im Stuttgarter DLR-Institut für Verbrennungstechnik die Selbstzündung besser verstehen.

Dem Phänomen der Selbstzündung auf der Spur

Von Christoph Arndt und Julia Fleck

Es ist ein komplexer Ablauf, der sich hinter dem zunächst einfach anmutenden Begriff „Selbstzündung“ verbirgt: Ohne eine externe Zündquelle entzündet sich ein Gemisch aus Brennstoff und Sauerstoff spontan. Obwohl nicht vordergründig sichtbar, spielt die Selbstzündung in vielen Verbrennungssystemen, die uns im Alltag begegnen, eine Rolle. Da sind zunächst die Verbrennungsmotoren: Beim Dieselmotor wird die Verbrennung allein durch Selbstzündung des Diesel-Luft-Gemischs initiiert. Bei Neuentwicklungen wie der HCCI-Technologie (Homogeneous Charge Compression Ignition, deutsch: Homogene Kompressionszündung), verspricht die Selbstzündung eines homogenen Kraftstoff-Luft-Gemischs im Zylinder einen extrem niedrigen Schadstoffausstoß. Aber auch in Gasturbinen, wie sie etwa zur Stromerzeugung in Großkraftwerken zum Einsatz kommen, ist dieses Phänomen von großer Bedeutung.

Das Herz einer Gasturbine ist ihre Brennkammer. Moderne Verbrennungskonzepte nutzen die Selbstzündung gezielt aus, um eine effiziente Verbrennung mit extrem geringem Schadstoffausstoß zu realisieren. Ein Beispiel ist das FLOX®-Konzept für Gasturbinen, das am DLR-Institut für Verbrennungstechnik optimiert wird. Hier entzündet ein rezirkulierender heißer Abgasstrom kontinuierlich das nachströmende Brennstoff-Luft-Gemisch und

erhält so die Verbrennung aufrecht. An anderer Stelle kann die Selbstzündung auch zerstörerisch wirken, insbesondere bei den heutzutage eingesetzten „mager-vorgemischten“ Gasturbinen-Brennkammern. Hier werden zunächst der Brennstoff und die Luft in einer sogenannten Vormischzone möglichst homogen vermischt, was in der darauffolgenden Brennkammer eine besonders schadstoffarme Verbrennung begünstigt. Doch wenn der Brennstoff schon während dieser Vormischung zündet, kann es zur Beschädigung und schlimmstenfalls zum Totalausfall der Anlage kommen.

Wasserstoff – ein Gas mit Power

Die Gefahr einer ungewollten, zerstörerischen Selbstzündung steigt insbesondere mit dem Einsatz wasserstoffhaltiger Brennstoffe. Denn Wasserstoff ist besonders zündfreudig. Dieses Gas ist häufig Bestandteil alternativer Brennstoffe, wie sie beispielsweise aus der Kohle- oder Biomassevergasung gewonnen werden. Aber auch bei dem innovativen Ansatz „Power to Gas“ ist Wasserstoff im Spiel. Hier läuft der Prozess mit Hilfe von Wasser und Strom über die sogenannte Elektrolyse ab. Große Mengen Strom oder Stromspitzen aus erneuerbaren Energien lassen sich in Form von Wasserstoff langfristig speichern. Der Wasserstoff ist dann als Brennstoff auch für Gasturbinen verfügbar.

Um die Selbstzündung in technischen Systemen kontrollieren zu können, ist das Phänomen der Selbstzündung zunächst im Detail zu verstehen. Das umfasst grundlegende Fragestellungen, zum Beispiel die Zeitspanne, innerhalb der die Zündung auftritt. Die Zeit, die von der Bildung eines zündfähigen Gemischs bis zur eigentlichen Zündung, also dem Beginn der chemischen Verbrennungsreaktionen, vergeht, ist die sogenannte Zündverzugszeit. Um ungewollte Selbstzündung in einer Brennkammer-Vormischzone zu vermeiden, muss diese Zündverzugszeit unter allen Umständen länger sein als die Aufenthaltszeit des zündfähigen Brennstoff-Luft-Gemischs in der Vormischzone. Da die Zündverzugszeit stark vom Brennstoff, von der Temperatur und vom Druck abhängt, ist die Kenntnis dieser Einflüsse für das Design

DEFINITION

„Die Selbstzündung ist ein spontaner Prozess, wobei ein brennbares Gemisch eine chemische Reaktion durchläuft, die zu einer schnellen Freisetzung von Energie führt – bei einer Rate, die hoch genug ist, um eine Verbrennung ohne externe Energiequelle wie eine Flamme oder einen Zündfunken aufrechtzuerhalten.“
Übersetzt nach Spadaccini und Colket, 1994

von Gasturbinen-Brennkammern von großer Bedeutung. Aber auch die Strömung innerhalb des technischen Systems spielt eine Rolle. Dieses komplexe Zusammenspiel verschiedener Parameter macht die Selbstzündung schwer vorhersagbar.

Damit in Zukunft präzisere Vorhersagen möglich werden, nähern sich Wissenschaftler am DLR-Institut für Verbrennungstechnik in Stuttgart dem Phänomen von mehreren Seiten. Sie untersuchen sowohl die Grundlagen im Laborexperiment als auch das Verhalten unter realitätsnahen Bedingungen in einem Hochdruckbrennkammer-Prüfstand. Die Ergebnisse dienen zum einen dazu, Kriterien für die Auslegung brennstoffflexibler, emissionsarmer Gasturbinen zu erarbeiten. Zum anderen können sie als Vergleichsdaten für die Computersimulation herangezogen werden, um später auch am Rechner Vorhersagen treffen zu können – ohne das aufwändige und teure Experiment.

Beobachtung mit Hochgeschwindigkeitskameras

Allen Untersuchungen ist gemeinsam, dass eine sehr hohe zeitliche Auflösung erforderlich ist, um Erkenntnisse über die Entwicklung des hochdynamischen Prozesses zu gewinnen. Denn von der Entstehung eines zündfähigen Gemischs bis zum ersten Zündkern (wie man das erste Auftreten einer Verbrennungsreaktion in diesem Falle nennt) hin zu einer vollständig entwickelten Flamme vergehen nur wenige Millisekunden, also nur Tausendstel einer Sekunde. Zum Vergleich: Ein menschlicher Lidschlag benötigt immerhin einige hundert Millisekunden. Auf der messtechnischen Seite kommen daher Hochgeschwindig-

keitskameras mit einer zeitlichen Auflösung von bis zu 30.000 Bildern pro Sekunde zum Einsatz, um die Zündentwicklung optisch verfolgen zu können. Aus diesen Messungen lassen sich viele wichtige Informationen gewinnen: Wo entsteht der Zündkern bevorzugt und wie stark schwankt sein Entstehungsort? Wie entwickelt er sich zeitlich und räumlich und wie lange dauert es vom ersten Erscheinen des Zündkerns bis zur vollständig entwickelten Flamme?

Am Labor-Brenner lässt sich der Einfluss bestimmter Parameter bei Umgebungsdruck und unter wohl definierten Randbedingungen durch weitere, komplexe optische und laserbasierte Messtechnik präzise untersuchen. Nach Brennstoffzugabe kann man mit einer Kamera, die mit einem speziellen Filter versehen ist, das sogenannte Eigenleuchten der Flamme, das für das menschliche Auge unsichtbar ist, im ultravioletten Wellenlängenbereich detektieren.

Das Eigenleuchten wird von einem bestimmten Molekül ausgesandt, das nur in der Reaktionszone, also in der eigentlichen Flamme vorkommt. Dies lässt Aussagen darüber zu, wie groß der Flammenkern bei seiner Entstehung ist. Die genauere Form eines Flammenkerns lässt sich durch die Beobachtung von laserinduzierter Fluoreszenz bestimmen. Hierbei regt ein Laser-Lichtschnitt, der in die Flamme eingekoppelt wird, eine bestimmte Molekülsorte in der Flamme zum Leuchten an. Diese gibt daraufhin ihrerseits Strahlung im ultravioletten Wellenlängenbereich ab und mittels einer Kamera erhält man dann ein Schnittbild durch den Zündkern.

Selbstzündungstests unter wirklichkeitsnahen Bedingungen

Um nun die Selbstzündung unter dem komplexen Zusammenspiel vieler Parameter testen zu können, steht in Stuttgart der Hochdruckbrennkammer-Prüfstand (HBK-S) zur Verfügung. Hier können Selbstzündtests unter technisch relevanten Bedingungen durchgeführt werden, das bedeutet unter hohen Drücken, Temperaturen, bei entsprechenden Gaszusammensetzungen und ähnlicher Strömung wie in einer realen Gasturbine. Die Bedingungen decken den Betriebsbereich ab, der für das sogenannte Reheat-Konzept von Bedeutung ist. Dieses Konzept setzt die Firma Alstom mit Erdgas als Brennstoff erfolgreich in ihrer größten Gasturbinen-Familie in Kraftwerken ein.

Nun ist das Bestreben, diese Gasturbine für zukünftige wasserstofffreie Brennstoffe zu rüsten. Um ein grundlegendes Verständnis des Selbstzündprozesses von Wasserstoff unter diesen Bedingungen zu erlangen und Design-Parameter zu erarbeiten, kommt für die Wasserstoff-Selbstzündtests eine geometrisch verkleinerte, optisch zugängliche Reheat-Brennkammer zum Einsatz. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass die Brennkammer unter bestimmten Bedingungen durchaus mit Wasserstoff betrieben werden kann, und lassen Rückschlüsse zu, inwiefern hierfür das Design zu optimieren ist.

Ob Untersuchungen im Labor oder am Hochdruckbrennkammer-Prüfstand, die Ergebnisse beider Untersuchungen fließen am Institut für Verbrennungstechnik in die Computersimulation ein. Hier ist das Ziel, den äußerst komplexen Prozess aus den

Experimenten möglichst präzise nachzurechnen. Langfristig könnten Vorhersagen am Computer eventuell aufwändige und teure Experimente ersetzen. Eine wesentliche Herausforderung hierbei ist die Abbildung des komplexen Zusammenspiels der Strömung und der Chemie, wobei Letztere schließlich für die chemischen Verbrennungsreaktionen verantwortlich ist.

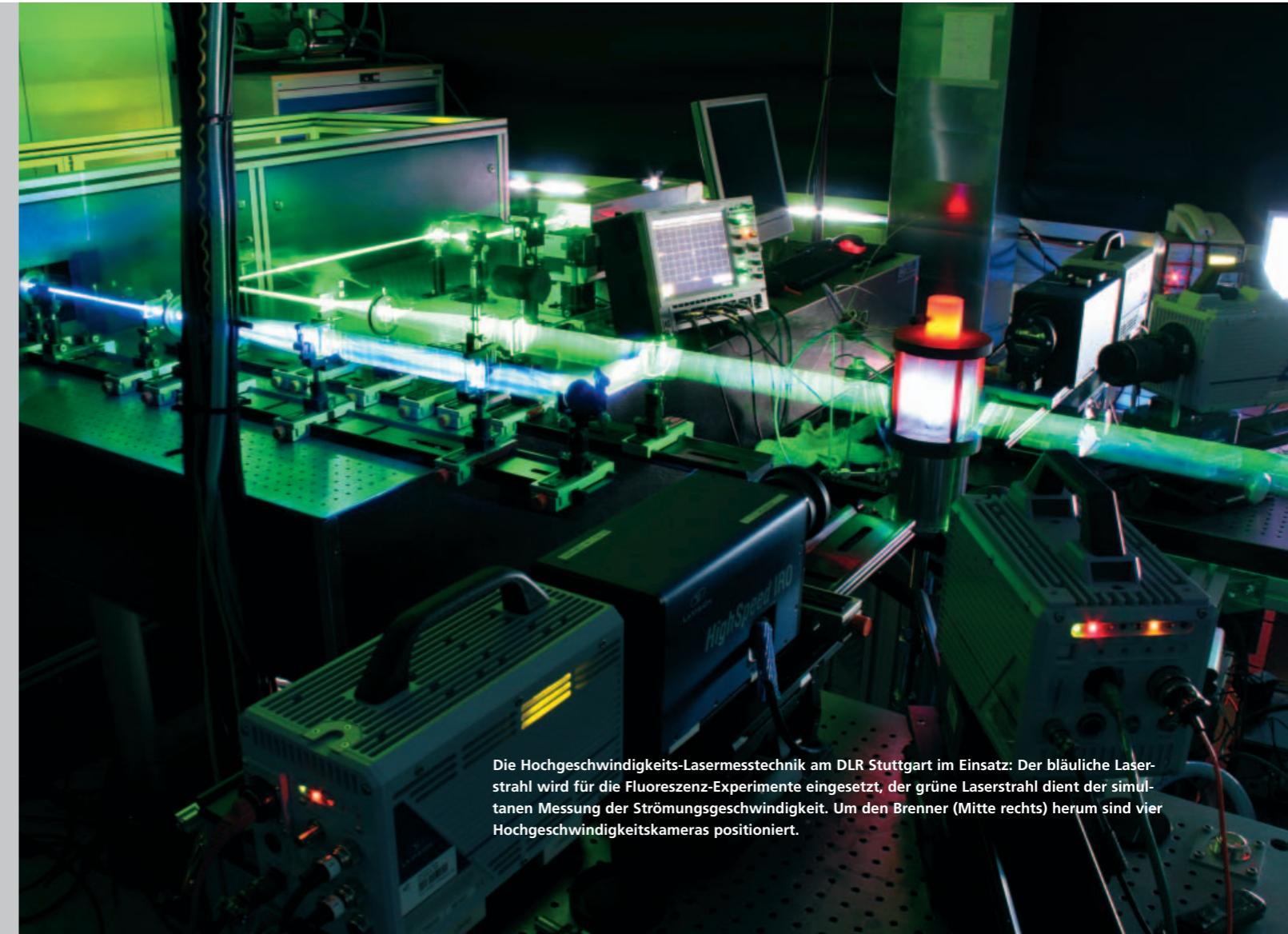
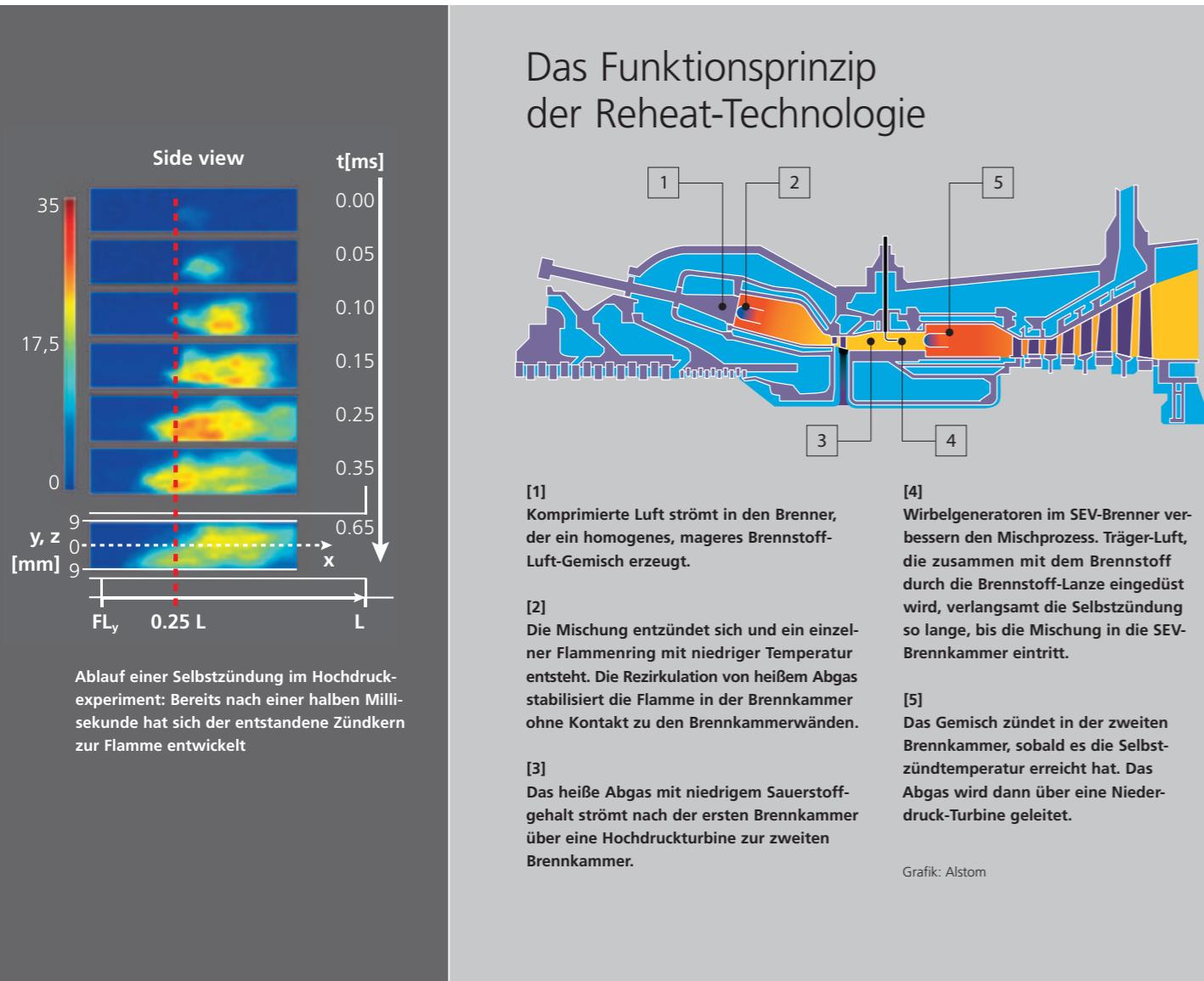
Alles in allem hat die umfassende Herangehensweise aus grundlagen- und anwendungsorientierten Experimenten und Computersimulation bereits zu einem besseren Verständnis der Selbstzündung beigetragen. Die Fülle an Einflussgrößen auf das Phänomen und deren komplexes Zusammenspiel wird allerdings auch weiterhin ein ergiebiges Forschungsfeld bleiben, in dem es noch einiges zu entdecken gilt – schon wenn sich typische Betriebsparameter ändern oder weitere Brennstoffe zum Einsatz kommen sollen. Doch der Weg ist gebahnt, moderne Kraftwerke auch mit neuartigen Brennstoffen zuverlässig, effizient und schadstoffarm zu betreiben. •

Autoren:

Dipl.-Phys. Christoph Arndt und Dipl.-Ing. Julia Fleck bearbeiten im DLR-Institut für Verbrennungstechnik in Stuttgart das Thema Selbstzündung, jeweils im Labor-Experiment und am Hochdruckbrennkammer-Prüfstand.

Weitere Informationen:

www.DLR.de/VT





Fliegen mit der Sonne

Das Reisen mit dem Flugzeug ist aus dem alltäglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Doch Flugreisen hängen, wie ein großer Teil des zunehmenden Energieverbrauchs der wachsenden Weltbevölkerung, von fossilen Brennstoffen ab. Doch die Ressourcen fossiler Brennstoffe sind nicht nur begrenzt, ihr Verbrauch wirkt sich auch negativ auf die Umwelt und das Klima aus. Aus Sonnenstrahlung gewonnene Energie könnte eine Option sein. Solarkollektoren sind heutzutage zwar schon auf vielen Häusern als Quelle thermischer und elektrischer Energie angebracht, ihr Einsatz für mobile Anwendungen ist jedoch weit anspruchsvoller. Kann ein rein solarbetriebenes Flugzeug realisiert werden?

DLR-Know-how für Rekordflug mit solarbetriebenem Flugzeug

Von Marc Böswald und Martin Hepperle

Solar Impulse did it! Seit 2003 arbeitet ein Team von kreativen Maschinenbauern und Elektrotechnikern, Physikern, IT-Experten, Aerodynamikern und Werkstoffspezialisten an der Entwicklung und Konstruktion dieses innovativen Flugzeugs, das beinahe ununterbrochen fliegen kann. Unterstützt wurde dieses Kernteam von externen Experten, darunter Ingenieure und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik sowie des DLR-Instituts für Aeroelastik.

Die Energiemenge, die auf Flächen mit Solarzellen verfügbare gemacht werden kann, ist im Vergleich zu der Energie, die für die Bewegung eines Fahrzeugs oder auch eines Flugzeugs benötigt wird, gering. Aufgrund des hohen Energiebedarfs eines Flugzeugs und des relativ niedrigen Wirkungsgrads der Umwandlung von Licht in elektrische Energie sind deshalb große Solarzellenflächen, also große Tragflächen notwendig. Wenn ein solarbetriebenes Flugzeug darüber hinaus Tag und Nacht ununterbrochen fliegen soll, wird das für die Entwickler zu einer noch größeren Herausforderung. Denn dann muss das System am Tag ausreichend Energie zum Fliegen erzeugen können und gleichzeitig Energie für die Nacht speichern.

Ein von Bertrand Piccard und André Borschberg geleitetes Schweizer Team hat diese Herausforderung mit zwei Hauptzielen

angenommen: Sie wollen zeigen, wie nachhaltige Entwicklungen und alternative Energiequellen im täglichen Leben zur Verringerung unserer Abhängigkeit von fossilen Energieträgern eingesetzt werden können. Und sie wollen mit dem Missionsflugzeug HB-SIB, das derzeit gebaut wird, etappenweise um die Erde fliegen. Am 8. Juli 2010 gelang mit dem Prototypen HB-SIA zum ersten Mal in der Geschichte der bemannten Luftfahrt ein 26-stündiger Tag- und Nachtflug, für den ausschließlich Solarenergie aufgewendet wurde. Dieser Flug war der erfolgreiche Abschluss der Anfangsphase des Solar Impulse-Projekts. Er bewies das enorme Potenzial neuer Technologien zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien. Seitdem führte das Team weitere Flüge über immer größere Strecken zu Orten wie Brüssel, Paris, Madrid und Marokko durch.

An Flugzeugkonstruktionen werden hohe Anforderungen gestellt. Funktionsbedingt zeichnen sie sich durch extremen Leichtbau aus, der zu weiteren, zum Teil unerwünschten Erscheinungen führen kann: Neigung zu Schwingungen und großen elastischen Deformationen, beispielsweise bei Turbulenzen, beim Durchfliegen von Böen und bei plötzlich eingeleiteten Flugmanövern. Der HB-SIA-Prototyp mit einer Flügelspannweite von 63 Metern und dem Gewicht eines Mittelklassewagens stellte das Team vor völlig neue bautechnische und aerodynamische Fragen. Der kohlefaser verstärkte Aufbau, Antriebsstrang, Flugbereich und Geräteausstattung – alles musste neu entwickelt und entworfen werden, um Energie zu sparen, damit Materialien und Pilot die ungünstigen Bedingungen in großer Höhe überstehen und um die Beschränkungen bezüglich des Gewichts gegen die Festigkeitsanforderungen abzuwegen. Die Herausforderungen wuchsen in ungeahnte Höhen.

Der Erfolg dieses Projekts hängt stark davon ab, dass optimale Lösungen in sämtlichen Teilbereichen der Flugzeugkonstruktion – ob Aerodynamik, Aufbau oder Antrieb – gefunden werden, die häufig bis an die von der derzeitigen Technologie gesetzten Grenzen gehen. Der Schlüssel bei derartigen Entwicklungen ist jedoch das Finden der besten Kompromisse. Dazu ist die Effizienz einzelner Untersysteme abzuwagen, um zur günstigsten Gesamtlösung zu gelangen. Dabei müssen die Standards in Bezug auf Lufttüchtigkeit und Sicherheit eingehalten werden. Nach numerischen Analysen während der Entwicklung muss sich die Aufbaukonstruktion schlussendlich bei Belastungs- und Schwingungstests bewähren. In den letzten Jahren hat das DLR diese Aufgaben mit spezifischen Aktivitäten unterstützt.

HB-SIA – Technisches Datenblatt

Spannweite	63,40 Meter
Länge	21,85 Meter
Höhe	6,40 Meter
Antrieb	4 x 10 HP Elektromotoren
Solarzellen	11.628 (10.748 an der Tragfläche, 880 an den horizontalen Höhenflossen)
Gewicht	1.600 Kilogramm
Durchschnittsfluggeschwindigkeit	70 Stundenkilometer
Startgeschwindigkeit	44 Stundenkilometer
Mindestauftriebsgeschwindigkeit	35 Stundenkilometer
Flughöhe	maximal 8.500 Meter

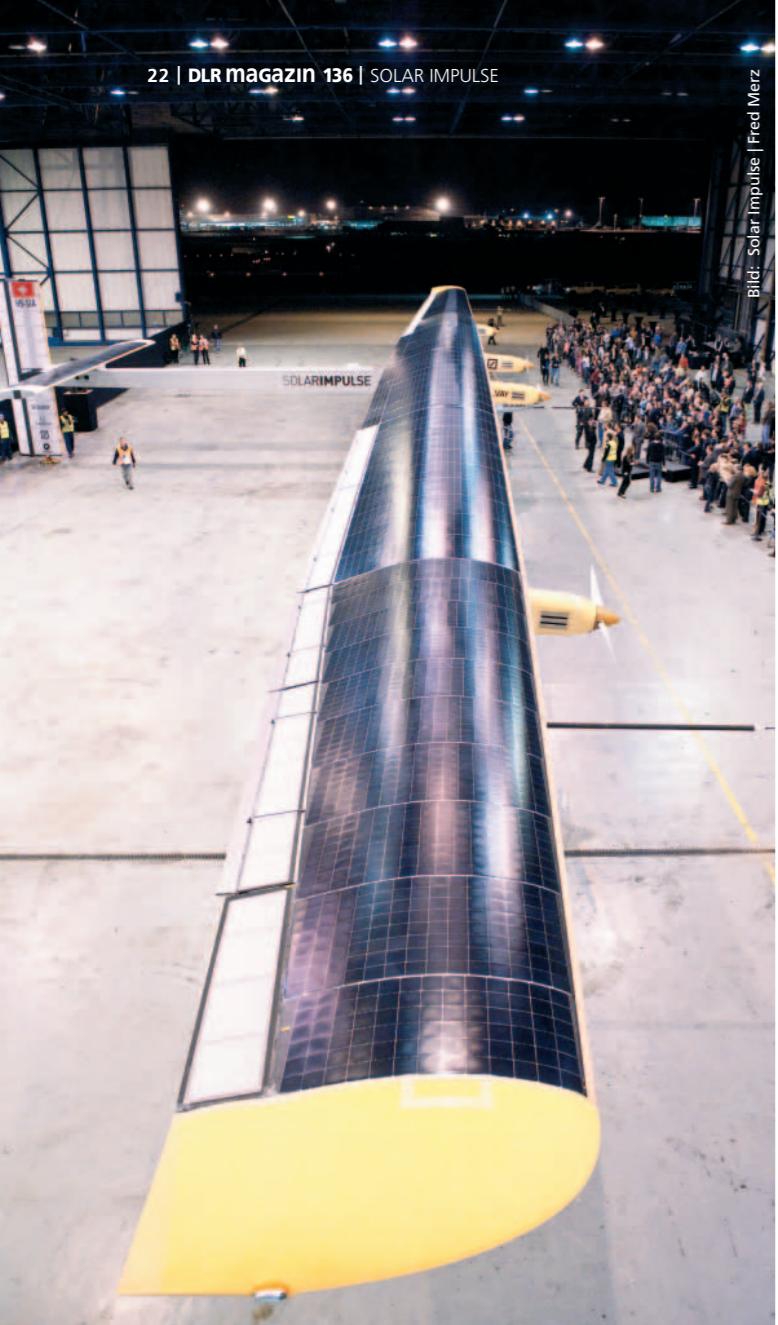


Bild: Solar Impulse | Fred Merz

Das Design des HB-SIA orientiert sich stark an der aerodynamischen Ausführung. Ein derartiges energieeffizientes Hochleistungsflugzeug muss mit langen und schmalen Tragflächen ausgestattet sein, damit der Luftwiderstand minimiert und der Auftrieb maximiert wird. Außerdem sind effiziente Propeller und eine optimale Integration des Antriebssystems in den Gesamtaufbau sowie die Gestaltung und Integration des Leitwerks entscheidend.

Hochkomplexe Simulationen

Das DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik setzte seinen CFD-Simulationscode (Computational Fluid Dynamics, numerische Strömungsmechanik) TAU ein, um die Entwicklung der Flugsteuerung zu unterstützen und die aerodynamische Performance zu bewerten. Diese Computersimulationen ermöglichen die Berechnung von Kräften und Momenten durch Lösen der nichtlinearen Navier-Stokes-Gleichungen der Strömungsmechanik und wurden auf dem größten deutschen Computercluster ausgeführt, der ausschließlich für Anwendungen der Luft- und Raumfahrt genutzt wird. Das Center for Computer Applications in AeroSpace Science and Engineering C²A²S²E in Braunschweig verfügt über 8.000 Prozessorkerne und ermöglicht eine effiziente Analyse der komplexen Strömungsfelder.

Vor derartigen Analysen muss ein detailliertes Computermodell der Flugzeugform erstellt werden. Danach wird die Luft um das Flugzeug in kleinvolmige Zellen aufgeteilt, die gemeinsam ein feines dreidimensionales Gitter bilden. Schließlich werden die Strömungsgleichungen in jeder der mehr als 20 Millionen Zellen gelöst, um die lokale Strömungsgeschwindigkeit, den Druck sowie die Auftriebs- und Widerstandskräfte zu berechnen, die auf das Flugzeug ausgeübt werden. Anhand der Ergebnisse können die Entwickler das gesamte Strömungsfeld um das Flugzeug untersuchen und lokale Probleme wie Grenzschichtablösung identifizieren.

Die große Spannweite der schmalen Tragflächen erwies sich als anspruchsvoller Testfall für den Einsatz des TAU-Codes, der sonst zur Entwicklung und Analyse großer Passagierflugzeuge und Raumfahrzeuge genutzt wird. Im Jahr 2009 wurden zur Validierung der aerodynamischen Datenbank und zur Berechnung der zulässigen Flugbedingungen erste Analysen des Prototyps durchgeführt. Mit Hilfe des CFD-Codes wurden die Form der Triebwerksgondeln und ihre Integration optimiert. Die gewonnenen Daten wurden 2011 zur Bewertung unterschiedlicher Rumpfformen und Leitwerkkonfigurationen des Missionenflugzeugs HB-SIB erneut verwertet.

Eines der wichtigsten Merkmale des Aufbaus von Flugzeugen ist ihre leichte Bauweise. Wie andere Strukturen mit geringem Gewicht sind Flugzeuge anfällig für Schwingungen. Bei einem Flugzeug treten diese Schwingungen als Folge von Böen, Turbulenzen und Flugmanövern auf. Entsprechend ihrer Anregung treten die Schwingungen in einer bestimmten Frequenz auf und führen zu einer charakteristischen Deformation, bevor sie abklingen und schließlich nach einigen Sekunden verschwinden. Aus diesem Grund ist eine Analyse der Schwingungen und Deformationen elastischer Aufbauten, die mit einem sie umgebenden aerodynamischen Strömungsfeld wechselwirken, notwendig.

Standschwingungsversuche am Prototyp

Die Beschreibung von Schwingungen von Strukturen erfolgt durch modale Parameter. Diese umfassen Eigenfrequenzen, Eigenschwingungsformen, Dämpfungsgrade – ein Maß für die Dauer des Abklingens von Schwingungen und eine Größe, die die Amplitude der Schwingungen begrenzt – und generalisierte Massen. Die meisten dieser Parameter können mit numerischen Simulationsmodellen berechnet werden, der Dämpfungsgrad kann jedoch nur experimentell mit einem Standschwingungsversuch ermittelt werden. Dieser wird in einer sehr späten Entwicklungsphase eines

Solarzellen auf den Tragflächen von Solar Impulse



Anbringen eines Schwingungserregers

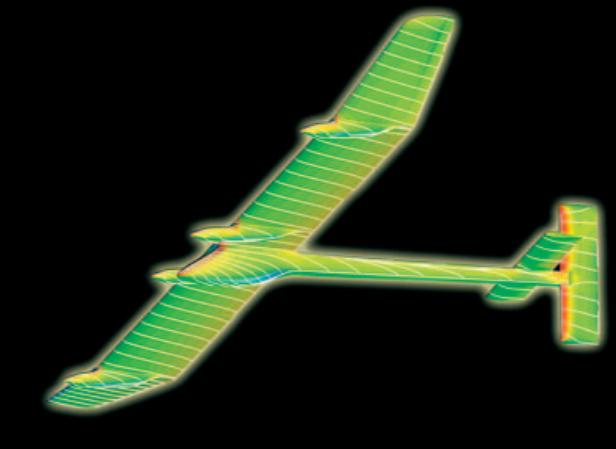
Flugzeugs durchgeführt, wenn der Prototyp vollständig aufgebaut und bereit für den ersten Flug ist.

Anders als die Flugzeugschwingungen am Boden kann das umgebende Strömungsfeld beim Flug die Schwingungscharakteristiken beeinträchtigen. Anders ausgedrückt: Eigenfrequenzen und Dämpfungsgrade können sich mit der Fluggeschwindigkeit und der Flughöhe ändern. Der Dämpfungsgrad von Eigenschwingungsformen kann sich bei einer höheren Fluggeschwindigkeit verringern, sodass Schwingungsamplituden größer werden oder länger auftreten können. Eine kritische Fluggeschwindigkeit liegt vor, wenn der Dämpfungsgrad einer bestimmten Eigenschwingungsform verschwindet – erhöht sich die Fluggeschwindigkeit weiter, so kann der Dämpfungsgrad sogar negativ werden. In diesem Fall wird eine Schwingung nach der Anregung nicht gedämpft, sondern verstärkt – und die Amplitude wird vergrößert. Dieses aeroelastische Phänomen wird als „Flattern“ bezeichnet. Eine sorgfältige Analyse, die das mögliche Auftreten von Flattern aufzeigen soll, ist von der Zertifizierungsbehörde für die Erteilung einer Fluggenehmigung vorgeschrieben. Dabei muss vor dem ersten Flug nachgewiesen werden, dass dieses Phänomen bei keiner der möglichen Kombinationen aus Fluggeschwindigkeit und Flughöhe (sowie unterschiedlichen Ladegewichten) auftritt, die laut Flugbereich des Flugzeugs zulässig sind.

Im Jahr 2009 führte das DLR-Institut für Aeroelastik in Göttingen zwei Standschwingungsversuchsreihen durch, um die aeroelastische Stabilität des Solar Impulse-Prototyps zu belegen. Bei einem Standschwingungsversuch wird das Flugzeug an verschiedenen Stellen, wie den Triebwerksgondeln, den Tragflächen und dem Rumpf, kontrolliert in Schwingung versetzt. Dazu werden elektrodynamische Schwingungserreger am Aufbau angebracht. Die auf den Aufbau ausgeübten Anregungskräfte werden mit Hilfe einer vom Testteam bedienten Software kontrolliert. Da sich Solar Impulse erheblich von üblichen Transportflugzeugen ähnlicher Größe unterscheidet, wurden zwei Standschwingungsversuchsreihen durchgeführt. Bei der ersten einwöchigen Versuchsreihe im Dezember 2008 wurde nur der primäre Aufbau (die lasttragenden Elemente) untersucht. 80 Beschleunigungsmesser wurden angebracht, um die Schwingungen des Flügelkastens, der Triebwerksgondeln, des Rumpfes und der Hohlkästen der horizontalen und vertikalen Heckoberflächen zu registrieren. Ziel dieser Tests war es, experimentelle Daten (modale Parameter) für die Kalibrierung des numerischen Simulationsmodells des primären Aufbaus zu gewinnen.

Eine zweite zweiwöchige Standschwingungsversuchsreihe wurde im Januar 2010 mit dem vollständig aufgebauten Prototypen durchgeführt, um nachzuweisen, dass die entsprechenden Zertifizierungsanforderungen für eine Fluggenehmigung erfüllt werden. Bei diesen Versuchen wurden die komplexen dynamischen Schwingungen des Flugzeugaufbaus und der Steuerung mit Hilfe von 160 Beschleunigungsmessern analysiert.

Mit den modalen Parametern, die bei den Standschwingungsversuchen gewonnen wurden, kann die Schwingungsantwort des Flugzeugs in anderen Anregungsszenarien berechnet werden. Im Falle des Solar Impulse-Projekts wurden die am Boden gemessenen modalen Parameter mit entsprechenden Ergebnissen einer numerischen Simulation verglichen. Bei Abweichungen der experimentellen Daten von den Simulationsergebnissen konnte das numerische Modell so angepasst werden, dass es die bei den Standschwingungsversuchen experimentell gewonnenen modalen Parameter reproduzierten konnte. Dieses Verfahren wird als „Model Updating“ bezeichnet. Nach dem Model Updating können alle folgenden numerischen Simulationen mit einer höheren Zuverlässigkeit der Ergebnisse durchgeführt werden. Mit Hilfe der gewonnenen modalen Parameter führte das Schweizer Ingenieurbüro AeroFeM GmbH eine Flatterschwingungsanalyse durch.



Druckverteilung mit Stromlinien an der Oberfläche des Solar Impulse-Prototyps

Die extreme Leichtbauweise von Solar Impulse stellte das für die Standschwingungsversuchsreihen verantwortliche Team vor einige Probleme. Eine der größten Schwierigkeiten war die Masse der umgebenden Luft. Wenn eine Struktur schwingt, induziert sie Schwingungen der umgebenden Luft. Im Falle von Solar Impulse ist die Masse der schwingenden umgebenden Luft im Vergleich zur Masse der Struktur nicht gering. Dies kann zu falschen experimentell ermittelten modalen Parametern führen. Da eine Evakuierung der Luft aus dem Hangar selbstverständlich nicht möglich war, wurde der Einfluss der umgebenden Luft auf die modalen Parameter mit Hilfe einer numerischen Simulation ermittelt.

Kleine Kräfte und deutliche Beschleunigungsantworten

Eine weitere Schwierigkeit stellte die Schwingungsanregung dar. Es war nicht möglich, durch die Analyse von Vortesten die zur Anregung des Flugzeugs bei den Standschwingungsversuchen am besten geeigneten Punkte zu ermitteln, da nur wenige Punkte des Aufbaus für konzentrierte Belastungen ausgelegt sind. Daher mussten alle modalen Parameter mit nur wenigen Anregungspunkten identifiziert werden. Darüber hinaus waren die ausgeübten Kräfte sehr klein. Da der Aufbau besonders leicht ist, können sehr kleine Kräfte erhebliche Beschleunigungsantworten hervorrufen. Dies stellt sowohl bei der Anregung als auch bei der Messung der Anregungskräfte ein großes Problem dar.

Im Rückblick waren eine einjährige Untersuchungs-, eine vierjährige Entwicklungs-, eine zweijährige Konstruktions- und eine einjährige Prüfungsphase erforderlich, bevor der HB-SIA-Prototyp mit dem ersten solarbetriebenen Nachtflug in der Geschichte der bemannten Luftfahrt Realität wurde. Die mit dem Prototypen gewonnenen Erkenntnisse fließen nun in die Entwicklung des zweiten Flugzeugs HB-SIB ein, das bereits 2014 um die Erde fliegen soll. Das DLR verfolgt den Fortschritt des Projekts mit und bietet seine Expertise an. Sisi, wie HB-SIA genannt wird, wird also weiterhin ein allein von der Sonne angetriebener Protagonist so mancher Premiere in der Geschichte der Luftfahrt sein. ●

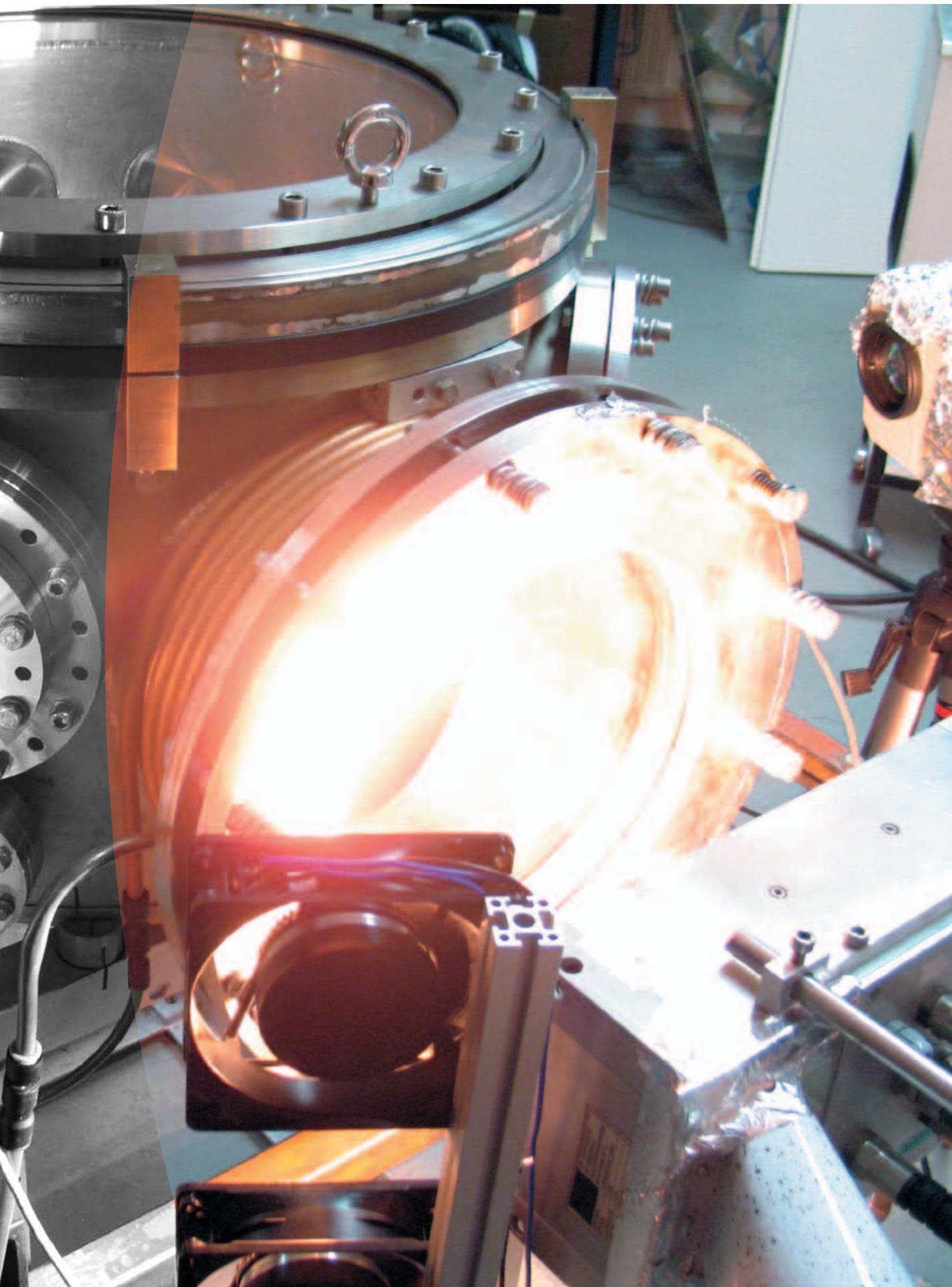
Autoren:

Marc Böswald ist kommissarischer Leiter der Abteilung für Strukturdynamik und aeroelastische Systemidentifikation am DLR-Institut für Aeroelastik in Göttingen.

Martin Hepperle arbeitet an der Entwurfs- und Konfigurationsaerodynamik von Flugzeugen am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Braunschweig.

Weitere Informationen:

www.solarimpulse.com
<http://s.DLR.de/4p3>



Ein Stück Kosmos vor der Haustür

Wenn die große Vakuumkammer aus dem Keller des Sonnenofengebäudes in den Experimentalbereich geschoben wird, steht ein ganz besonderes Experiment an. Dann sind nicht Fragestellungen aus dem Bereich der erneuerbaren Energien das Thema. Es geht um Weltraumforschung. Denn seit zehn Jahren werden am Sonnenofen des DLR in Köln und seit 2007 auch am Hochleistungsstrahler Komponenten für die Raumfahrt getestet. Die Idee liegt eigentlich nahe: Wenn Bauteile auf ihr Verhalten unter kosmischen Bedingungen hin untersucht werden sollen, dann bietet es sich an, die Sonne als Energiequelle zu nutzen, anstatt fossile Quellen oder Lampen-Arrays zu bemühen. Bei Tests solcher Einzelteile wie Fotozellen, Isolierschichten oder Schutzplatten geht es meistens um die Widerstandsfähigkeit gegenüber harten und lang anhaltenden thermischen und ultravioletten Belastungen, wie sie im Weltraum auftreten. Die Kunden der DLR-Wissenschaftler sind europaweit agierende Hersteller von Satelliten, wie EADS Astrium in Toulouse, Alenia Thales Space oder auch die Europäische Weltraumorganisation ESA.

Weltraumexperimente im DLR-Sonnenofen

Von Dr.-Ing. Gerd Dibowski

Als vor mehr als zehn Jahren die Vakuumtechnik am Sonnenofen im DLR Köln Einzug hielt, hatten die DLR-Ingenieure eine Vision: Aus Kontakten zum Institut für Weltraumphysik entsprang die Idee, den Sonnenofen auch für Weltraumexperimente zu nutzen. Denn im Sonnenofen lassen sich relativ große Flächen mit hoher Bestrahlungsstärke beleuchten. Und noch ein Vorteil gegenüber Sonnensimulatoren: Es kann annähernd Sonnenspektrum bereitgestellt werden. Andere Raumsimulationsanlagen gestatten nur wenige Solarkonstanten (SC) an Bestrahlungsstärke und verwenden ausschließlich Lampen.

Das erste Weltraumexperiment geht auf eine Kooperation zwischen dem Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung des DLR und dem Institut für Mineralogie und Geochemie der Universität Köln zurück. Es hatte das Ziel, durch thermische Spaltung beziehungsweise Pyrolyse von Mondgestein (hier Chondren, also aus dem vor-planetarischen Sonnennebel entstandene Einschlüsse in Meteoriten) das Potenzial der Sauerstoffgewinnung zu untersuchen. Und in der Tat konnte gezeigt werden, dass sich das Material mit der konzentrierten Energie der Sonne aufschmelzen lässt.

Nachdem in einer kleineren Vakuumkammer die Möglichkeiten des Sonnenofens erfolgreich demonstriert worden waren, wurde eine deutlich größere Vakuumkammer von mehr als einem Meter Durchmesser beschafft und damit die Tür zu weiteren Weltraumexperimenten geöffnet.

Forschung mit Solarenergie

Seit der Inbetriebnahme des Sonnenofens im Jahre 1994 wurden insgesamt etwa 180 Experimente durchgeführt. Der Schwerpunkt lag dabei auf solarer Chemie und Materialforschung. Die Spaltung von Abfallschwefelsäure, das Rezyklieren von Abfall-Aluminium, die solare Produktion von Wasserstoff oder Kenntnisse über die Alterung von Autolacken sind typische Anwendungen für die Forschungsergebnisse aus dem Bereich der erneuerbaren Energien.

Fotzelle für Bepi Colombo im Härtetest:
Mit einem speziellen Infrarotstrahler wird sie im Vakuum hoher thermischer Belastung ausgesetzt

Tests für die Merkur-Mission Bepi Colombo

Dem Chondren-Sauerstoff-Experiment folgte die bisher umfangreichste Versuchsserie für mehrere unterschiedliche Komponenten der Raumsonde Bepi Colombo. Sie soll im Jahre 2015 zum sonnennächsten Planeten, Merkur, fliegen, um dort die geologischen, magnetischen und atmosphärischen Bedingungen zu untersuchen. Die besondere Herausforderung dieser Mission liegt darin, dass alle bisherigen interplanetarischen ESA-Missionen sonnenfern waren, also die Technik vor allem großer Kälte ausgesetzt war. Bepi Colombo ist die erste ESA-Mission, die einen Satelliten in heiße Regionen bringt. Ist der Planet Merkur erreicht, wird die der Sonne zugewandte Seite des Satelliten

Testanlage für Extrembelastungen

Mit dem Hochflussdichte-Sonnenofen und dem Xenon-Hochleistungsstrahler erproben DLR-Wissenschaftler neue Technologien. Dafür arbeiten sie mit konzentriertem Sonnen- und Kunstlicht, das Bestrahlungsstärken von bis zu fünf Megawatt pro Quadratmeter und Temperaturen von über 2.000 Grad Celsius möglich macht. Forscher und Anwender aus Wissenschaft und Industrie haben damit vielfältige Möglichkeiten, Verfahren, in denen konzentrierte Solarstrahlung technisch genutzt werden soll, zu entwickeln und zu qualifizieren. Dabei geht es insbesondere um die chemische Speicherung von Sonnenenergie sowie deren Anwendung in chemisch-technischen und metallurgischen Hochtemperaturprozessen.

extrem heiß und die Rückseite gleichzeitig extrem kalt. Die außen liegenden Komponenten des Raumflugkörpers müssen mit etwa dem Zehnfachen der terrestrischen Einstrahlung (10 SC) fertig werden. Diese hohen thermischen Belastungen lassen sich mit einem Sonnenofen hervorragend nachbilden. Auch wenn das Spektrum durch die atmosphärischen Einflüsse nicht mehr ganz dem am Merkur entspricht, so ist es doch näher an den Weltraumbedingungen als das Spektrum von Kunstlichtstrahlern, die in der Raumfahrtindustrie für solche Testzwecke bisher eingesetzt wurden.

Ein zweiter Fakt, der von der Raumfahrtindustrie geschätzt wird, ist die für Einzelteile von Raumflugkörpern vorteilhafte Größe des Sonnenofens. Für Tests einzelner Komponenten eine Vakuumkammer und dazugehörigen Service anzumieten, in der auch ein ganzer Satellit vollständig Platz findet (wie den Large Space Simulator (LSS) des ESTEC Test Centers der ESA im niederländischen Noordwijk), geht mit erheblichen Kosten einher. Diese größte Vakuumkammer Europas mit einem Durchmesser von zehn und einer Bautiefe von 15 Metern ist für Langzeitstabilitätstests einzelner Fotozellen mit Kantenlängen von einigen Dezimetern schlicht überdimensioniert.

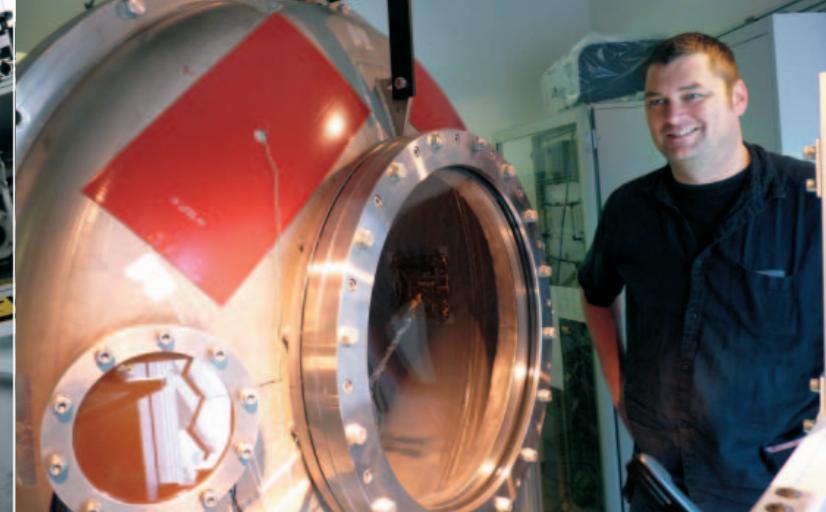
Der erste Auftrag für Bepi Colombo hatte das Ziel, thermische Tests an zwei verschiedenen Proben von Solarzellen-Strukturen durchzuführen, die bei der Mission zum Einsatz kommen sollen. Die Zellen sind 20 mal 20 Quadratzentimeter groß und müssen mit bis zu zehn Solarkonstanten (zehn SC entsprechen

Aufbau des Xenon-Hochleistungsstrahlers

Ein Kunstlicht-Hochleistungsstrahler auf Basis von elliptischen Reflektoren mit Xenon-Kurzbogenlampen ergänzt den Sonnenofen in Zeiten winterlichen Strahlungsmangos und für Langzeitexperimente. Die von den Reflektoren abgestrahlte kurzwellige Strahlung mit einer Leistung von etwa 25 Kilowatt wird auf einem Zielbereich im Abstand von drei Metern als konzentrierte Energie mit einer Leistungsdichte bis zu 4,1 Megawatt pro Quadratmeter auf einer 100 Quadratzentimeter großen Fläche für unterschiedlichste Anwendungen zur Verfügung gestellt.



Dipl.-Ing. Christian Willsch, hier vor einem Messaufbau für Strahlenflussmessgeräte, leitet den Betrieb des Sonnenofens

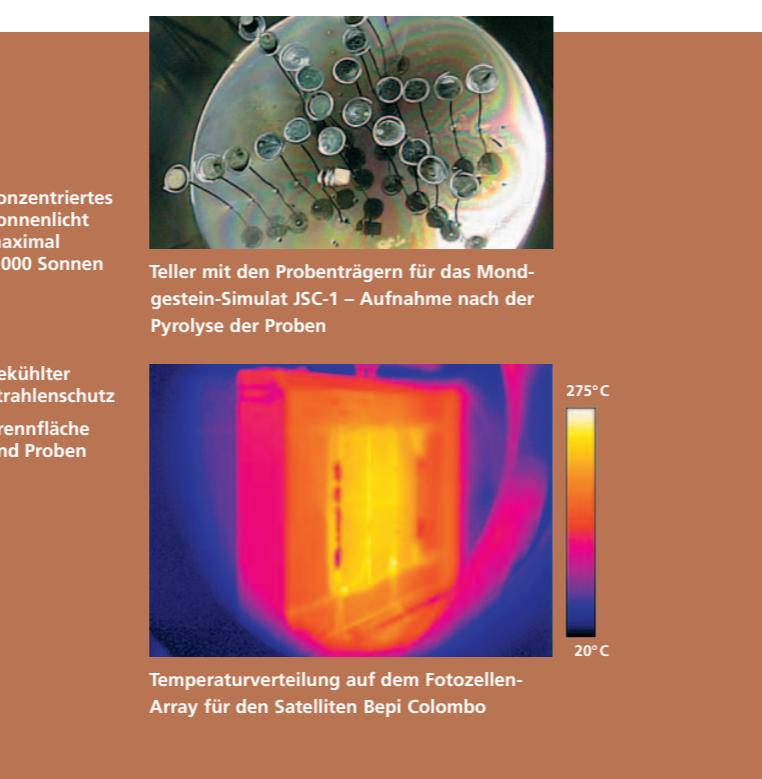


Dr. rer. nat. Christian Raeder an der großen Vakuumkammer. Durch deren rundes Quarzglasfenster tritt die Strahlung ein.

circa 14 Kilowatt je Quadratmeter), gemäß dem Merkur-Orbit, gleichmäßig bestrahlt werden. Dabei waren sowohl Dauertests wie auch Schocktests zu fahren. Im Zuge dieser Testserie wurden vom Sonnenofen-Team in Eigenregie Systeme entwickelt und gebaut, die helfen sollten, die späteren Bedingungen so realitätsnah wie möglich abzubilden. Dazu braucht man ein Kühl-System, das die extremen Temperaturunterschiede zwischen der Vorder- und Rückseite simuliert. Die DLR-Ingenieure des Sonnenofens entwickelten dafür ein System, mit dem die späteren realen Temperaturen an den Fotozellen von Bepi Colombo von bis zu minus 150 Grad Celsius simuliert werden konnten.

Langzeitbestrahlung von Fotozellen simulierte die Sonennähe

Für spezielle Test-Anforderungen sind die Rahmenbedingungen oft nicht so, dass die realen Verhältnisse im Versuch direkt abgebildet werden könnten. Daher wurde in den nun 18 Jahren Sonnenofenbetrieb immer wieder improvisiert, umgebaut, repariert und vor allem neu konstruiert. Für die Fotozellen-Tests entwickelten die Ingenieure einen Versuchsaufbau, in dem zwei gekühlte Hohlkammern sich symmetrisch zueinander öffnen, um die eingeschlossene Fotozellenanordnung langsam für die Bestrahlung freizugeben. Die Einheit verfügt über ein Kanalsystem, das mit flüssigem Stickstoff beschickt werden kann. Sensoren an der Pumpe sorgen dabei für ein konstantes Stickstoffniveau innerhalb der Kühleinheit.



Um die Tests so umfassend und sicher wie möglich zu gestalten, sollten nach dieser Testreihe die Belastungen der PV-Zelle für Bepi Colombo im optischen Randbereich des sichtbaren Spektrums untersucht werden. Hierfür bietet das System Sonnenofen auch Kunstlichtstrahler an, wenn bestimmte spektrale Bereiche am Sonnenofen selbst nicht gut genug herausgefiltert werden können. Die Kunstlichtstrahler sind zudem eine wichtige Voraussetzung für Langzeitversuche.

Passend zu diesen Anforderungen sollte im Projekt Bepi Colombo die lang anhaltende thermische Beziehungswise Infrarot-Belastung der Fotozellen untersucht werden. Um diese thermische Langzeitbelastbarkeit von Fotozellen für Satelliten zu testen, werden Versuchsbedingungen eingestellt, die eher etwas härter sind, als sie für die spätere Mission erwartet werden. Damit will man sichergehen, dass diese enorm wichtige Baugruppe genug „Stabilitätsreserve“ hat. Die Testzelle wurde hierfür unter Vakuumbedingungen mit einem Infrarot-Hochleistungsstrahler 1.000 Stunden beziehungsweise 42 Tage lang am Stück bestrahlt. Die Zieltemperaturen legten die Wissenschaftler auf 250 Grad Celsius fest und erhöhten sie über die letzten zehn Stunden noch einmal um 50 Grad. Zusätzlich wurde die Oberflächen-Temperaturverteilung während der Aufheizphasen mit einer Infrarotkamera beobachtet.

Auf dem Weg zum Planeten Merkur ist die Solarzellengruppe auch ultraviolettem Licht ausgesetzt. Besonders durch Strahlung in diesem Wellenbereich drohen Schäden an den Fotozellen, die zum Totalausfall der Stromversorgung führen könnten. Es muss also im Vorfeld sichergestellt werden, dass diese Baugruppe auch härtere Belastungen für längere Zeit schadlos übersteht. In einer ersten Testphase wurden die Arrays mit konzentriertem UV-Licht bestrahlt, um die maximale Betriebstemperatur zu bestimmen.

In einer zweiten Testphase wurden sechs Fotozellen-Module mit 2.000 esh (equivalent sun hours) bestrahlt. „esh“ steht für den Quotienten aus Jahresertrag dividiert durch die maximale Strahlungsleistung. Das bedeutet, dass sich bei einer gegenüber der Erdoberfläche doppelten Einstrahlung die Bestrahlungsdauer auf die Fotozelle für den gleichen Energieertrag halbiert. Für die Merkur-Exkursion wurde mit dem Sechs- bis Zehnfachen der Strahlungsbelastung gerechnet, was bei den Leistungsanforderungen des PV-Arrays zu 2.000 esh führt, was eine Bestrahlungsdauer von sechs Tagen am Stück bedeutet. Ausgeführt wurde dieses Experiment daher nicht mit dem Sonnenofen, sondern mit einer speziellen UV-Hochdrucklampe, deren Licht im UV-A 460 Watt und im UV-B 50 Watt über einen parabolischen Reflektor liefert. Diese Strahlung ist so hart, dass sich die Reflexionsschicht des Paraboloids zum Versuchsende hin aufzulösen begann. Von den bestrahlten Fotozellen indessen müssen sie unbeschadet ausgehalten werden.

Jüngster Versuch zeigt Strahlungsbeständigkeit von Aluminium und Titan

Der jüngste Weltraumversuch im Sonnenofen endete nach sechs Bestrahlungsmonaten im Sommer 2012. Bei den Tests zum CSO-Programm „Solar Irradiation Test for the CSO MLI Blankets and Coatings“ des Centre National D'Etudes Spatiales (CNES Toulouse) wurden verschiedene Materialien, wie Aluminium, Titan oder auch „Multi Layer Insulations“ (MLIs) mit speziellen Beschichtungen auf ihre Beständigkeit gegenüber konzentrierter Strahlung überprüft. Dabei werden nicht nur die Flussdichten, wie sie im Weltraum vorkommen können, simuliert, sondern auch die im freien Raum fehlende Konvektion, durch die sich die Probe abkühlen könnte. Die wesentliche Herausforderung besteht dabei darin, die vorgegebenen Versuchsparameter, wie Dauer und Stärke der Bestrahlung, exakt einzuhalten. Dabei wurden Leistungsdichten von 17 bis 230 Kilowatt pro Quadratmeter angelegt. Bei sehr hohen Leistungsdichten sieht man den Proben die Belastung nach dem Experiment an: Sie ändern ihre Farbe, Struktur oder werden spröde.

Ziel der Versuchskampagne war es aber vor allem, genau festzustellen, wie viel Material von einer solchen Beschichtung abdampft. Dazu werden in der Vakuumkammer sogenannte „witness-plates“ platziert. Dies sind blankpolierte Metallscheiben, die gekühlt werden und dadurch den Niederschlag adsorbieren, der von den bestrahlten Probe kommt. Dieser Niederschlag kann mit Hilfe von spektroskopischen Methoden qualitativ und quantitativ bestimmt werden. Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erlangen, muss dazu ein sogenannter Leertest gefahren werden, um zunächst den Verschmutzungsgrad der Kammer selbst zu bestimmen. Des Weiteren wird in einem aufwändigen Reinigungsprozess inklusive dreitägiger Aufheizphase die Kontamination der Kammer minimiert.

Die von den DLR-Ingenieuren entwickelte Flussdichte-Messtechnik gilt weltweit als führend. Die besonders hohen Anforderungen der Kunden aus der Weltraumindustrie an die Präzision der Messungen führte auch zu einer Verbesserung des Systems Sonnenofen. Davon wiederum profitieren nun auch die Experimentatoren aus dem ursprünglichen Kerngebiet der erneuerbaren Energien. ●

Weitere Informationen:
<http://s.DLR.de/49fm>

Autor:

Dr.-Ing. Gerd Dibowski ist gelernter Maschinenbauer mit Elektrotechnikausbildung und hat den Sonnenofen sowie den Hochleistungsstrahler mit aufgebaut. Er leitet, nach mehreren Jahren im Experimentalbetrieb, seit 2006 die Großanlage Sonnenofen.



Wissen, was passiert, wenn ...

Die Umweltorganisation Greenpeace hat es Thomas Pregger, Projektleiter in der Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung, und seinem Team im DLR-Institut für Technische Thermodynamik in Stuttgart nicht einfach gemacht. Die Systemanalytiker haben im Auftrag von Greenpeace das globale Energieszenario Energy[R]evolution entwickelt. Die Studie zeigt, wie eine sichere und nachhaltige Versorgung im Jahr 2050 aussehen kann. Dabei hat der Auftraggeber weitreichende Rahmenbedingungen für das Szenario gestellt: sukzessiver weltweiter Ausstieg aus Atomkraft und Kohle, starke Begrenzung des Biomasse-, Erdöl- und Erdgasverbrauchs, ein erheblicher Rückgang des Kohlendioxid-Ausstoßes durch den Einsatz erneuerbarer Lösungen bei gleichzeitiger Berücksichtigung der natürlichen Grenzen unserer Umwelt.

Energiesystemanalyse: Ein immer besserer Blick in die Zukunft der Energieversorgung

Von Dorothee Bürkle

„In einem Szenario kann ich natürlich allerlei Grundannahmen machen, wir müssen aber immer die Frage beantworten, ob diese realistisch sind und zu einem konsistenten Entwicklungspfad führen“, erläutert Thomas Pregger die Schwierigkeit der Aufgabe. Wenn Systemanalytiker ein zielorientiertes Szenario erstellen, dann blicken sie von einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft, zu dem konkrete Ziele erreicht werden sollen, zurück in die Gegenwart. So kann als Ziel beispielsweise eine Energieversorgung angenommen werden, die zu 80 Prozent auf erneuerbaren Energien beruht. Bei diesem sogenannten „Back-casting“ suchen oder besser: berechnen die Forscher die Investitionen und notwendigen Handlungen, mit denen man von heute aus betrachtet, den angestrebten Zustand in der Zukunft erreichen kann. „Szenarien sind daher keine Prognosen für die Zukunft, aber sie zeigen auf, welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um bestimmte Ziele zu erreichen. Wir beschreiben also für Politik und Energiewirtschaft einen möglichen Weg mit seinen Konsequenzen“, beschreibt Thomas Pregger sein Tätigkeitsfeld.

Ein Rückblick aus der Zukunft hilft bei der Suche nach dem richtigen Pfad

Bevor Pregger und seine Kollegen in der Abteilung Systemanalyse im DLR-Institut für Technische Thermodynamik loslegen, sammeln sie Daten über den Ist-Zustand. Grundlagen für die Energieszenarien sind Statistiken der Internationalen Energieagentur (IEA), des World Energy Outlooks oder des Bundeswirtschaftsministeriums. Unter anderem interessieren sich die Forscher hier für folgende Parameter: das Bruttoinlandsprodukt, derzeitiger

Energieverbrauch, die eingesetzten Erzeugungsanlagen, zu erwartende Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung, erneuerbare Ressourcen und die zu erwartenden Preisentwicklungen für Techniken und Energieträger. „Im Grunde beginnt hier schon unsere Analysearbeit, denn oft passen die unterschiedlichen Datensätze nicht so recht zueinander“, beschreibt Pregger diese Arbeitsphase. In den internationalen Statistiken liegen zum Beispiel beim Energieverbrauch keine gesonderten Zahlen für Industrie, Gewerbe und private Haushalte vor. „In einem solchen Fall vergleichen wir mit nationalen Statistiken oder Studien und bereiten damit unsere Daten auf, bevor wir sie in unsere Szenario-Datenbank einspeisen.“

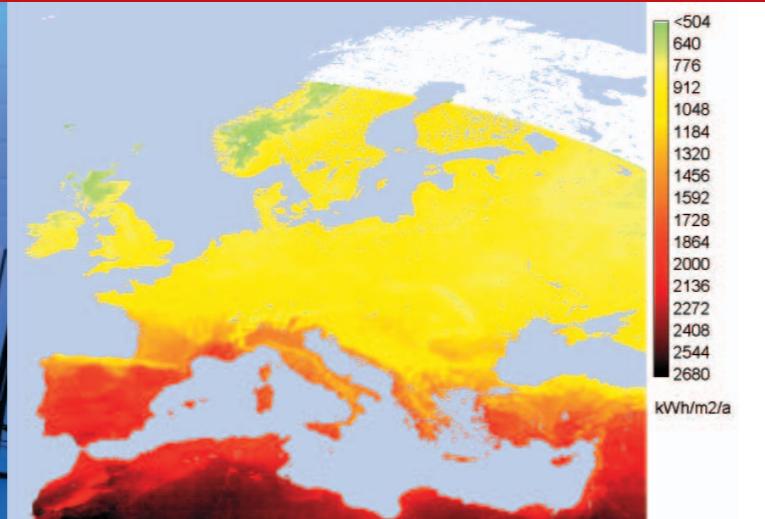
An dieser Stelle legen die Forscher auch die Grenzen ihres Szenarios fest: Welche natürlichen Ressourcen zum Beispiel bei der Windkraft oder Biomasse sind in einem Land oder einer Region vorhanden? Wie kann ein Ausbau der erneuerbaren Energien mit möglichst stabilem Marktachstum dargestellt werden? Wie sind die Potenziale für Nah- und Fernwärme? Wenn all das festgelegt ist, dann beginnen die Berechnungen der Energiebilanzen in einem Szenario-Modell, in dem die physikalischen und ökonomischen Zusammenhänge zwischen den eingegebenen Variablen festgelegt sind. Die DLR-Forscher arbeiten hier unter anderem mit dem MESAP (Modulare Energie-System-Analyse und Planung)-Tool der Firma seven2one Informationssysteme GmbH in Karlsruhe. Die sehr detaillierte Beschreibung der erneuerbaren Energien geschieht mittels des Modells ARES (Ausbau regenerativer Energiesysteme), welches die Abteilung selbst entwickelt und ständig erweitert hat.

Das Programm berechnet – ausgehend vom Zubau der unterschiedlichen Energietechnologien –, welche Investitionen nötig sind, welche Kosten entstehen, wie hoch der langfristige volkswirtschaftliche Nutzen ist und welche Auswirkungen das auf die spezifischen Kosten der Strom- und Wärmeerzeugung eines Landes hat. Allerdings sehen die Forscher ein Szenario-Programm nicht als Blackbox. Sie überprüfen immer wieder den Weg vom Ausgangszustand zum in der Zukunft angestrebten Zustand und hinterfragen kritisch: Ist der Zubau einer bestimmten Energietechnologie realistisch? Ist die Befriedigung des Energiebedarfs zu jeder Zeit gesichert? „Bis wir ein solches in sich schlüssiges Szenario haben, ist es ein langer Weg. Bis zu 50 Mal rechnen wir durch und verändern die Parameter, bis wir am Ende ein in sich konsistentes und sinnvolles Szenario haben“, beschreibt Pregger diesen Arbeitsschritt. In

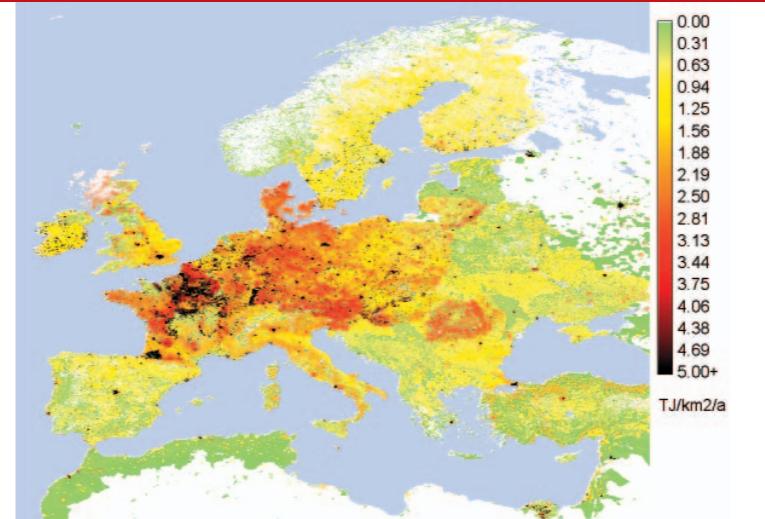
Neben der Greenpeace-Studie Energy[R]evolution haben die DLR-Systemanalytiker 2012 im Auftrag des Bundesumweltministeriums bereits die „Leitstudie 2011“ und eine Studie zur Arbeitsplatzentwicklung im Bereich der erneuerbaren Energien veröffentlicht. Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft erstellten sie auch eine Studie zur möglichen Entwicklung der Elektromobilität bis 2050. Im Laufe des Jahres werden die Wissenschaftler noch einen Mittelmeer-Solaratlas veröffentlichen, der die Potenziale für Solarenergie in den Ländern rund ums Mittelmeer erstmals umfassend beschreibt.



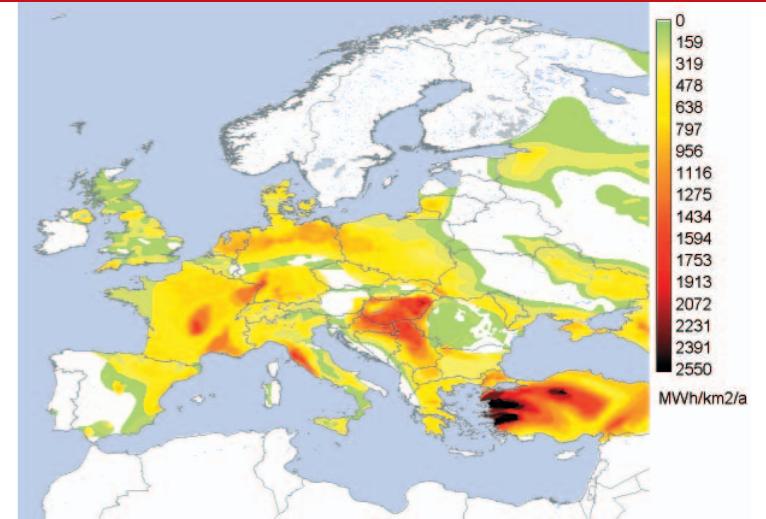
Wie kann ein Energieverbund zwischen Nordafrika und Europa gelingen? Was ist dafür der beste Energiemix? – Das haben die DLR-Systemanalytiker erstmals untersucht. Diese Studien sind die Grundlage für das DESERTEC-Konzept, an dem die DESERTEC-Foundation und die DESERTEC Industrial Initiative heute arbeiten.



Ressource Solarenergie: Global-Horizontal-Strahlung in Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr. Globalstrahlung ist die Summe aus direkter und diffuser Einstrahlung. In den Wüstengebieten ist sie gut doppelt so hoch wie in Zentraleuropa.



Ressource Biomasse: Summe der Energiepotenziale in Terajoule je Quadratkilometer und Jahr. Mit Biomasse als gespeichertem Energieträger kann erneuerbare Regelenergie zum Ausgleich von Schwankungen der Solar- und Windstromerzeugung bereitgestellt werden.



Stromerzeugung mit Erdwärme: Gesamtes Potenzial in 2.000 bis 5.000 Meter Tiefe in Megawattstunden je Quadratkilometer und Jahr. Geothermie kann neben Strom auch Heiz- und Prozesswärme liefern. Geothermiekraftwerke werden wegen ihrer hohen Investitionskosten häufig als Grundlastkraftwerke betrieben.

der Regel berechnen die Forscher mehrere Pfade. So haben sie für ihre Leitstudie zur Energieversorgung in Deutschland bis ins Jahr 2050 mehrere Szenarien erstellt. Die Hauptszenarien orientieren sich vorrangig am obersten Ziel des Energiekonzepts der Bundesregierung, die Treibhausgas-Emissionen bis 2050 um mindestens 80 Prozent zu mindern. Sie gehen dabei aber von unterschiedlichen Entwicklungen zum Beispiel bei der Elektromobilität aus. Zudem haben die Wissenschaftler auch den Entwicklungspfad für die Einsparung der Treibhausgase um 95 Prozent berechnet. „Durch die unterschiedlichen Szenarien bekommen wir eine Bandbreite möglicher Entwicklungen und Erkenntnisse darüber, wie wichtig einzelne Technologien für die Energiewende sind“, beschreibt Thomas Pregger die Vorteile dieser Vorgehensweise.

Energiemodellierung: Ergebnisoffener Blick in die Zukunft

Im Gegensatz zu Szenario-Berechnungen, die von bestimmten Zielvorgaben ausgehen, ist bei optimierenden Modellierungen offen, zu welchen Ergebnissen sie kommen. Mit dem Modellierungsprogramm REMix (Renewable Energy Mix for Sustainable Electricity Supply) können die Systemanalytiker zuverlässige, unter den jeweiligen Kostenannahmen volkswirtschaftlich kostenminimale Stromversorgungssysteme entwerfen. Die Berechnungen dafür sind aufwändig, denn REMix vergleicht für jede Stunde im Laufe eines Jahres den Strombedarf und das potenzielle Stromangebot für einzelne Länder oder auch ganz Europa. Bei einer großen Region oder hoher zeitlicher Auflösung dauern diese Berechnungen manchmal mehrere Tage. Mit dem Modellierungs-Tool REMix untersuchen die Systemanalytiker derzeit vor allem, ob und wie realistisch die von ihnen berechneten Szenarien sind. Für jedes Jahr des Szenarios können sie überprüfen, wie weit der im Szenario berechnete Kraftwerkspark den Strombedarf decken kann und wie viele Speicher erforderlich sind. „Mit den Optimierungsmodellen können wir robustere Aussagen in unseren Szenarien machen“, sagt Yvonne Scholz, die REMix in ihrer Doktorarbeit entwickelt hat. Allerdings kennt sie auch die Grenzen: „Die Qualität und Nutzbarkeit der Ergebnisse hängt stark von den eingegebenen Parametern und Rahmenannahmen ab. Für robuste Aussagen müssen wir unsere Berechnungen mit vielen Parametervariationen durchführen.“ Auch bei den Optimierungsmodellen sind daher viele Iterationen auf dem Weg zu einem realistischen Modell der Energie der Zukunft notwendig.

Wie kam das DLR zur Energiesystemanalyse?

Wie kommt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt dazu, Szenarien zur Energieversorgung der Zukunft zu berechnen? Wenn einer das weiß, dann Joachim Nitsch, der die Abteilung von 1975 an aufgebaut hat: „Während der ersten Ölpreiskrise begann plötzlich alle Welt mit der Energieforschung. Die Politik war aufgewacht und stellte Gelder dafür bereit. Das DLR, damals noch die Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), hatte viel Expertise für solche Forschungsprojekte. Sowohl für die Entwicklung verschiedener Energietechnologien als auch für die theoretische Systemanalyse.“ Auftraggeber der ersten Studien waren unter anderem Bundesforschungsminister Hans Matthöfer, der sich ab 1977 für die Ausbaumöglichkeiten von erneuerbaren Energien interessierte, und das Land Baden-Württemberg, das bereits in den Achtzigerjahren eine große Studie zu den Perspektiven der Energieversorgung in Auftrag gab. Auch die Potenziale von Wasserstoff im Energiesystem untersuchten die DLR-Forscher bereits in diesen ersten Studien. „In den Anfangszeiten bestand unsere Abteilung aus Ingenieuren und Physikern. Das hatte den Vorteil, dass unsere Studien immer sehr nah an den Technologien waren, wir konnten sehr gut abschätzen, was möglich war und was nicht“, erinnert sich Joachim Nitsch. Auch heute, wo Volkswirtschaftler und Geografen sowie ein Sozialwissenschaftler mit im Team sind, gibt es, so Nitsch, immer noch einen regen Austausch mit den Ingenieuren über die Möglichkeiten der einzelnen Technologien. „Und manchmal auch einen Disput, wenn wir die Lage unterschiedlich einschätzen. Doch durch diese enge Rückkopplung mit den Forschern ist die Systemanalyse im DLR einzigartig.“

Weitere Meilensteine für die Systemanalyse in Stuttgart sind die Leitstudien zu möglichen Ausbaustrategien von erneuerbaren Energien in Deutschland, die das DLR seit 1998 für das Umweltbundesamt und seit 2004 für das Bundesumweltministerium erstellt. Die DLR-Forscher konnten dabei auf die bereits um 1990 angefertigten grundlegenden Studien zur „Energieversorgung der Zukunft“ aufbauen. Danach kamen unter anderem die – ebenfalls im Auftrag des BMU erarbeiteten – internationalen Studien Trans-CSP (Trans-Mediterranean interconnection for Concentrating Solar Power) und MED-CSP (Concentrating Solar Power for the Mediterranean Region), die den Aufbau eines Stromverbunds zwischen Europa, dem Nahen Osten und

Nordafrika untersuchten. Diese Studien wurden von der DESERTEC-Foundation und der DESERTEC Industrial Initiative aufgegriffen. Denn sie haben sich die Realisierung eines solchen Energieverbundsystems zum Ziel gesetzt. „Das DLR hat seit den Anfängen in den Siebzigerjahren ein immer breiteres Fundament für Studien zu Energiesystemen gelegt. Mit dem REMix-Tool ist die Modellierung dazugekommen, außerdem können wir den Wärmesektor in der Zwischenzeit sehr gut abbilden und weltweit die Ressourcen von erneuerbaren Energien auch im eigenen Haus analysieren“, schätzt Joachim Nitsch die Entwicklung seiner ehemaligen Abteilung.

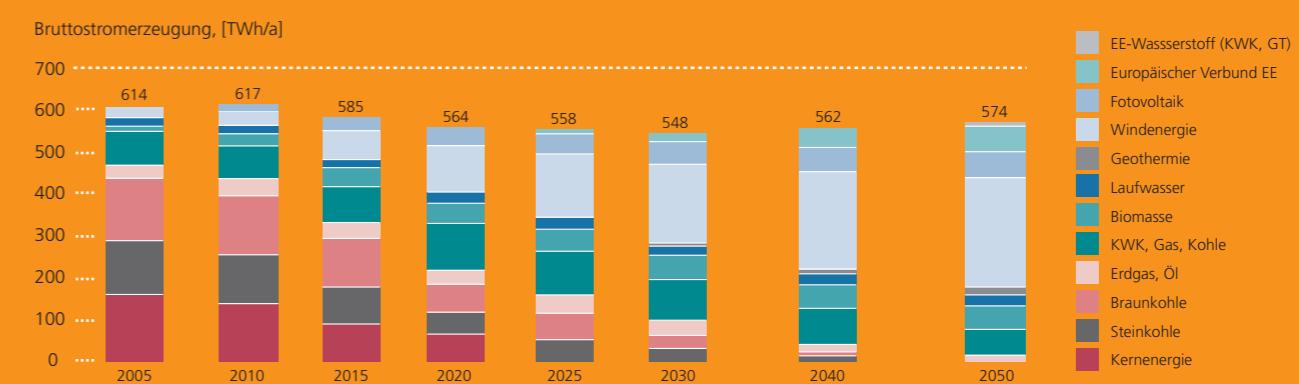
Eine Vorliebe für eine bestimmte Technologie haben die Systemanalytiker dabei jedoch nicht entwickelt: „Die Energieversorgung der Zukunft wird ein Mix aus unterschiedlichen Technologien sein, je nach den Potenzialen, die in einem Land vorhanden sind“, so Thomas Pregger. Allerdings betont er: „Szenarien sind kein bloßes Handwerkszeug. Wir haben unsere Erfahrungen und wenn eine Bedingung eines Auftraggebers in unseren Augen zu keinem in sich konsistenten Entwicklungspfad führt, dann diskutieren wir das.“ Dies war der Fall beim Greenpeace-Szenario, wo die Forscher nicht alle Rahmenbedingungen genauso einspeisen konnten, wie der Auftraggeber es vorgegeben hatte. So konnten sie den strikten Pfad für den

Gasverbrauch nicht einhalten, der vorsah, dass keine neuen Vorkommen mehr erschlossen werden: „Um den Übergang in eine erneuerbare Versorgung bei gleichzeitig möglichst geringem Einsatz von Biomasse zu schaffen, wird der Energieträger Erdgas auch längerfristig noch eine wichtige Rolle spielen müssen“, kommentiert Pregger. Unter Einbeziehung neuer Gasvorkommen könnten die DLR-Wissenschaftler in verschiedenen Szenarien eine schlüssige Entwicklung darstellen, an deren Ende 2050 auch bei einer steigenden Weltbevölkerung weltweit dennoch mehr als 80 Prozent der Primärenergie aus nachhaltigen Energiequellen stammen.

Unsere Energieversorgung verändert sich: Der Ausbau der erneuerbaren Energien schreitet voran, gleichzeitig sind die Ressourcen von Öl, Gas und auch Kohle begrenzt. Die Politik hat mit der Energiewende entschieden, dass Deutschland langfristig auf erneuerbare Energien bauen wird. In die Zukunft der Energieversorgung kann niemand blicken. Aber Energieszenarien, wie sie die Systemanalytiker im DLR erstellen, bieten für Politik und Wirtschaft wichtige Entscheidungsgrundlagen. •

Weitere Informationen:
www.DLR.de/TT/System

Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Deutschland nach dem Szenario 2011 A (mittlerer Ausbau der erneuerbaren Energien; Einsatz von Biokraftstoffen, Elektromobilität und Wasserstoff im Verkehr)



Seit 2004 erarbeiten die DLR-Forscher für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Studien, wie die Energieversorgung der Zukunft in Deutschland aussehen kann. Das hier dargestellte Szenario zeigt die Entwicklung bei einer mittleren Ausbaugeschwindigkeit der erneuerbaren Energien bis zu einem Anteil an der Stromerzeugung von etwa 85 Prozent.

Meldungen

Studentenexperimente BEXUS: Ballone über Nordschweden

Die Forschungsballone BEXUS 14 und 15 brachten Ende September 2012 wissenschaftliche und technische Experimente von Studenten in die Stratosphäre. An Bord der beiden gemeinsamen Missionen des DLR und der schwedischen Raumfahrtbehörde SNSB befanden sich sechs Experimente, die Studentengruppen aus Deutschland, Ungarn und Italien sowie ein französisch-japanisches Team entworfen und gebaut hatten. Das deutsch-schwedische Studentenprogramm REXUS/BEXUS ermöglicht seit 2008 jährlich europäischen Studententeams, eigene Experimente auf Forschungsraketen und Stratosphärenballonen durchzuführen.

Mit BEXUS 15 untersuchte ein Team von Studenten der Universität Oldenburg und der Technischen Fachhochschule Bochum in seinem SolSpecTre-Experiment (Measurement of Solar Spectrum), wie sich das Spektrum des Sonnenlichts verändert, wenn mit zunehmender Höhe des Ballons die Luft dünner wird. Mit der Wirkung von Weltraumstrahlung beschäftigte sich das ungarische Experiment BioDos. Mit biologischen UV-Dosimetern bestimmte das Team in Abhängigkeit von der Ballonhöhe die biologisch effektive UV-Strahlungsdosis, bei der eine Schädigung des in den Dosimetern enthaltenen biologischen Materials eintritt. Das französisch-japanische Experiment AMES (Atmospheric Magnetical and Electrical field Sensors) diente der Messung der Stärke des elektrischen sowie des magnetischen Feldes vom Erdboden bis in die Stratosphäre. Das Experiment MISSUS (Meteorological Integrated Sensor Suite for Stratospheric analysis) umfasste ein ganzes Paket von Sensoren, mit denen das italienische Team meteorologische Daten registrierte und die Lage der Ballongondel sowie deren Flugweg bestimmte. Damit überprüften sie ein theoretisches Atmosphärenmodell in der Praxis.

BEXUS 14 hatte zwei Experimente an Bord. Mit ihnen erforschten die Studenten verschiedene Anteile der Weltraumstrahlung. Studenten der Universität Kiel maßen mit ihrem Experiment MONSTA (Measurement Of Neutrons with Scintillators in The Atmosphere) die Veränderungen der Neutronen- und Gammastrahlenflüsse, die beim Zusammenstoß hochenergetischer kosmischer Teilchen mit den Molekülen und Atomen der Atmosphäre entstehen. In dieselbe Ballongondel integrierte ein ungarisches Team gleich ein ganzes Sortiment von Strahlensensorgeräten (Dosimetern) zur modernen Experimentplattform TECHDOSE (Technology Platform for Advanced Cosmic Radiation and Dosimetric Measurements). Sie untersuchten damit das Spektrum von Strahlen in Abhängigkeit von der Sonnenaktivität.

<http://s.DLR.de/58n7>



Bei Bilderbuchwetter war BEXUS 14 am 24. September 2012 zu seinem Flug gestartet, am 25. September folgte BEXUS 15

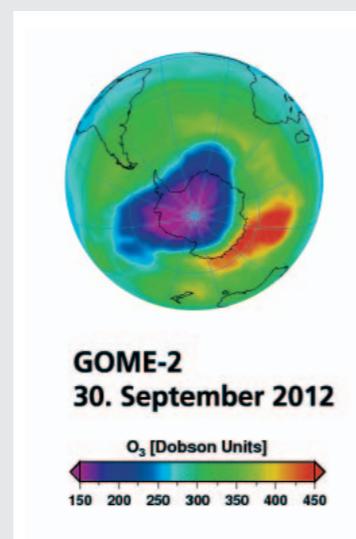
Messwerte und Rechenmodelle zeigen: Ozonschicht erholt sich

Die Ozonschicht scheint sich zu erholen. Nach dem Herbst-Bericht 2012 der World Meteorological Organization (WMO) wird sie Mitte des 21. Jahrhunderts wieder die gleiche Dicke haben wie zu Beginn der Achtzigerjahre.

Untermauert wird diese Aussage von Auswertungen weltraumgestützter Messungen durch das DLR-Institut für Methodik der Fernerkundung und Modellrechnungen des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre. Sowohl die flächenmäßige Ausdehnung als auch die gemessenen minimalen Ozonwerte sind im Vergleich zu den Werten der letzten Jahre in diesem Jahr geringer. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die Erholung der Ozonschicht insgesamt.

Grundlage für die Vorhersagen sind Modellrechnungen, mit deren Hilfe physikalische, dynamische und chemische Prozesse in der Atmosphäre simuliert werden. Diese sogenannten Klima-Chemie-Modelle wurden unter anderem im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre erstellt. Rechenergebnisse für die Vergangenheit werden mit Beobachtungsdaten verglichen, um die Qualität der Modellergebnisse zu bewerten. Nur auf Grundlage gut evaluerter Modelle ist es möglich, zuverlässige Abschätzungen zukünftiger Entwicklungen wie zum Beispiel der Ozonschicht zu liefern.

<http://s.DLR.de/mouq>



Spurengase in ihrer horizontalen und vertikalen Verteilung

Satelliten 3 und 4 des Galileo-Systems arbeiten mit bisher unerreichter Präzision

Seit dem 12. Oktober 2012 sind die Galileo-Satelliten 3 und 4 im All. Eine Sojus-Rakete brachte sie in ihre Umlaufbahn in über 23.000 Kilometer Höhe. Mit den Signalen der nunmehr vier Satelliten lässt sich jetzt erstmals eine Ortsbestimmung auf der Erde durchführen. Gesteuert werden die Satelliten aus dem Galileo-Kontrollzentrum im DLR Oberpfaffenhofen.

Damit das Zusammenspiel der Galileo-Satelliten funktioniert, sind weltweit gleich mehrere Kontrollzentren an der Mission beteiligt. Den Start vom Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana führte das dortige Kontrollzentrum durch. Das Kontrollzentrum der französischen Raumfahrtagentur CNES in Toulouse stellte den ersten Kontakt zu den neuen Satelliten her, bevor das Team in Oberpfaffenhofen im Auftrag der Europäischen Kommission und der europäischen Weltraumorganisation ESA die Verantwortung für die beiden Satelliten übernahm. Es positionierte sie auf der korrekten Umlaufbahn und nahm die Navigationsgeräte in Betrieb. Dazu gehörte die Aktivierung der Atomuhren an Bord der Satelliten, der Signalgeneratoren und der Übertragungsgeräte für das Senden und Empfangen. In der anschließenden Betriebsphase überwacht das deutsche Kontrollzentrum den Zustand der Satelliten und der Instrumente an Bord sowie die Flugbahnen. Das Kontrollzentrum im italienischen Fucino ist für die Synchronisierung der Atomuhren und für die Produktion der Navigationsdaten zuständig, eine Antennenstation im belgischen Redu unterstützt das deutsche Galileo-Kontrollzentrum während der bevorstehenden mehrmonatigen Testphase.

Im Frühjahr 2013 sollen dann mit einem Galileo-Empfangsgerät erstmals Ortsbestimmungen durchgeführt werden. Jedes Mal, wenn die vier Satelliten in Reichweite des Empfängers sind, ist es möglich, aus der Laufzeit des Signals und den Positionsdaten der Satelliten im Weltall den Standort auf dem Boden zu berechnen. Komplett wird das europäische Navigationssystem aber erst sein, wenn insgesamt 30 Satelliten auf drei Bahnringen um die Erde kreisen. Die Atomuhren an Bord der Satelliten, die auf die Milliardstel-Sekunde die Sendezeit der Signale liefern, sind dabei so genau, dass es innerhalb von einer Million Jahren lediglich zu einer Abweichung von einer Sekunde kommt. Diese Präzision ist bisher unerreicht und sorgt unter anderem dafür, dass das Galileo-Navigationssystem genauer ist als das amerikanische Global Positioning System (GPS).

<http://s.DLR.de/ff67>



Die vierte Stufe der Sojus-Träger-rakete mit den beiden Galileo-Satelliten an Bord

Tragschrauber für Rettungseinsätze



Luftkundung per Tragschrauber

Für Bergungsmannschaften, beispielsweise nach einem Erdbeben, ist es wichtig, sich ein Bild der Schadenslage zu machen. Gemeinsam mit dem Technischen Hilfswerk (THW) hat das DLR die Einsatzmöglichkeiten von sogenannten Tragschraubern untersucht.

Dazu unterstützten die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Flugsystemtechnik das THW bei einer Erdbebenübung in der Nähe von Wesel. Mit dem Tragschrauber, einem Drehflügelflugzeug, dessen Rotor nur durch die anströmende Luft in Drehung versetzt wird (Autorotation), erkundeten sie die Schadenslage aus der Luft und übermittelten entsprechende Luftbilder an die THW-Einsatzleitung am Boden.

Da Tragschrauber ohne Gefahr des StrömungsabrisSES sehr langsam fliegen können, eignen sie sich besonders gut für die Lufterkundung. Per Live-Übertragung wurden Video-bilder an die Bodenstation gesendet und hochauflöste Fotos der Schadensgebiete direkt aus dem Tragschrauber ins Internet übertragen.

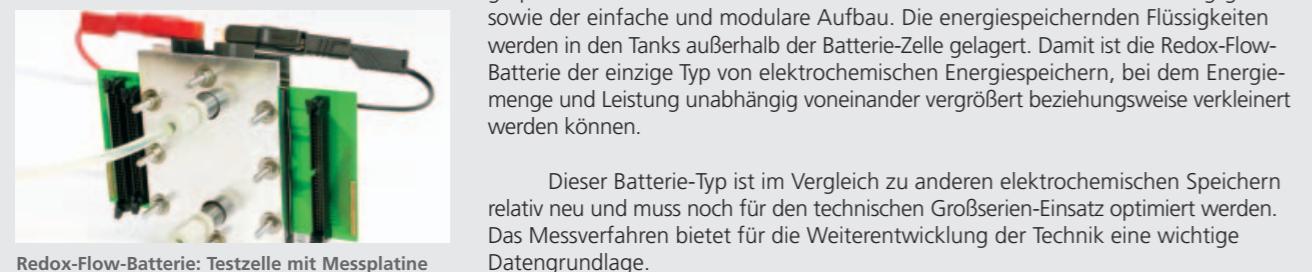
<http://s.DLR.de/y4ni>

Gläserne Batterie zeigt Forschern die aktiven Bereiche

Ein Verfahren, mit dem die Vorgänge in der Redox-Flow-Batterie sichtbar gemacht werden können, entwickelte das DLR gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT). Mit dieser weltweit einmaligen Mess-technik erhalten die Forscher wichtige Daten, um eine solche Batterie kostengünstiger zu machen und die Leistung zu verbessern.

Durch diese „Gläserne Batterie“ kann man sehen, welche Bereiche in der Batterie aktiv sind und welche nicht. Mit speziellen Messelementen können die Wissenschaftler direkt an der Elektrode, an der der Strom erzeugt wird, die lokale Temperatur und Stromdichte erfassen und so Rückschlüsse auf die Durchströmung der Elektrolyt-Flüssigkeit ziehen. Das Verfahren kann auch zur Fehlerfrüherkennung und Steuerung einer solchen Batterie eingesetzt werden.

Redox-Flow-Batterien sind für die Speicherung großer Energiemengen im Bereich von Megawattstunden prädestiniert. Da die elektrische Energie in den chemischen Verbindungen zweier (Elektrolyt)-Flüssigkeiten gespeichert ist, die in zwei getrennten Tanks gelagert werden, ist eine Selbstentladung ausgeschlossen. Die Energie bleibt damit in den Tanks über Wochen oder Monate gespeichert. Ein weiterer Vorteil der Redox-Flow-Batterie ist der hohe Wirkungsgrad sowie der einfache und modulare Aufbau. Die energiespeichernden Flüssigkeiten werden in den Tanks außerhalb der Batterie-Zelle gelagert. Damit ist die Redox-Flow-Batterie der einzige Typ von elektrochemischen Energiespeichern, bei dem Energiemenge und Leistung unabhängig voneinander vergrößert beziehungsweise verkleinert werden können.



Redox-Flow-Batterie: Testzelle mit Messplatine

Dieser Batterie-Typ ist im Vergleich zu anderen elektrochemischen Speichern relativ neu und muss noch für den technischen Großserien-Einsatz optimiert werden. Das Messverfahren bietet für die Weiterentwicklung der Technik eine wichtige Datengrundlage.

<http://s.DLR.de/j8u8>

Vibration hilft sehbehinderten Menschen, sich zu orientieren

Richtungs- und Entfernungshinweise haben für blinde und sehbehinderte Menschen besonderen Wert. Das DLR hat dafür ein sogenanntes Vibrotaktiles Feedback-Gerät, kurz VibroTac, entwickelt. Mittels Vibration übermittelt das Gerät dem Träger Informationen, die helfen, ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Durch eine Schnittstelle zum Smartphone kann VibroTac GPS-Daten darstellen und so blinde Menschen beispielsweise durch eine fremde Stadt navigieren. Dazu werden über die sechs im Armband verbauten Vibrationsmotoren kurze Stimulationen generiert.

VibroTac ist nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung zum Blindenstock gedacht. Denn situationsbedingte Hindernisse wie Ampeln oder Gegenstände auf dem Gehweg können mittels GPS nicht übertragen werden, erläutert Simon Schätzle, Verantwortlicher für das VibroTac im DLR-Institut für Robotik und Mechatronik, die Neuerung. Mit dem Gerät, das den Innovationspreis 2012 der Gesellschaft für Freunde des DLR e.V. erhielt, kann auch die Hand des Nutzers zu einer bestimmten Zielposition geführt werden. Das erleichtert es Blinden beispielsweise, in einer Warenausgabe zu arbeiten. Hierzu kommuniziert VibroTac nicht mittels GPS, sondern über im Computer hinterlegte Informationen.

Das ursprüngliche Ziel dieser Technologie ist es, mittels Mensch-System-Schnittstellen einem Operator bestmöglichen Zugang zu entfernten Welten zu ermöglichen. In der Raumfahrt ist die Telerobotik eine Schlüsseltechnologie für Aufbau, Wartung und Reparatur von Satelliten und Raumstationen. Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurde im Entwicklungsprozess von VibroTac neben der ergonomischen Produktgestaltung auch die menschliche Wahrnehmungsfähigkeit berücksichtigt. Motiviert von der Vielzahl positiver Rückmeldungen wurde mit der bereits existierenden DLR-Ausgründung SENSO DRIVE bereits eine Produktions- und Vermarktungsstrategie entwickelt.

<http://s.DLR.de/ttr9>



Asteroidenlander MASCOT wird fit gemacht für die Mission 2018

Ein Asteroidenlander namens MASCOT ist derzeit am DLR-Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme in Bremen in Arbeit.

MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout) soll 2014 mit der japanischen Sonde Hayabusa II zum Asteroiden 1999 JU 3 starten. Das vereinbarten das DLR und die japanische Raumfahrtagentur JAXA auf dem International Astronautical Congress IAC in Neapel. Nach Ankunft beim Asteroiden im Jahr 2018 soll MASCOT aus der Sonde ausgeklinkt werden, auf dem Asteroiden landen, sich automatisch aufrichten und dann von einer Messung zur nächsten hüpfen. Dieser Mechanismus wurde im DLR-Institut für Robotik und Mechatronik entwickelt. Insgesamt 16 Stunden, zwei Asteroidentage, soll MASCOT auf dem Himmelskörper arbeiten. Der Asteroid 1999 JU 3 ist vor allem interessant, weil er aus wenig verändertem, 4,5 Milliarden Jahre altem Material besteht. Messungen von der Erde aus zeigen, dass das Gestein eventuell einmal mit Wasser in Berührung gekommen ist. Da der Asteroid 1999 JU 3 außerdem zu einem Typ gehört, der unter den erdnahen Asteroiden häufig ist, können Aussagen über dessen Beschaffenheit wichtig werden, falls einmal ein Asteroid auf Kollisionskurs in Richtung Erde fliegt.



<http://s.DLR.de/c4wm>

DLR-Wissenschaftler entwickeln den Asteroidenlander MASCOT (Mobile Asteroid Surface Scout). Er soll im Jahr 2014 mit der japanischen Raumsonde Hayabusa II zum Asteroiden 1999 JU 3 fliegen.

Strom aus solarthermischen Kraftwerken wird günstiger

In Marokko wird eine Unternehmensgruppe (angeführt von der ACWA Power aus Saudi-Arabien) ein Solarkraftwerk bauen, das Strom für unter 15 Cent pro Kilowattstunde anbietet. Das ist weit weniger, als Anbieter derzeit in Spanien für Strom aus den Solarkraftwerken vergütet bekommen. Prof. Ulrich Wagner, DLR-Vorstand für die Bereiche Energie und Verkehr, erläuterte in einem Interview auf www.DLR.de, warum Solarkraftwerke nun deutlich günstigeren Strom produzieren können und weshalb weitere Preissenkungen zu erwarten sind.

Zum einen hätten die Unternehmen gelernt, die Risiken zu begrenzen und die Komponenten der Kraftwerke seien auch mit Unterstützung aus der Forschung deutlich verbessert sowie die Lieferketten optimiert worden. Zum anderen: Je mehr Kraftwerke gebaut würden, umso schneller und stärker würden die Kosten sinken. Auch bereiteten viele Hersteller zurzeit Systeme vor, die bei höheren Temperaturen arbeiten und effizienter sind. Sie benötigen dann zum Beispiel weniger Spiegel, um die gleiche Leistung zu erzeugen. In den nächsten zehn Jahren könne man damit die Marke von zehn Cent pro Kilowattstunde voraussichtlich unterbieten.

<http://s.DLR.de/ga58>

DIE WELT ZU HAUSE

www.earthtv.com
Earth TV setzt auf Reiselust und bietet Live-Bilder aus aller Welt an. Ob London oder Krüger-Nationalpark, Prag oder Niagara-Fälle, Auckland oder die MS Deutschland. Fernsehkameras weltweit machen's möglich. Fernen Zielen nah sein – reizvoll. Freilich hat das seinen Preis: Werbeeinblendungen stören die Exkursion.

ALLES PHYSIK, ODER WAS?

www.weltderphysik.de
Zwischen dem ersten Physik-Erlebnis zum Anfassen und dem Nobelpreis liegt ein weites Feld. Physik in ihren unterschiedlichsten Sparten, vom kleinsten Baustein bis zur entferntesten Galaxie. Nachrichten, Physikatlas, Veranstaltungen, Wettbewerbe, Mediathek, Geschichte – alles, was Du willst. Dargeboten von einer kompetenten Redaktion, wenn auch nicht immer auf allen Pfaden hochaktuell, gefördert vom BMBF und der DPG. Alles in allem: Die Seite hält, was ihr Name verspricht.

KINDERKRAM

www.kids-and-science.de
Kindgerechte Experimente, Fragen und Antworten sowie ein Shop und Links zu Partnerseiten und weiteren Angeboten – an diesem privaten, werbefreien und als kindgerecht geprüften Angebot können auch Erwachsene Freude haben, Lehrer inbegriffen. Nicht alles neu, aber nett dargeboten, eine Seite zum Spaß haben (... und der nächste Kindergeburtstag kommt bestimmt).

WIE IM FLUG

www.deutsches-museum.de/Flugwerft
Immer für eine Entdeckung gut: die Internetseiten des Deutschen Museums. Diesmal die Flugwerft Schleißheim und ihr hundertjähriges Jubiläum. Schön anzusehen, gut strukturiert und ein Muss für Freunde alten und neuen fliegenden Geräts, auch einen Hubschraubersimulator gibt es dort jetzt. Um an diesem wirklich Spaß zu haben, muss man sich allerdings vor Ort begeben.

GALERIE DER ANDEREN ART

www.max-planck-science-gallery.de
Die Max Planck Science Gallery am Berliner Gendarmenmarkt zeigt aktuelle Grundlagenforschung der Max-Planck-Gesellschaft. Multi-medial und interaktiv ist die Gallery eine begehbarer digitale Installation, in der die Besucher Einblicke in die Forschung für die Zukunft bekommen. Die Internetseite dazu hält auch einen Film parat, der Lust macht auf diese ungewöhnliche, kostenfrei zugängliche Ausstellung.

IM BILDE MIT DLR-NEWSLETTER

<http://s.DLR.de/p5jz>
Auf dem Laufenden sein zur Forschung in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr? – Ein Abonnement des DLR-Newsletters bringt Neuigkeiten aus der Wissenschaft und über die Menschen, die dahinterstecken, bequem per E-Mail ins Haus. Die Bestellung oder eine Änderung sind einfach zu erledigen.



Ein Alltag voller Katastrophen

Überflutungen. Dürren. Erdbeben. Tsunamis. Stella Hubert ist bei ihrer Arbeit permanent von Katastrophen umgeben. Oder mit den Auswirkungen dieser Katastrophen. Die 28-Jährige arbeitet seit Dezember 2010 im Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) des DLR. Wenn irgendwo auf der Welt die Erde bebt oder Dämme brechen, sitzt sie im Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) und erstellt innerhalb von Stunden Karten von den Unglücksorten. Wenn kein Desaster ihren Einsatz fordert, unterstützt sie Einrichtungen in Westafrika dabei, sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen und die Schäden möglichst gering zu halten.

Stella Hubert wertet Satellitendaten von Krisengebieten aus

Von Manuela Braun

Fukushima. Gleich eine gewaltige Naturkatastrophe war Stella Huberts erster Einsatz. Da war sie noch nicht einmal ein halbes Jahr beim DLR. In den Räumen des Zentrums für Satellitengestützte Kriseninformation arbeiteten die Wissenschaftler rund um die Uhr, fertigten Schadenskarten der Region an, lieferen für die „International Charter Space and Major Disasters“ Satellitenaufnahmen. Journalisten standen vor den Fensterscheiben der ZKI-Räume und berichteten über das Unglück und wie die Karten des DLR den Helfern vor Ort wichtige Informationen boten. „Bei der Fukushima-Katastrophe habe ich aber nur kleinere Aufgaben übernommen“, erinnert sich Stella Hubert. „Zum Glück, ich war ja noch recht neu.“ Damals erfasste sie für die Karten die Straßenverläufe in der Region digital.

Studiert hat die 28-Jährige Angewandte Umweltwissenschaften mit den Schwerpunkten Fernerkundung, Kartografie, Klimatologie und Hydrologie. Jetzt saß sie im ZKI und erlebte mit, wie innerhalb kürzester Zeit Satelliten programmiert, Daten empfangen, ausgewertet und daraus Karten erstellt werden mussten, damit Hilfskräfte in Japan die richtigen Entscheidungen treffen konnten. „Davor hatte ich Glück und habe in einer eher ruhigen Phase beim DLR angefangen.“ So war die Zeit da, sich in die Aufgaben des neuen Jobs einzuarbeiten.

Arbeiten unter Zeitdruck

38 Mal wurde das Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation im Jahr 2010 aktiviert – allein 30 Mal davon mussten

die Arbeiten möglichst rasch als „Rapid Mapping“, also Schnellkartierung, geliefert werden. Bei solchen Einsätzen kommt es auf jede Stunde an. Dann arbeiten Stella Hubert und ihre Kollegen unter enormem Zeitdruck. 2011 wurden die Mitarbeiter des DFD 56 Mal aktiviert, bis Ende September dieses Jahres bereits 37 Mal. Dazu kommen noch Übungen und sogenannte Emergency-Support-Aktivierungen, die weniger

„2012 ist bisher ein relativ ruhiges Jahr, was Katastrophen angeht“

zeitkritisch sind und bei denen das ZKI Regionen meist über einen längeren Zeitraum beobachtet. „2012 ist bisher ein relativ ruhiges Jahr, was Katastrophen angeht“, erzählt Stella Hubert. „Keine

Großereignisse wie die in Japan oder die Hungersnot am Horn von Afrika.“ Mittlerweile hat sie sich an die Katastropheneinsätze fast gewöhnt. Brände in Rumänien gehören zu den kleineren Einsätzen, sind beinahe schon ein bisschen Routine.

Stella Hubert zeigt auf die Karten, bei denen sie bisher als Bildverarbeiterin die Satellitenbilder analysiert oder als Geodatenmanagerin zusätzliche Informationen recherchiert hat. Da ist das Erdbeben in der Türkei, das am 23. Oktober 2011 die Stadt Ercis erschütterte. Der Finger der Wissenschaftlerin fährt über rote und gelbe Dreiecke auf der Satellitenaufnahme. Innerhalb von wenigen Stunden wertete sie damals mit Kollegen die jeweils aktuellsten Aufnahmen aus, um den entstandenen Schaden abzuschätzen. Welche Häuser in der Stadt mit 70.000 Einwohnern wurden durch das Erdbeben zerstört? Oder die Hungersnot am Horn von Afrika. Damals, im August 2011, untersuchte sie die Veränderungen im Flüchtlingscamp Melkadija in Äthiopien. Innerhalb von einem Monat kamen 80 neue



Mit Satellitendaten erstellen Stella Hubert und ihre Kollegen die Karten, mit denen Helfer vor Ort effektiver arbeiten können. Schnelligkeit, Präzision und Teamarbeit sind da gefragt.



Zelte hinzu. Melkadida ist eine der ersten Arbeiten, die Stella Hubert im ZKI übernahm. Ein Emergency-Support-Einsatz, bei dem die Zeit nicht ganz so drängte. „Da konnte ich dann noch bei den Kollegen nachfragen – eine gute Übung für die Einsätze, bei denen die Zeit läuft!“ Nächste Karte: der Waldbrand in Rumänien. Detailliert ist aufgelistet, welche Landschaftstypen durch das Feuer vernichtet wurden. Jedes Satellitenbild muss sorgfältig interpretiert werden, damit die Daten aus dem All die richtigen Angaben liefern.

Aus Stella Hubert sprudeln die Informationen nur so heraus. „Es ist einfach schön, wenn man am Ende seiner Arbeit ein fertiges Produkt hat, das man an einen Auftraggeber ausliefern kann“, sagt sie. „Ich habe schnell ein Ergebnis, das den Leuten vor Ort hilft.“ Dafür arbeitet die 28-Jährige auch bis spät in die Nacht. „Die Sachen müssen ja fertig werden.“ Außerdem schweiße es enorm zusammen, wenn man bis Mitternacht noch im Team gemeinsam an den Karten arbeite.

„Ich habe schnell ein Ergebnis, das den Leuten vor Ort hilft.“

die Infrastruktur“, erklärt Stella Hubert. „Für die Hilfskräfte ist das enorm wichtig – wenn 50 Prozent der Straßen unter Wasser stehen, müssen die wissen, wo sie noch durchkommen.“

Dicke Ordner für die Qualität

Damit beim Einsatz jeder weiß, wie alles ablaufen muss, hat die Mitarbeiterin des DFD noch eine weitere Aufgabe, bei der es ebenfalls aufs akribische Arbeiten ankommt: Stella Hubert ist zuständig für das Qualitätsmanagement im ZKI. „Unsere Produkte müssen ja eine hohe Qualität haben“, betont sie. Dafür müssen bestimmte Auflagen erfüllt sowie Prozesse dokumentiert und optimiert werden. Was in der Praxis klappen soll, muss in der Theorie schon vorbereitet werden. Im Kontrollraum stehen dicke Ordner, ganz genau wird darin aufgelistet, wer für welche Aufgaben zuständig ist, welche Abläufe einzuhalten sind.

Unterwegs in Westafrika

Akribisch sammelt Stella Hubert dann die Fakten, die als erläuternder Text neben der Karte stehen sollen. Wie ein Detektiv sucht sie auf anderen Satellitenbildern, in den Medien und im Internet nach Informationen. Wo gibt es Krankenhäuser, befinden sich Kraftwerke in der Region und wie sieht es mit der Verkehrsinfrastruktur aus? „Ich kombiniere beispielsweise die Informationen zu Überflutungen mit den Kenntnissen über

Ihren Platz im ZKI am Bildschirm neben dem „Activation Manager“, der den gesamten Einsatz leitet, hat Stella Hubert aber nur, wenn das Team zum Katastropheinsatz zusammengerufen wird. Wird das ZKI nicht aktiviert, um beispielsweise die Schäden eines Erdbebens mit den Daten aus dem Weltall zu erfassen, ist die Wissenschaftlerin mit ihren Gedanken in Westafrika. Seit dem 1. Oktober 2012 läuft das Projekt



„WASCAL“ („West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land“). Das DLR wird sich in Zukunft unter anderem mit Risikoabschätzungen für die Region daran beteiligen. Die Partner in den zehn westafrikanischen Ländern sollen Informationen erhalten, mit denen sie besser auf den Klimawandel reagieren können. Stella Hubert hebt die Hände und zählt an den Fingern ab: „Welche Daten gibt es bereits zur Region? Wie ist die Bevölkerung im Land verteilt? Wie wird das Land genutzt? Dann müssen wir abschätzen: Wie groß sind die Gefahren, die von Überflutungen und Dürren ausgehen? Welche Gebiete sind betroffen? Wie gut können die Menschen in Westafrika Schäden kompensieren, indem sie zum Beispiel andere Pflanzen anbauen?“ Ein Finger nach dem anderen wird ausgestreckt.

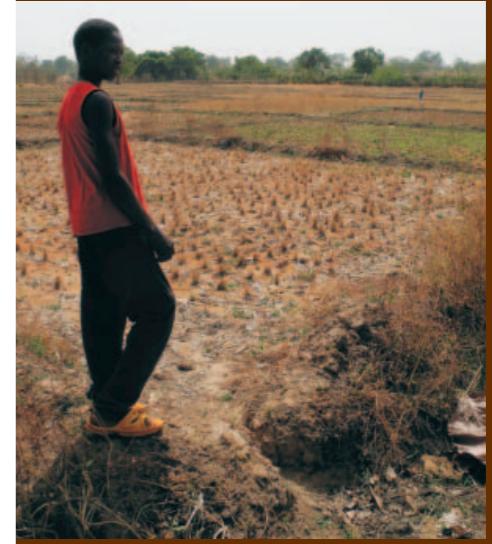
Stella Hubert hat zwar eine kenianische Mutter, hat in ihrer Kindheit in Tansania gelebt und später in Südafrika ihr Abitur gemacht – „Profitieren kann ich für meine Arbeit bei WASCAL davon aber nur wenig.“ Westafrika sei nun einmal etwas ganz anderes. Benin, Burkina Faso – da hilft kaum das Englisch, das sie genauso gut wie ihre Muttersprache Deutsch spricht. Und auch Kisaheli, die Sprache ihrer Mutter, spricht dort niemand. Knapp zwei Wochen war sie mit einer Kollegin der United Nations University im Benin und in Burkina Faso vor Ort unterwegs, um Kontakte aufzubauen. „Superanstrengend war das!“ Täglich drei bis vier Treffen mit Behörden, Nicht-Regierungsorganisationen, Einrichtungen. Viele Gespräche mussten auf Französisch geführt werden. Gerade einmal für zwei Tage ging es aus den Städten und Büros an die Grenze zu Ghana, um dort eines der Testgebiete des Projekts zu besichtigen.

Hilfe, die benötigt wird

Mit der Reise nach Benin und Burkina Faso konnte sie für den Anfang des Projekts bereits ein Netzwerk mit Beteiligten aufbauen. „Das waren sehr intensive Tage.“ Porto Novo, Cotonou, Ouagadougou, die Städtenamen klingen alle exotisch. Einmal reichte die Zeit, um in Ouagadougou auf ein Open-Air-Konzert zu gehen, ansonsten waren die Tage und Abende randvoll mit Arbeit gefüllt. Tagsüber führte Stella Hubert Interviews mit Partnern, abends saß sie mit ihrer Kollegin im Hotel und schrieb sich auf, wer vor Ort denn nun für was zuständig war, wer welche Informationen hatte und welche benötigt werden. „Man will ja später nicht etwas machen, was niemand in Westafrika braucht“, sagt sie nachdrücklich.

Den ganzen Tag nur Katastrophen, Risikoabschätzungen und Präventionsmaßnahmen im Blick – für Stella Hubert ist das nicht problematisch. „Ich halte jetzt nicht alle Länder automatisch für gefährlich“, lacht sie. Selbst wenn sie die Risiken sehr gut kennt, wenn es um Überflutungen oder Erdbeben geht. Schon nach ihrem Studium hat sie sich erst einmal Zeit genommen, um mehrere Monate durch die Welt zu reisen. Auf eigene Faust. Eines hat die Arbeit im Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum allerdings geändert: „Ich wundere mich immer, wie viele Katastrophen gar nicht in den Medien auftauchen, obwohl große Regionen betroffen sind.“ ●

Weitere Informationen:
www.zki.DLR.de



Für ihr Projekt „WASCAL“ reiste Stella Hubert nach Benin und Burkina Faso. Das DLR beteiligt sich an Risikoabschätzungen zu Dürren und Überflutungen in der Region. Die DLR-Wissenschaftlerin knüpfte die Kontakte vor Ort.

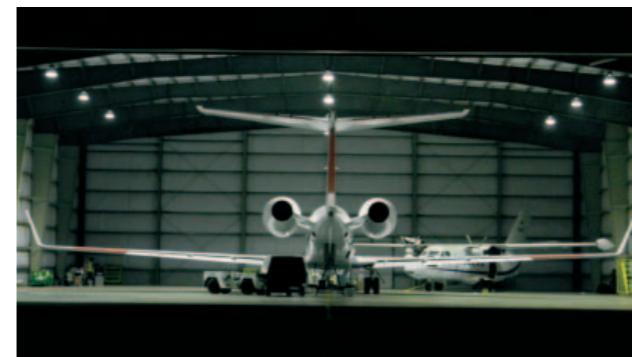


Einmal Antarktis und zurück – in zehn Tagen

Das im August 2012 an die Wissenschaft übergebene Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) ist von seiner ersten weltumspannenden Mission zurück. Um globale Klimamodelle zu überprüfen, absolvierte HALO in nur zehn Tagen Messflüge zwischen der Nord- und der Südpolarregion, vom norwegischen Spitzbergen bis zum Rand des antarktischen Kontinents. Unter Federführung des DLR untersuchte ein insgesamt 40-köpfiges Team von Wissenschaftlern und Ingenieuren aus Helmholtz-Zentren und Universitäten die Spurengaszusammensetzung und spezielle Transportprozesse in der Atmosphäre. Im Rahmen der Messkampagne ESMVal (Earth System Model Validation) wurden kontinentübergreifende Messreihen erflogen und Beobachtungen vom Boden bis zu 15 Kilometer Höhe in der Troposphäre und unteren Stratosphäre durchgeführt.

Mit HALO auf der Langstrecke

Von Dr. Hans Schlager, Steffen Gemsa und Andreas Schütz



Das Forschungsflugzeug HALO bei einem der wenigen Zwischenstopps dieses Messflugs: hier auf den Kapverden

HALO – ein Gemeinschaftsprojekt

Das Forschungsflugzeug HALO ist eine Gemeinschaftsinitiative deutscher Umwelt- und Klimaforschungseinrichtungen. Gefördert wird HALO durch Zuwendungen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Helmholtz-Gemeinschaft, der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), der Leibniz-Gemeinschaft, des Freistaates Bayern, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), des Deutschen GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ), des Forschungszentrums Jülich und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

10. September 2012, Oberpfaffenhofen

8:00 Uhr lokal: Voll bis unter die Kabinendecke mit wissenschaftlicher Ausrüstung steht HALO mit laufenden Triebwerken auf der Startbahn. Das anschwellende Triebwerksgeräusch stört den sonntäglichen Morgen, die Gulfstream 550 D-ADLR des DLR macht sich auf den Weg in die südliche Hemisphäre. Genauer gesagt in Richtung Südpolargebiet zur ersten interkontinentalen Messkampagne. Zehn Tage mit rund 65 Flugstunden liegen vor der Crew, der 40 Wissenschaftler und Ingenieure angehören. Zehn Tage, die ihnen technisch und physisch einiges abverlangen werden. Über die Kapverden geht es nach Kapstadt.

Nach einem Testflug in Oberpfaffenhofen beginnen bereits auf den ersten Etappen die wissenschaftlichen Messungen. Die Gelassenheit im Cockpit täuscht. Wochenlange Vorbereitungen, von der Planung der Flugrouten, über Diskussionen mit den Wissenschaftlern bis hin zu technischen Briefings liegen hinter der Besatzung im Cockpit. Der Erfolg der Mission hängt nicht zuletzt von ihrem Können ab. Drei Tage später wird es ernst.

13. September 2012, Kapstadt

3:45 Uhr lokal: Im Foyer des Hotels Park Inn versammelt sich der erste Teil der Mannschaft für die Fahrt zum internationalen Flughafen. Das Team soll die Messinstrumente für den Flug ins Südpolargebiet vorbereiten. Die Crew für den Messflug wird zwei Stunden später aufbrechen. Bei der Abfahrt vom Hotel herrscht starker Regen. Noch ist es Winter in Kapstadt. Besorgte Blicke an den Himmel, hoffentlich lässt der Regen bis zum Start



Von den Kapverdischen Inseln im Atlantik vor der Westküste Afrikas ging es weiter nach Kapstadt.
HALO auf dem Rollweg des Flughafens Sal.



HALO im Einsatz: auch für den DLR-Testpiloten Michael Grossrubatscher eine ganz besondere Mission



Abwechslung auf dem Nachtflug:
„Modenschau“ im Überlebensanzug

nach. Sollten Lufteinlässe und optische Fenster an den Messinstrumenten von HALO beim Start nass werden, kann sich in größeren Höhen störendes Eis bilden und die Messergebnisse sind nicht zu gebrauchen. Am Hangar angekommen, beginnen sofort die Arbeiten. Es wird nicht viel gesprochen zu dieser frühen Stunde. Die Handgriffe gehen fast automatisch. Nur die Kaffemaschine im Hangar steht nicht still, läuft auf Hochtouren. Zwei Geräte müssen zur Kühlung der Detektoren mit flüssigem Stickstoff, Temperatur minus 196 Grad Celsius, befüllt werden. Es war schwierig, den flüssigen Stickstoff in Kapstadt überhaupt zu bekommen.

In einem Büro neben dem Hangar werden die aktuellen Wettervorhersagen aus dem Internet heruntergeladen. Das Wetter Richtung Südpol ist gut, kein Gegenwind. Der HALO-Flug zum Rande des antarktischen Kontinents muss so geplant werden, dass beim eventuellen Ausfall eines Triebwerks oder bei einem Druckverlust in der Kabine auf dem dann notwendigen Rückflug in niedriger Höhe Südafrika wieder sicher erreicht wird. Eine Notlandung in der Antarktis kommt nicht in Frage, das würde ein zu großes Risiko bedeuten.

6:00 Uhr lokal: Die Crew für den Flug trifft am Flughafen von Kapstadt ein. Wegen der geplanten Flugzeit von mehr als zehn Stunden muss auf die maximal zulässigen Arbeitszeiten genau geachtet werden. Kurz vor dem Rausrollen von HALO aus dem Hangar kommt plötzlich Unruhe auf. Zwei Messinstrumente an Bord laufen nicht richtig. Mehrere Kollegen bemühen sich gleichzeitig um die Geräte. Im Kabinengang ist kein Durchkommen mehr. Jetzt nur keine unnötige Hektik, bloß keinen Fehler machen. Es sind nur Wortfetzen zu verstehen.

Endlich – alle Messinstrumente sind in Ordnung, laufen nominal. Jetzt hat auch das Wetter ein Einsehen, der Regen hat fast aufgehört – Erleichterung. HALO rollt zum Auftanken. Und die Besatzung muss zur Passkontrolle am anderen Ende des Flughafens. Leichte Verwunderung bei den Beteiligten, aber der Flug Richtung Antarktis und zurück ohne Zwischenlandung wird von den südafrikanischen Behörden wie eine internationale Ausreise behandelt.

8:00 Uhr lokal: Beim Start herrscht gespannte Atmosphäre in der Kabine. Die Wissenschaftler schauen auf die Monitore ihrer Instrumente mit den Housekeeping-Daten. Funktionieren alle Geräte richtig? Nach einer halben Stunde entspannen sich die Gesichter – alles im grünen Bereich. Während sich HALO nach mehr als vier Stunden an den antarktischen Kontinent annähert, bleibt auch Zeit für einen Blick aus dem Fenster. Die Gulfstream fliegt jetzt in knapp 15 Kilometer Höhe. Unter dem Flugzeug sieht man scheinbar unendliche Eiszapfen und einige niedrige Wolkenfelder. Über der weißen Fläche breitet sich ein tiefblauer Himmel aus – ein beeindruckender Ausblick.

Die Bodenmannschaft kann den Flugweg über eine Satellitenverbindung mitverfolgen und ist in Kontakt mit der Crew an Bord. HALO erreicht den Luftmassenwirbel über der Südpolarregion. Hier bildet sich zu dieser Jahreszeit das sogenannte Ozonloch, verursacht durch Chlor- und Brom-Verbindungen, deren Emissionen inzwischen verboten sind. Die HALO-Instrumente messen eine erhöhte Konzentration der Chlorverbindung HCl, gebildet durch die chemischen Prozesse im Ozonloch. Feine dünne, langgezogene Luftmassenzungen, sogenannte Luftmassenfilamente, haben sich vom Polarwirbel abgelöst – sehr interessant. Die Anspannung löst sich, die Wissenschaftler an Bord und am Boden sind begeistert.

Die Stunden beim Rückflug nach Kapstadt vergehen nur langsam. Müdigkeit macht sich in der Kabine breit. Zeit für eine Abwechslung: Studentin Isabell Krisch, die mit diesem Messflug dem Master ein Stück näher kommen will, zieht probeweise den orangefarbenen Überlebensanzug an – Gelächter überall in der Kabine.

18:30 Uhr lokal: Nach mehr als zehn Stunden Flug erfolgt die sichere Landung in Kapstadt. Bei einem kurzen Debriefing im Hangar sind sich alle einig: Die Mühen haben sich gelohnt. Auch in der Ferne wurde der Einsatz fast minutiös verfolgt – auf der Internationalen Luft- und Raumfahrtausstellung ILA in Berlin. Über Stunden wird der Flug online beobachtet. Dann macht sich auch dort Erleichterung breit, als klar ist: D-ADLR ist wieder sicher in Kapstadt gelandet. Nach einem Einsatz, der Crew und Flugzeug viel abverlangt hat.

In Kapstadt trifft man sich am späten Abend noch mal auf ein Bier im Hotel, auf der Dachterrasse. Von hier aus hat man einen herrlichen Blick auf den Tafelberg. Jemand sagt: „Was haben wir doch für einen tollen und spannenden Job.“

15. September 2012, Kapstadt

8:00 Uhr lokal: Zwei Tage später startet der Rückflug nach Oberpfaffenhofen über den Indischen Ozean. Zunächst geht es nonstop zu den Malediven, vorbei an Madagaskar, über die Seychellen hinweg. Hier müssen große Gewitter weitläufig umflogen werden. Kurz vor dem Verlassen der Reiseflughöhe in über 14 Kilometer Höhe bietet sich dann ein atemberaubender Blick: Die Milchstraße, wie ein Gemälde am Nachthimmel; zahlreiche Sternschnuppen und vereinzelt Wetterleuchten in weit entfernten tropischen Gewittern erzeugen eine geradezu surreale Atmosphäre.

Als die Crew auf dem internationalen Flughafen von Male landet, wird sie von noch über 30 Grad Celsius empfangen. Die hohe Luftfeuchtigkeit in der tropischen Luft lässt sofort den

Wasserdampf an allen Bauteilen von HALO kondensieren. Durch den fast zehnständigen Flug in großer Höhe bei minus 70 Grad Celsius sind alle Oberflächen vollkommen ausgekühlt. Noch am nächsten Tag fallen Wassertropfen von den Tragflügeln.

18. September 2012, Male

8:00 Uhr lokal: Drei Tage später startet HALO zum vorletzten Teil der Reise von Male über den Oman, Saudi-Arabien, Syrien, Libanon nach Zypern. Der syrische Luftraum wurde zur Sicherheit in größtmöglicher Höhe überflogen und der Sinkflug nach Larnaca wird erst über dem Libanon eingeleitet. Zwei Tage später bestätigen die Nachrichten, dass diese Flugplanung genau richtig war: In den überflogenen Gebieten gab es schwere Luftangriffe der syrischen Luftwaffe.

19. September 2012, Larnaca

8:30 Uhr lokal: Der letzte Flug führt von Larnaca, vorbei an Kreta, über Sizilien am rauchenden Ätna vorbei bis Korsika, um dann auf Nordkurs zurück nach Deutschland zu gelangen.

16:00 Uhr: Landung auf dem Heimatflughafen in Oberpfaffenhofen.

Dank der peniblen logistischen Vorbereitung, dem engagierten Einsatz aller Beteiligten und auch ein wenig Fortune konnte HALO bereits auf seiner ersten großen Reise alle seine herausragenden Fähigkeiten demonstrieren: Trotz der Außenanbauten legte das Forschungsflugzeug große Strecken auf bis zu 15 Kilometer Flughöhe zurück. So weit und hoch, wie man während der Auslegungsphase des Flugzeugs vor vielen Jahren zu träumen gewagt hatte. Zudem erwies sich HALO als sehr zuverlässig, alle Flüge konnten planmäßig gestartet werden.

Am Ende der ESMVal-Mission treffen sich alle Beteiligten im Hangar in Oberpfaffenhofen zu einem letzten Debriefing. Lange hatte man zusammen diese Messkampagne vorbereitet. Viele technische und logistische Probleme galt es zu meistern. Jetzt sieht man ausnahmslos zufriedene Gesichter in der ganzen Runde. Die nächste Mission kann kommen ... ●

Weitere Informationen:
<http://s.DLR.de/m2a1>

Autoren:

Dr. Hans Schlager vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen leitet die ESMVal-Mission. Steffen Gemsa gehört zur DLR-Einrichtung Flugexperimente in Oberpfaffenhofen und ist DLR-Testpilot.



Aus der Flughöhe von 15 Kilometern ist die Krümmung des Horizonts wahrnehmbar

HALO landet in Kapstadt. Der Messflug über dem Südmeer ist Geschichte.

Wissenschaftler im Schwebezustand

Antennen, die sich blitzschnell entrollen, Probanden, deren Kreislauf auf die Probe gestellt wird, oder auch Krebstiere, deren Schwimmverhalten untersucht wird – die Parabelflüge des DLR hatten seit 1999 die unterschiedlichsten „Passagiere“ an Bord. Die 10.000. Parabel wurde 2011 geflogen, die 20. Flugkampagne datiert vom September 2012. Damit stets alles funktioniert, müssen Wissenschaftler, Piloten, Fluglotsen und Ingenieure im Team zusammenarbeiten.

Bereits zum 20. Mal führt das DLR Parabelflüge durch

DLR-Redakteurin Manuela Braun sprach mit der Frau, die seit dem ersten Flug alles organisiert: Dr. Ulrike Friedrich

Bei den ersten Parabelflügen des DLR 1999 gab es acht Experimente an Bord des Flugzeugs. Wie hat sich seitdem die Nachfrage entwickelt?

Die Nachfrage von Seiten der Wissenschaftler ist in den letzten Jahren stetig gestiegen. Wir sind sehr schnell von anfangs acht Experimenten auf einen Durchschnitt von 12 bis 13 Versuchen pro Parabelflug gekommen. In den ersten Jahren haben wir immer eine Parabelflugkampagne pro Jahr Veranstaltet, seit 2006 sind es meistens zwei im Jahr.

Was ist die Ursache für die große Nachfrage? Gibt es immer mehr Experimente, die Schwerelosigkeit erfordern?

Zum einen hat es sich herumgesprochen, dass es solche wissenschaftlichen Parabelflüge gibt. Die Wissenschaftler haben außerdem mehr und mehr erkannt, dass sie auch bei diesen kurzen Zeiten von 22 Sekunden Schwerelosigkeit pro Parabel sehr wohl sinnvoll forschen und technologische Tests machen können. Zudem haben sich in den letzten 13 Jahren ja auch die technischen Möglichkeiten, die Analysemethoden in den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen weiterentwickelt. Fragen, die man früher im Minutenbereich untersucht hat, erforscht man heute ebenso präzise im Millisekundenbereich. Das fachliche Spektrum ist dabei schon immer breit gewesen – es gibt Experimente aus Biologie, Medizin, Physik, Materialforschung. Hinzugekommen sind technologische Erprobungen, beispielsweise aus dem Bereich Satellitenbau: Wie funktioniert das Ausrollen einer 14 Meter langen Struktur ohne Schwerkraft? Das kann man auf der Erde einfach nicht ausprobieren.



Dr. Ulrike Friedrich

Mittlerweile gibt es nicht nur Flüge mit Schwerelosigkeitsphasen, sondern es werden auch Parabeln geflogen, in denen die Gravitation von Mars oder Mond nachgestellt wird ...

Die Schwerelosigkeit beim Parabelflug ist die gleiche, wie sie in einem Raumschiff im Weltraum herrscht. Damit hat man viele Jahre geforscht. Von den Wissenschaftlern kam dann aber immer öfter die Frage: Wie sieht es denn bei den Zwischenschritten aus, bei verminderter Schwerkraft? Es gibt außerdem Forschungsvorhaben, die in Zukunft auf Mond oder Mars durchgeführt werden sollen. Deshalb ist es wichtig, dass man Experimente auch in partieller, also teilweiser Schwerelosigkeit durchführen kann.

Wie lässt sich das Gefühl der Schwerelosigkeit jemandem beschreiben, der dies noch nie erfahren hat?

Das ist schwierig, weil man das Gefühl mit keinem Zustand auf der Erde erklären kann. Ich selbst empfinde die Schwerelosigkeit als eine unendliche Leichtigkeit, als große Freiheit. Man spürt kein Gewicht mehr, man kann sich dreidimensional frei bewegen, kann Purzelbäume schlagen, sich auf den Kopf stellen ...

Wie sieht die Zukunft der Parabelflüge aus?

Die Anforderungen aus der Wissenschaft sind weiterhin vorhanden. Wir planen, das Parabelflug-Programm daher wie bisher weiterzuführen. Insbesondere werden in Zukunft wohl auch noch mehr Geräte auf Parabelflügen getestet werden, die später auf der Internationalen Raumstation oder auf einem Satelliten laufen sollen: Funktioniert mein Gerät, das ich für die Raumstation baue, so wie ich das möchte? Das zu prüfen, wird immer wichtiger. ●

Weitere Informationen:

Zu den DLR-Parabelflügen
<http://s.DLR.de/6zir>

Zu Dr. Ulrike Friedrich
<http://s.DLR.de/7xyy>





Ein Maulwurf für den Mars

Kein Planet wird gegenwärtig so intensiv erforscht wie der Mars. Nicht nur die vielfältigen Spuren, die Wasser in der Frühzeit auf dem Planeten hinterlassen hat, begründen die aufwändige Suche nach kleinen, ökologischen Nischen auf dem Mars und nach organischen Molekülen. Eine ganz andere Frage ist, wie sich der Mars zu dem Himmelskörper entwickelt hat, der er heute ist: Hier tappt die Wissenschaft noch ziemlich im Dunkeln. Das soll sich aber 2016 ändern, wenn die Forschungsstation InSight auf dem Mars landen wird.

Die NASA-Landesonde InSight wird ein Geophysik-Experiment des DLR an Bord haben

Von Ulrich Köhler

Gegenwärtig sind alle Augen auf Curiosity gerichtet, dem großen, mobilen Forschungslabor, das im August 2012 im Marskrater Gale landete, um nach organischen Verbindungen zu suchen. Doch einige fundamentale Fragen wird Curiosity nicht beantworten können: Wie sieht es eigentlich unter der Oberfläche des Mars aus? Welche physikalischen Eigenschaften haben Kruste, Mantel und Kern des Mars? Wie hat sich der Mars entwickelt?

InSight steht für ‚Interior Exploration using Seismic investigations, geodesy and heat transport‘. Neben dem obligatorischen Blick auf die Landestellen-Umgebung mit Kameras sollen vor allem geophysikalische Experimente auf und unter der Marsoberfläche durchgeführt werden, beispielsweise durch Messung der Geschwindigkeit von seismischen Wellen oder des Wärmeflusses. InSight soll ‚Einsichten‘ gewinnen, Rückschlüsse auf die Entwicklungsgeschichte des Mars liefern, wie er zu dem Planeten wurde, den wir heute kennen, wie seine innere Struktur ist und in welchem physikalischen Zustand sich sein Inneres befindet. Ferner möchten die Wissenschaftler herausfinden, welche tektonischen Vorgänge im Innern des Mars ablaufen. Dazu werden mit einem Seismometer Marsbeben aufgezeichnet und Einschläge von Meteoriten auf der Marsoberfläche gemessen.

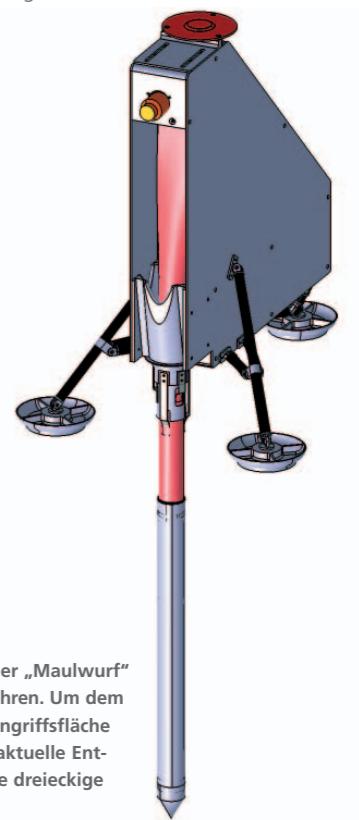
Zwar weiß man, dass sich die erdnahenlichen Planeten – Merkur, Venus, Erde mit Mond, Mars – nach ihrer Entstehung aus dem solaren Urnebel so stark aufheizten, dass sie zu großen Teilen aufschmolzen. So konnten sich leichte und schwere Bestandteile trennen und einen metallreichen Kern, einen silikatischen Mantel und darüber eine Gesteinskruste ausbilden. Jedoch verlief dieser Prozess bei den genannten Himmelskörpern unterschiedlich.

InSight wird Hinweise dazu liefern, was zwischen der Planetenentstehung und der Bildung von Kern, Mantel und Kruste passierte. Mit den Messungen sollen Größe, Zusammensetzung und Zustand des Kerns abgeschätzt werden. Man nimmt an, dass der Marskern ähnlich wie der Erdkern wesentlich aus Eisen besteht, aber mehr Schwefel und andere flüchtige Bestandteile enthält. Auch ist nicht klar, ob und zu welchem Anteil der Kern geschmolzen ist, was erklären könnte, warum der Mars heute kein Leben schützendes Magnetfeld mehr hat.

Für diese Aufgaben entwickeln DLR-Wissenschaftler ein Gerät, das in den Labors als „Maulwurf“ (englisch ‚mole‘) bezeichnet wird. Offiziell heißt es HP3, für Heat Flow and Physical Property Package. Der Begriff Maulwurf zielt auf das

Messverfahren: Mit einem elektromechanischen Schlagmechanismus wird ein Instrumentenbehälter bis zu fünf Meter tief in den Marsboden getrieben. Dabei zieht der am DLR entwickelte Bohrer ein mit Temperatursensoren bestücktes Messband hinter sich her, das mit der Landesonde verbunden bleibt. Indem der Wärmefluss direkt unter der Oberfläche vermessen wird, kann auf die Wärmeproduktion im Marsinneren und dessen Abkühlungsrate geschlossen werden. Damit ergeben sich Hinweise auf die Zusammensetzung des Planeten und seine Aktivität. Außerdem soll HP3 die geologische Schichtung in den ersten fünf Metern unter der Marsoberfläche erfassen, indem es die thermo-mechanischen Eigenschaften des Bodens misst – insbesondere hinsichtlich der Existenz von Eis. ●

Weitere Informationen:
<http://insight.jpl.nasa.gov>





Wenn sie uns zu nahe kommen

Der Einschlag eines großen Asteroiden oder Kometen auf der Erde ist sehr unwahrscheinlich. Aber sollte ein solches Unglück einmal geschehen, könnte dadurch die schlimmste Katastrophe ausgelöst werden, die unsere Zivilisation je erlebt hat. Um es noch einmal ganz deutlich zu sagen: Wir sprechen hier von einem wirklich sehr kleinen Risiko –, aber es ist mit verheerenden Folgen verbunden! Dieses Risiko zu ignorieren, ist gesellschaftlich, politisch und ja, auch ökonomisch sehr gefährlich: Es ist ein Thema, bei dem absolut „weltbürgerliches“ Denken und Handeln gefragt ist, denn im Falle eines Falles sind tatsächlich alle Menschen betroffen. Aus dieser Überlegung ist das Projekt NEOShield entstanden, bei dem unter Führung des DLR zum ersten Mal systematisch die Abwehr von kleinen Körpern untersucht wird, über einen „Schild“ gegen Asteroiden nachgedacht wird, kosmischen Körpern, die mit der Erde kollidieren und unsere Existenz gefährden könnten.

NEOShield: internationale Asteroidenabwehr mit System

Von Prof. Dr. Alan Harris

Die Europäische Kommission hat sich 2011 entschieden, im Rahmen ihres Siebten Rahmenprogramms für Forschung und Technologische Entwicklung (2007-2013) eine internationale Gruppe von Wissenschaftlern und Ingenieuren zusammenzubringen, um Methoden der Asteroidenabwehr zu untersuchen. Darüber hinaus sollen Weltraummissionen entworfen werden, bei denen sich die Wirksamkeit der Abwehrmethoden testen lässt. Den Zuschlag und die damit verbundene Finanzierung von 5,8 Millionen Euro erhielt ein Konsortium von 13 Partnern unter DLR-Führerführung, der Startschuss für das auf dreieinhalb Jahre ausgelegte NEOShield-Projekt fiel im Januar 2012.

Von einem „erdnahen Objekt“ (auf Englisch: near-Earth object oder NEO) wird dann gesprochen, wenn ein Asteroid oder ein Komet auf seiner elliptischen Bahn um die Sonne der Erde näher als 50 Millionen Kilometer kommen kann. Zum Vergleich: Der Mond umkreist die Erde in einer Distanz von knapp 400.000 Kilometern, und wenn der Mars der Erde gegenübersteht, ist er etwa 60 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. NEOs sind also Objekte, die der Erde theoretisch Gefahr bringen können. Bis jetzt gibt es etwa 9.000 bekannte NEOs, von einigen Metern bis hin zu 40 Kilometern Durchmesser.

Der Einschlag eines Objekts mit einem Durchmesser von nur einem Kilometer auf der Erde könnte aber globale Auswirkungen haben. Grund dafür ist die enorm hohe Geschwindigkeit von mehreren zehntausend Kilometern pro Stunde, mit der ein solches Objekt in die Erdatmosphäre eindringen würde. Immerhin etwas beruhigend ist, dass wir dank einiger hauptsächlich amerikanischer Sternwarten, die den Nachthimmel ständig nach NEOs abscannen, fast alle Objekte von mehr als einem Kilometer Durchmesser kennen. Das DLR ist mit EARN, dem European Asteroid Research Node, an der Katalogisierung der Asteroidenpopulation im Sonnensystem beteiligt. Auch daraus geht hervor: Wir kennen kein near-Earth object dieser Größenklasse, das unsere Zivilisation in den nächsten hundert Jahren bedrohen kann.

Als vor hundert Jahren Sibirien erbebt ...

Wie gefährlich aber können die kleineren NEOs sein? Es gibt schätzungsweise eine Million Objekte mit Durchmessern zwischen 30 und 50 Metern, davon ist bisher aber nur ein Bruchteil entdeckt worden. Ein Objekt dieser Größenklasse ist vermutlich für das Tunguska-Ereignis verantwortlich, bei dem im Jahre 1908 in Sibirien mehr als 80 Millionen Bäume auf einer Fläche von 2.000 Quadratkilometern – etwa die doppelte Fläche Berlins – wie Streichhölzer umgeknickt wurden. Es handelte sich wahrscheinlich um ein Objekt, das mit einer Geschwindigkeit von 50.000 Kilometern pro Stunde in die Atmosphäre eindrang und durch die entstandenen Kräfte beim sekundenschlenn „Zusammenschieben“ der Atmosphäre mit der Wucht von zehn Megatonnen TNT in einer Höhe von fünf bis zehn Kilometern zerbarst: Die davon ausgehende Druckwelle verursachte die enormen Verwüstungen. Auch gilt es zu bedenken, dass statistisch betrachtet zwei Drittel aller Einschläge in die Ozeane erfolgen, und dort können sie verheerende Tsunamis auslösen. Ein Beispiel des zerstörerischen Effekts eines kleinen NEOs ist der Barringer-Krater in Arizona, auch als ‚Meteor Crater‘ bekannt. Aufgrund seiner Lage in einer trockenen Wüste ist der 50.000 Jahre alte Krater bis heute gut erhalten (je nach geografischer Lage können Einschlagskrater wegen Witterung, Vegetation, und geologischer Aktivität relativ schnell unerkennbar werden). Da in der Gegend des Kraters metallische Meteoriten gefunden wurden, können wir davon ausgehen, dass der 1.200 Meter große und 180 Meter tiefe Krater durch den Einschlag eines massiven metallischen Objekts verursacht wurde. Der Durchmesser des Impaktors wurde auf lediglich 30 bis 50 Meter geschätzt.



Alan Harris und Line Drube, Postdoc im DLR-Institut für Planetenforschung, diskutieren die Physik von NEO-Abwehrmethoden



Künstlerische Darstellung eines Asteroideneinschlags auf der Erde



Ein NEO mit einem Durchmesser von nur 30 mal 50 Metern hat vor etwa 50.000 Jahren den Barringer-Krater in Arizona verursacht



Künstlerische Darstellung eines Gravity-Tractors mit einem Asteroiden im Schlepptau



Künstlerische Darstellung des Einschlags eines kinetischen Impaktors, beobachtet von einer Erkundungssonde



Ein nuklearer Sprengsatz wird nur als letzte Möglichkeit zur Verhinderung einer Kollision erwogen

Kandidaten, die der Erde nahe kommen

Was damals in Arizona passierte, ist allein schon recht beeindruckend. Laut statistischen Schätzungen müsste ein Objekt mit einem Durchmesser von 30 Metern durchaus alle paar hundert Jahre auf der Erde einschlagen. Da die heutigen NEO-Suchprogramme nur eine verhältnismäßig geringe Zahl dieser relativ kleinen Objekte finden, könnte theoretisch ein verheerender Einschlag ohne Vorwarnung passieren. Allerdings befinden sich schon einige leistungsfähige NEO-Suchprogramme in der Entwicklung, sodass erwartet werden darf, dass bald viel mehr von den bedrohlichen kleinen NEOs Jahre oder gar Jahrzehnte vor einem möglichen Einschlag entdeckt werden.

Zwei NEOs, die der Erde in nächster Zeit doch relativ gefährlich nah kommen werden, seien hier erwähnt: Apophis und 2011 AG5. Apophis, mit einem Durchmesser von etwa 270 Metern, wird im April 2029 mit einer Geschwindigkeit von sechs Kilometern pro Sekunde in einer Entfernung von nur 30.000 Kilometern zur Erdoberfläche an uns vorbeirrasen. Mehr noch: Wegen seiner erdähnlichen Umlaufbahn wird Apophis auf vorhersehbare Zeit ein für die Erde gefährliches Objekt bleiben. Bei 2011 AG5, mit einem Durchmesser von etwa 150 Metern, gibt es sogar eine geringe Wahrscheinlichkeit von eins zu 500, dass der Körper mit einer relativen Geschwindigkeit von etwa 15 Kilometern pro Sekunde im Jahr 2040 auf der Erde einschlagen könnte.

Entscheidend ist die Vorwarnzeit

Können wir uns gegen einen Asteroiden-Einschlag wehren? Die heutige Raumfahrttechnologie bietet einige vielversprechende Methoden an – vorausgesetzt, die Suchprogramme gewähren uns eine Vorwarnzeit von zehn bis zwanzig Jahren, und das bedrohliche Objekt ist nicht viel größer als ein Kilometer. Die Partner des NEOShield-Projekts befassen sich mit verschiedenen Aspekten des Problems, von der astronomischen Erkundung der physikalischen Eigenschaften der NEOs bis hin zur Entwicklung von Raumfahrttechnologien, beispielsweise Steuerungs- und Navigationssysteme, die für eine Abwehrmission notwendig sind. Hinzu kommen aber auch Laboruntersuchungen der Materialeigenschaften von Mineralien, aus denen Asteroiden zusammengesetzt sind, sowie Modellrechnungen zur inneren Struktur von Asteroiden und die Identifizierung von NEOs, die geeignet

sind, als Zielobjekte für Abwehr-Testmissionen zu dienen. Letztendlich werden die NEOShield-Partner zunächst eine allgemeine Strategie der Asteroidenabwehr untersuchen – von der Identifizierung eines bedrohlichen Objekts über die Kette von Entscheidungen, die getroffen werden müssen, um festzustellen, welche Erkundungsbeobachtungen und -missionen notwendig sind, bis hin zu der Frage, wann und was für eine Abwehrmission gestartet werden soll.

In erster Linie werden drei Abwehrmethoden im Detail untersucht. Da ist zunächst der sogenannte kinetische Impaktor: Eine mit relativ hoher Geschwindigkeit auf dem Asteroiden einschlagende Sonde erzeugt eine kleine, aber ausreichende Änderung seiner Bahn. Diese Methode ist mit heutiger Technologie für Objekte mit Durchmessern von bis zu etwa einem Kilometer durchaus in Erwägung zu ziehen. Allerdings sind noch viele offene Fragen zu klären. Welche Auswirkungen würden die innere Struktur, die Porosität des Asteroiden, seine Rotation und andere physikalische Faktoren auf das Ergebnis haben? Wie muss die Steuerung des Impaktors ausgelegt sein, damit er sein Ziel sicher und im richtigen Winkel trifft? Dabei muss beispielsweise auch der Effekt berücksichtigt werden, den die Bewegungen des Treibstoffes in der Raumsonde in der kritischen Phase der Navigation kurz vor dem Einschlag haben.

Ein zweiter Weg wird mit dem Ausdruck „Schwerkraft-Traktor“, dem „Gravity-Tractor“, umschrieben: Wird ein Asteroid, der Kurs auf die Erde nimmt, bereits Jahre, oder besser Jahrzehnte vor einer möglichen Kollision entdeckt, kommt diese Methode in Frage, die sich die Anziehungskraft einer Raumsonde zunutze macht: Lenkt man eine Raumsonde in die direkte Nähe eines gefährlichen NEOs, könnte sich die geringe, aber signifikante Anziehungskraft zwischen der Sonde und dem Asteroiden wie ein Seil auswirken. Beispielsweise könnte die Sonde mittels eines solar-elektrischen Antriebs sich selbst und den Asteroiden beschleunigen, bis eine ausreichende Änderung der Geschwindigkeit des Systems erreicht würde. Mit adäquater Vorwarnzeit würden schon Änderungen von einigen Zentimetern pro Sekunde oder weniger ausreichend sein, um einen katastrophalen Einschlag auf der Erde abzuwenden.

Obwohl diese Methode weniger leistungsstark ist, hat sie einen großen Vorteil: Die Oberfläche des NEOs bleibt unberührt und es werden keinerlei Informationen oder Annahmen

über die innere Struktur und Eigenschaften des Objekts benötigt. Es könnte auch sein, dass die beste Lösung eine Kombination dieser beiden beschriebenen Methoden wäre, wenn also zum Beispiel nach dem Einschlag eines kinetischen Impaktors auch noch ein Gravity-Tractor eingesetzt wird, um kleine Kurskorrekturen für eine neue Bahn des NEOs zu bewirken. So könnten zukünftige, gefährliche Annäherungen des NEOs an die Erde vermieden werden. Das Projekt NEOShield soll zeigen, wie realistisch diese Idee ist und unter welchen Umständen ein Gravity-Tractor einsetzbar wäre.

Als dritte Möglichkeit könnte eine nukleare Explosion in Erwägung gezogen werden. Wenn nämlich die Zeit drängen würde oder das Objekt unerwartet groß wäre, dann würden die beiden anderen Methoden möglicherweise nicht ausreichen. Die größte Kraft, die man einsetzen könnte, um den Asteroiden abzulenken, wären eine oder mehrere nukleare Explosionen. Obwohl diese Möglichkeit sehr kontrovers gesehen wird, könnte ein nuklearer Sprengsatz unsere letzte Hoffnung sein. Aber welche Auswirkung hätte eine Explosion in unmittelbarer Nähe eines Asteroiden oder auf seiner Oberfläche im luftleeren Weltall? Im Projekt NEOShield wird diese Methode im Detail studiert und es wird Aufschluss über die Umstände geben, die ihren Einsatz notwendig machen könnten. Allerdings nur mit Modellen im Computer; Testmissionen mit nuklearen Sprengsätzen sind nicht geplant!

Asteroiden-Abwehr als globale Aufgabe

Da ein NEO überall auf der Welt einschlagen kann – es gibt keine von den Asteroiden bevorzugten Regionen der Erde –, sollen möglichst viele Nationen an der Forschung von Abwehrmethoden und Strategien beteiligt sein. Im NEOShield-Projekt arbeiten sechs Länder zusammen, neben Deutschland, Großbritannien, Frankreich und Spanien auch Russland und die USA. Außer den oben genannten Zielen soll NEOShield Verknüpfungen zu verwandten internationalen Projekten und Initiativen aufbauen, um gemeinsame Ziele zu formulieren. Diesbezüglich hat das NEOShield-Projekt schon enge Kontakte zum Near-Earth-Object-Segment des Space-Situational-Awareness-Programms der ESA und zum „Action Team 14 on NEOs“ des Komitees für die friedvolle Nutzung des Weltraums (COPUOS) der Vereinten Nationen. Auch mit nationalen Weltraumorganisationen wird zusammengearbeitet.

Obwohl für die Test-Missionen zur NEO-Abwehr, ganz zu schweigen von einer internationalen Vereinbarung zum Durchführen einer Abwehraktion, viel größere Investitionen und Ressourcen notwendig sein werden, ist das EU-finanzierte NEOShield-Projekt ein wichtiger Schritt. Es bietet eine ausgezeichnete Gelegenheit, zu demonstrieren, wie Asteroiden zukünftig erfolgreich abgewehrt werden könnten. Denn wie sagten schon die Gallier: „Möge uns der Himmel nicht auf den Kopf fallen!“ ●

Weitere Informationen:
www.DLR.de/PF

Partner im NEOShield-Konsortium

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
- Observatoire de Paris, Frankreich
- Centre National de la Recherche Scientifique, Frankreich
- The Open University, Großbritannien
- Fraunhofer Ernst-Mach-Institut, Deutschland
- Queen's University Belfast, Großbritannien
- Astrium GmbH, Deutschland
- Astrium Limited, Großbritannien
- Astrium S.A.S., Frankreich
- Deimos Space, Spanien
- SETI Institute Corporation
Carl Sagan Center, USA
- TsNIIMash, Russische Föderation
- University of Surrey, Großbritannien

Autor:

Alan Harris ist Senior Scientist am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof und Honorarprofessor für Astrophysik in der School of Mathematics and Physics der Queen's University in Belfast. Für das Projekt NEOShield hat er die Federführung.

Teneriffa in der Rolle des Mars

Landefahrzeuge sind das A und O planetarer Raumfahrtmissionen. Je abwechslungsreicher die Geologie des Himmelskörpers, desto höher ist der Stellenwert von Mobilität. Ein Feldtest auf Teneriffa sollte zeigen, wie ein Rover sich heute schon autonom navigieren lässt und wo noch Entwicklungsbedarf besteht.

Robotische bildgestützte Rover-Navigation im Geländetest

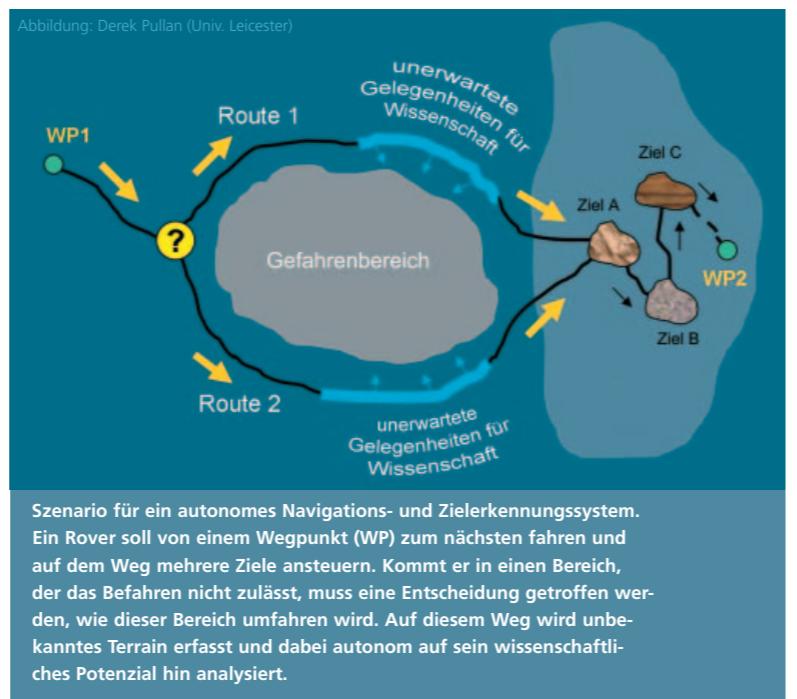
Von Ernst Hauber

Wäre der Marsrover Spirit nach seiner Landung auf den vulkanischen Ebenen im Gusev-Krater unbeweglich geblieben, hätten die Forscher lediglich Bilder von Basaltbrocken zu Gesicht bekommen. Erst eine Fahrt von mehreren Kilometern führte das Gefährt zu Stellen, an denen die Untersuchung der wasserreichen Geschichte des Mars möglich war. Die einige Jahre dauernde Rover-Reise erforderte eine ständige Betreuung durch ein großes und entsprechend teures Team aus Ingenieuren und Wissenschaftlern. In Zukunft sollten solche Plattformen viel selbstständiger agieren und navigieren können, um noch effektiver und zuverlässiger wissenschaftlich relevante Daten zu liefern.

Ein typisches Rover-Szenario auf dem Mars ist das autonome Überwinden einer Distanz von mehreren hundert Metern innerhalb eines oder mehrerer Marstage (1 Sol = 24 Stunden und 39 Minuten) entlang zuvor definierter Wegpunkte. Dabei ist das Risiko groß, an interessanteren Objekten einfach vorbeizufahren, ohne dass sie als solche erkannt werden. Die Datenübertragungsrate ist nämlich zu gering, um alle erfassbaren Bild- und Videosequenzen zu übermitteln und manuell auszuwerten. Deshalb ist es erforderlich, dass ein komplexes System aus Hard- und Software eigenständig interessante Objekte erkennen und lokalisieren kann und diese Informationen beim Planen weiterer Aktionen (Navigation, Bildaufnahme, Probenentnahme) mit einbezieht. Idealerweise werden dabei die Daten nach Mustern durchsucht, die auf interessante wissenschaftliche Ziele hinweisen, beispielsweise eine Abfolge geschichteter Sedimente. In diesem, und nur in diesem Fall werden die Bilder dann zur Erde übertragen, wo nach wie vor Menschen die Entscheidung treffen, ob der Rover den entsprechenden Ort näher untersuchen soll.

Im Rahmen des EU FP7-SPACE Projects Planetary Robotics Vision Scout, kurz PRoViScout, (2010-2012) haben Wissenschaftler von insgesamt zwölf europäischen Forschungsinstitutionen und Unternehmen an der Lösung genau solcher Problemstellungen gearbeitet. Die dabei entwickelten Algorithmen zur autonomen Proben-Identifikation und Probenauswahl sowie zur autonomen Gefahrenanalyse und Navigation im Gelände wurden im September 2012 im marsähnlichen Gelände des El-Teide Nationalparks auf Teneriffa getestet. Stereobilddaten der Rover-Kamera und von einem Ballon aufgenommene Luftbilder wurden zu digitalen Höhenmodellen und Orthobildern, also Draufsichten, verarbeitet und mit einem Referenzmodell des Terrains verglichen. Das Referenzmodell entspricht dabei den bei einer realen Mission abrufbaren Informationen, die etwa über Daten eines Orbiters zur Verfügung stehen. Das System verglich das Referenzmodell mit seinen in Echtzeit berechneten Informationen, um vorab definierte Wegpunkte anzufahren.

Beim Test in Teneriffa wurden erstmals in Europa sämtliche Komponenten einer solchen Mission in einem integrierten System am Fahrzeug erfolgreich zusammengefügt: Luftbildkartierung von einem Ballon mit nachfolgender 3-D-Auswertung



innerhalb weniger Stunden, interaktive Planung von Wegpunkten, autonome Navigation mittels Stereokameras inklusive Planung einer sicheren Traverse, automatisches Abfahren der Traverse mit gleichzeitiger Positionskontrolle und Scannen der Umgebung nach interessanten Objekten. Gleichzeitig konnte dieselbe Situation im angeschlossenen Kontrollraum vor Ort mittels Echtzeit-Visualisierung überprüft werden. Eine autonome Reaktion des Roboters auf neu gefundene Objekte konnte ebenfalls getestet werden.

PRoViScout zeigte damit das Potenzial künftiger autonomer Systeme zur Navigation und Identifizierung wissenschaftlicher Zielobjekte. Wertvolle Erfahrungen aus dem Feldtest können in naher Zukunft für die weitere Entwicklung unbemannter Marsmissionen verwendet werden. ●

Autor:

Ernst Hauber ist Geologe und untersucht die festen Oberflächen der inneren Planeten. Er ist mit der Planung und Auswertung der HRSC-Bilder vom Mars beschäftigt und Mitglied des Kamera-teams für den geplanten ExoMars Rover.

Weitere Informationen:
www.proviscout.eu





Whale-watching am Bodensee

Whale-watching ist in. Doch Wal-Beobachtung am Bodensee? Was auf den ersten Blick verwirren mag, offenbart sich bei näherer Betrachtung als ein luftfahrthistorisches Highlight ersten Ranges. Seit einigen Monaten präsentiert das sehenswerte Dornier Museum in Friedrichshafen (siehe auch DLR-Magazin 127) den originalgetreuen Nachbau eines Dornier Wal-Flugbootes. Der langjährige DLR-Luftfahrtredakteur Hans-Leo Richter war dort – und schwer begeistert.

Das Dornier Wal-Flugboot – eine Legende zurück in der Heimat

Von Hans-Leo Richter

Das bemerkenswerte Fortbewegungsmittel, ein Hochdecker mit zwei darauf angeordneten Motoren in Tandembauweise, wurde – in verschiedenen Versionen – rund 300 Mal gebaut und ist damit das weltweit meistgebaute Flugboot überhaupt. Das überwiegend im zivilen Dienst (Post- und später auch Passagierdienst), aber auch zu militärischen Zwecken eingesetzte Flugboot vereint zahlreiche Rekorde auf sich. So hatte Wolfgang von Gronau mit dem „Wal“ bereits mehrere Atlantiküberquerungen unternommen, als er 1932 zu seinem damals weit beachteten Weltflug aufbrach. Nach drei Monaten und 44.000 Flugkilometern erreichte der Rekordflieger wieder seinen Ausgangsort List auf Sylt.

Nicht zuletzt aufbauend auf diesen Erfahrungen begann die Lufthansa im Jahr 1934 mit diesem Flugzeugtyp den Südamerika-Postdienst. Die Wal-Postflugzeuge wurden dabei nach einer Zwischenwasserung im Atlantik von speziellen Versorgungsschiffen an Bord genommen, neu betankt und per Katapult wieder auf ihre Weiterreise geschickt. Insgesamt führten die „Wale“ im Postflugdienst 328 Atlantikflüge durch, eine für die damalige Zeit beachtliche Leistung. Auch im Passagierflugverkehr war der „Wal“ seit Mitte der Zwanzigerjahre auf den wichtigsten europäischen Flugrouten sowie in Übersee erfolgreich im Einsatz.

Der jetzt in Friedrichshafen ausgestellte Nachbau ist allerdings nicht irgendein Dornier Wal, sondern eine minutiöse Nachbildung des Flugbootes Wal N 25, mit dem der norwegische Polarforscher Roald Amundsen am 21. Mai 1925 zu seiner Polarexpedition aufgebrochen war. Zu dieser vielbeachte-

ten Expedition zählten sogar zwei Wal-Flugboote. Aufgrund technischer Probleme sowie zunehmend dichter werdenden Nebels mussten beide „Wale“ unplanmäßig im Packeis landen. Dabei wurde das Flugboot N 24 so stark beschädigt, dass es von den Expeditionsteilnehmern aufgegeben werden musste. Mit dem verbliebenen Flugboot N 25 gelangen Amundsen und seinen fünf Mitstreitern tatsächlich der Rückstart aus dem ewigen Eis und die sichere Heimkehr nach Spitzbergen. Trotz des vorzeitigen Abbruchs dieser Expedition waren Polarforscher und Wissenschaftler mit den Ergebnissen hochzufrieden. Später gelangte dieses Amundsen-Polarflugboot ins Deutsche Museum nach München, wo es bedauerlicherweise bei Luftangriffen gegen Ende des Zweiten Weltkriegs nahezu vollständig zerstört wurde.

Langwierige Detektivarbeit

Heute existiert weltweit nur noch ein einziges Wal-Exemplar und zwar in einem argentinischen Transportmuseum. Dort verbrachte Karl Bircsak, Leiter der International Aviation Museum Foundation im ungarischen Hereg (etwa 70 Kilometer westlich von Budapest), einem der renommiertesten Restaurationsbetriebe in Europa, zusammen mit den Technischen Zeichnerin und Ingenieurin Zsofia Borbely viele Wochen, um dieses Exemplar in allen Facetten zu vermessen und zu dokumentieren. Darüber hinaus wurden fragmentarische Originalpläne rekonstruiert, woran der ehemalige Leiter der Flugzeug-Handbücher bei den Dornier Werken (1938-1945), Oberingenieur i. R. Franz Selinger (Jahrgang 1915), mit großem Engagement beteiligt war.



Das Haus Dornier

Das Dornier Museum wurde im Sommer 2009 eröffnet. Es veranschaulicht die wechselvolle Historie des Hauses Dornier. Zuschauermagneten sind vor allem die Luftfahrzeuge aus den unterschiedlichsten Epochen. Sowohl in dem großen Ausstellungshangar als auch auf dem unmittelbar angrenzenden Freigelände sind sie ein besonderer Blickfang: das Verkehrsflugzeug Dornier Merkur, der Senkrechtstarter Do 31, eine Do 29 mit schwenkbaren Motoren sowie eine Breguet Atlantic, ein Alphajet sowie die klassische Do 27, das erste Zivilflugzeug aus dem Hause Dornier nach dem Zweiten Weltkrieg.



Karl Bircsak und sein Team haben große Erfahrung mit der Restaurierung markanter historischer Luftfahrzeuge. Für den Dornier Wal war luftfahrtarchäologische Basisarbeit erforderlich. Denn es existierten kaum noch originale Pläne und Zeichnungen. Karl Bircsak präzisiert: „Wir orientierten uns an diesem einen Original-Wal in Argentinien, den wir intensiv und detaillgetreu vermaßen. Da ja keine Originalzeichnungen mehr vorhanden waren, war dies unser einziger Anhaltspunkt, abgesehen von vielen Bildern und der Filmdokumentation aus der Zeit der Expedition, die wir aufzustöbern und verwerten konnten.“ In zweijähriger Arbeit gelang schließlich die Rekonstruktion dieses einzigartigen Flugbootes. (Über die geplante Rekonstruktion eines weiteren historischen Flugzeugs, einer Junkers F 13 im ungarischen Herg, berichtete das DLR-Magazin in seiner Ausgabe 129.)

Besonderen Wert legte das Team aus Herg auf eine weitgehend authentische Wiedergabe des Polarflugzeugs. So konnten beispielsweise die Originalinstrumente in das enge – und offene! – Zweimann-Cockpit integriert werden. Eine Besonderheit stellen ein sogenannter Sonnenkompass sowie ein externes Hydrometer dar, welche die Restauratoren getreu dem Vorbild recht dicht vor der rechten Cockpit-Öffnung auf der Außenhaut des „Wal“ anbrachten. Die äußereren Abmessungen des Flugbootes sind allein schon bemerkenswert, mit einer Länge von 17 Metern und einer Spannweite von 22 Metern beherrscht es den großen Ausstellungshangar des Dornier Museums. Und hier kann man sich jetzt auch aus nächster Nähe mit den charakteristischen Konstruktionsdetails vertraut machen.

Stummelflügel und optimale Motoren

Da fallen zuerst die für alle Dornier Flugboote charakteristischen Stummelflügel an der unteren Seite des Rumpfes auf. Sie sind in der Tat eine bezeichnende Besonderheit, die sich Firmengründer Claude Dornier folgerichtig schon 1917 patentieren ließ. Diese Stummelflügel dienten einerseits als voll funktionsfähiger Schwimmkörper. Sie gaben bei der Wasserung dem Rumpf durch eine vergrößerte Auflagefläche eine zusätzliche Stabilität – was schon bei nur leichter Dünung ein buchstäblich spürbarer, geradezu hochseetüchtiger Vorteil war. Zum zweiten waren die Stummelflügel auch als Auftriebskörper nicht ohne Bedeutung, die Aerodynamik des Flugbootes

verbesserte sich so erheblich. Last not least trugen sie auch die unteren Anlenkpunkte der Verstrebenungen des hoch gelegenen Tragflügels.

Bemerkenswert war gewiss auch die Tandembauweise der beiden Motoren. Zum einen bot diese sehr platzsparende Anordnung der Motoren eine zu beiden Seiten störungsfreie Anströmung der Tragflügel. Zum anderen entfielen aufgrund dieser Anordnung bei einem – damals ja noch gar nicht so seltenen – Motorausfall einseitige Giermomente, die auch für geübte Piloten eine Herausforderung darstellten.

Überhaupt die Motoren: Anfänglich verwendete Dornier Maybach-, beziehungsweise Rolls-Royce-Motoren, später experimentierte man mit weiteren Triebwerken wie beispielsweise von Hispano-Suiza, Napier Lion, Gnome Jupiter, Lorraine-Dietrich und anderen. Schlussendlich allerdings kamen nahezu ausnahmslos BMW VI zum Einsatz, zuverlässige V-12-Zylinder-Flugmotoren mit rund 690 PS Leistung. Diese Motoren ermöglichen dem „Wal“ eine Höchstgeschwindigkeit von rund 220 Stundenkilometern und eine Dienstgipfelhöhe von etwa 3.500 Metern. Daten, die heute zwar von beinahe jedem besseren Ultralight-Flugzeug erreicht werden, die damals aber – zumal für ein Flugboot – beachtlich waren.

Die Bedeutung dieses Flugbootes fasste Firmenpatriarch Claude Dornier selbst einmal in der Bemerkung zusammen: „Man kann sagen, der Wal hat Dornier gemacht“. Und das war gewiss nicht zu hoch gegriffen, denn mit diesem technisch anspruchsvollen Amphibienluftfahrzeug und seiner einzigartigen Kombination aus ebenso guten Flugeigenschaften wie ausgezeichneter Seetüchtigkeit erwuchs aus dem anfänglichen Versuchsunternehmen ein international renommierter Flugzeughersteller, der sich bis in unsere Tage mit hervorragenden Flugzeugkonstruktionen auch auf dem internationalen Markt behauptet. Dass schließlich die letzten großen Blütenträume eines Mittelstrecken-Verkehrsjets nicht mehr reifen sollten, hatte viele Ursachen. Doch über den Tag hinaus vermag dieser traurige Verlauf der Firmengeschichte es nicht, den exzellenten Ruf des Namens Dornier nachhaltig zu schädigen. ●

Weitere Informationen:
www.dorniermuseum.de



Im Beisein zahlreicher Ehrengäste wurde der Dornier Wal im Sommer 2012 erstmals der Öffentlichkeit präsentiert (links). Handwerkliche Präzision war oberstes Gebot bei der aufwändigen Rekonstruktion des historischen Flugbootes. Die Bildleiste zeigt das Cockpit, die schräg davor angebrachte Einheit aus Sonnenkompass und Hydrometer sowie ein Detail der Innengeometrie des Rumpfes.

Der Wal und Amundsen

Pünktlich zum dritten Geburtstag des auch von seiner Architektur her außergewöhnlichen Museums wurde das Flugboot Dornier Wal in die Reihe der beeindruckenden Großexponate aufgenommen. Ergänzend zum Flugboot zeigt das Museum bis zum Frühjahr 2013 eine Sonderausstellung, bei der neben dem Flugboot vor allem auch die Polarexpedition Amundsens im Mittelpunkt steht. Von November bis April ist das unmittelbar am Flughafen Friedrichshafen gelegene Museum täglich mit Ausnahme von Montag von 10 bis 17 Uhr geöffnet.



Die frühesten Sterne: eine Hommage

Eine Begegnung mit der Astrophysikerin und Buchautorin Anna Frebel

Von Peter Zarth

Punkt, Punkt, Komma, Strich: Fertig ist das Mondgesicht. Im Kinderreim wird aus wenigen Interpunktionszeichen ein Himmelskörper erschaffen: der Mond. Anna Frebel, Assistant Professor of Physics am Massachusetts Institute of Technology (MIT), verbüfft im Gespräch mit dem DLR-Magazin gleich zu Beginn: „Ich denke gerne über Sprache nach.“ Das tut sie konsequent, und, wie sie wohl sagen würde: „geordnet“. Bis hin zum nur scheinbar Bedeutungslosen: dem Interpunktionszeichen.

Anna Frebel hat ein Buch (Kurzrezension umseitig) geschrieben, in dem sie auch bei den Interpunktionszeichen genau ist: „Es ist wichtig, das zu schreiben, was man meint“, sagt sie. „Präzision ist wichtig: Das muss bis in die Worte gehen.“ Ihr Buch erzähle aber auch viel von den Superlativen im Universum: „Wenn dabei die Worte nicht ausreichen, bleibt manchmal nur eines: das Ausufezeichen!“

Stellare Archäologie

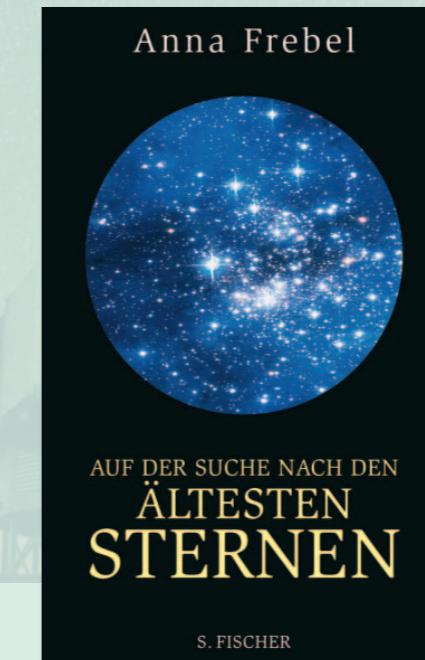
Ergeben hat sich dieses Nachdenken über die Sprache erst mit ihrem Wechsel ins Ausland: Anna Frebel studierte Physik in Freiburg im Breisgau, promovierte in Australien und ist nun am MIT. Der deutsche Buchmarkt entdeckte sie und schreibt ihr Attribute zu, die wohl verkaufsfördernd sein sollen: „Shooting Star“, „jüngste deutsche Professorin am MIT“ und anderes mehr. Anna Frebel dürfte sich bereits über die falsche Verwendung des Wortes „Shooting Star“ ärgern: Mit ihrer wissenschaftlichen Leistung ist sie alles, nur keine schnell verglühende Sternschnuppe: weder in der Astrophysik, noch, das kann schon jetzt als sicher gelten, am zuweilen düsteren Himmel des deutschen Verlagswesens. Anna Frebel kann nämlich etwas, das im deutschen Wissenschaftsbetrieb selten geworden ist: einfach und verständlich über hochkomplexe Forschungsthemen schreiben. Und eines hat sie nun überhaupt nicht nötig: Marketing-tricks.

Ihr Thema sind die frühesten Sterne. „Stellare Archäologie“ nennt die Forschung seit Anfang des Jahrtausends dieses Gebiet: so publikumswirksam wie falsch. Wirksam, weil mit dem Ruf der klassischen, in der Tat aber kunsthistorisch ausgerichteten Archäologie gespielt wird; falsch, weil Anna Frebels Fachgebiet, wenn man schon in Analogien spricht, die Ur- und Frühgeschichte wäre. Stratigrafie heißt dort eine der wesentlichen Methoden. Für Anna Frebels „Stratigrafie“ – die Entdeckung und Beschreibung ältester Sterne – hat sie eines der besten Teleskope der Welt zur Verfügung: das Magellan in Chile. Nur ist sie eben keine Ur- und Frühgeschichts-Stratigrafin, die Schicht um Schicht bei einer Grabung freilegt, sondern eine „Star-tigrafin“. Ihre Methoden dabei sind vielfältig: „Die Arbeit mit diesen frühen, metallarmen Sternen fasst so vieles zusammen: Chemie, Physik, Mathematik, kosmologische Simulationen“, sagt Frebel, und weiter: „Man muss Hochachtung vor allem haben, was da draußen ist.“



Professor Anna Frebel lehrt und forscht am MIT in Cambridge, USA. Die Astrophysikerin stellte in Berlin ihr neues Buch über die ältesten Sterne im Universum vor.

Bild: Dr. Gábor Furecz



Astrophysik und Kuchenbacken

Anna Frebel interessierte sich schon als junger Mensch für Astronomie. Den Wesenskern dieser Forscherin erfasst man vielleicht mit einem ihrer einfachen, an den eingangs erwähnten Kinderspruch erinnernden Sätze, die schlicht und wahr zugleich sind: „Man soll staunen über die Welt! Warum haben wir zum Beispiel fünf Finger und nicht drei? Wir sollten nach Antworten suchen.“ Oder: „Wir haben nur ein Leben. Daraus sollte man etwas machen.“ Auch Anna Frebels Denkweise ist einfach, genau: Sie ist geradlinig und klar. Als Kind habe sie unter anderem Briefmarken gesammelt. Anna Frebel formt ihre Hände zu Flächen und streckt die Arme gerade nach vorne: „Klar ausgerichtet, in Reihe und Glied eingesteckt, so waren die Marken: wie Steine.“ Derart geordnet gehe sie auch in der Wissenschaft vor: „Ich denke einen Schritt nach vorne und überlege mir, wie die nächsten drei Schritte aussehen könnten.“ Mit ihren Studenten arbeite sie ähnlich: „Auch die bekommen das erste Kapitel aus meinem Buch“, ein erstes Kapitel, das, nebenbei gesagt, den Leser mehr mit Chemie denn mit Astrophysik überrascht. Und mit Kuchenbacken: Sie lesen richtig. Eine MIT-Professoressa traut es sich, in einer Publikation Grafiken mit Apfelkuchen abdrucken zu lassen. Und wir möchten hier keinesfalls verraten, weshalb: Das Buch nämlich sollten Sie sich unter den Gabentisch legen lassen.

13 Milliarden Jahre bis zur Gegenwart

Wir beenden das Gespräch mit einem Blick auf ihre Herkunft und auf die Widmung des Buches, das „den Wissen-

schaftlerinnen“ sowie Anna Frebels Großmüttern und ihrer Mutter zugesetzt ist. Mit ihrem Blick in die Vergangenheit, ob in fernste Zeiten oder in Zeiten eines menschlichen Lebenslaufs, bewahrheitet sich der mittlerweile zum Klassiker gewordene Satz: „Ohne Vergangenheit hat die Gegenwart keine Zukunft.“ Anna Frebels (Grundlagen-)Forschung führt uns aus 13 Milliarden Jahren vergangener Zeit über die Gegenwart in eine Zukunft, in der wir „new science from old stars“ erhalten werden. Mit diesen Worten bringt sie selbst ihre Forschung auf den Punkt: und das in beinahe schon altmodisch wirkender Bescheidenheit.

Kehren wir aber noch einmal kurz zurück an den Anfang und machen einen winzigen Zeitsprung: zur Sprache und den Interpunktionszeichen. Ihr Lieblingsinterpunktionszeichen sei der Doppelpunkt. Man treffe eine Aussage, danach vertiefe man sie: „Der Doppelpunkt leitet das ein“, sagt Anna Frebel. Dem Fragezeichen hingegen misstrauie sie: „Es ist nämlich einfach, es oft zu benutzen.“ In ihrem Buch „Auf der Suche nach den ältesten Sternen“, für sie eine „Hommage an die Sterne“, habe man ihr – „vielleicht, ganz sicher bin ich da nicht“ – zu viele Doppelpunkte gestrichen. – Wir durften ihr hiermit ein paar zurückgeben: als Hommage. •

Weitere Informationen:

Zur Internetseite von Anna Frebel
<http://space.mit.edu/~afrebel/>

Diamanten des Himmels

Auf rund 350 Seiten führt uns Anna Frebel in ihrem Buch **Auf der Suche nach den ältesten Sternen** (**S. Fischer Verlag**) in das faszinierende Gebiet der stellaren Archäologie und dort besonders in die Welt der metallarmen Sterne ein. Leicht lesbar, mit lebendigen Anekdoten unterfüttert und in der besten Tradition anglo-amerikanischer Verständlichkeit reist die deutsche, am Massachusetts Institute of Technology forschende und lehrende Professorin mit uns vom Urknall zu den ältesten Sternen im Universum. Solche metallarmen Sterne sind selten. Deshalb, und weil sie viel Kohlenstoff enthalten, bezeichnet die Autorin sie auch gerne als die „Diamanten des Himmels“. Sie „helfen uns in einmaliger Art, die Abläufe der allerersten kosmischen Ereignisse im ganz Kleinen wie auch im ganz Großen zu rekonstruieren.“

Das Buch ist gleichzeitig ein Beweis dafür, dass und wie Naturwissenschaften in einem astrophysikalischen Forschungsfeld synergetisch zusammenwirken: Chemie, Physik, sogar Biologie tragen dazu bei, die Frühzeit des Universums zu verstehen; die Forschung wiederum zu und über diese Zeit erweitert das Wissen und die Erkenntnisse um die Entwicklung des Kosmos vom Beginn bis zur Ausbildung von Milchstraße, Sonnensystem und dem biologischen Leben auf der Erde. Das Buch enthält neben Fachgrafiken leserfreundliche Darstellungen, die – fast in Form von kleinen graphic novels – komplizierte Vorgänge in einfacher Weise erklären. Im farbigen Bildteil trauen sich Autorin und Verlag, neben klassischer Wissensvermittlung auch Persönliches dieser Ausnahmforscherin zu zeigen.

Quintessenz: Hochkomplexe Grundlagenforschung dargestellt in einer Art und Weise, wie sie der deutsche Wissenschaftsbetrieb selten hervorbringt: mit leichter Feder geschrieben, flüssig erzählt und dabei durchweg seriös und voller Neugier.

za.



Bilder: Birgit Arenz



Rezensionen

Glückliche Liebe und andere Gedichte

An mein Gedicht

Im besten Fall
wirst du mein Gedicht aufmerksam zu
kommentieren und in Erfahrung zu bringen.



Im schlechteren Fall
nur durchgelesen.

Die dritte Möglichkeit –
du wirst geschrieben,
aber gleich in den Papieren.

Oder du kannst den vierten Ausweg wählen:
du verschwindest ungeschrieben
und murmelst zufrieden vor dich hin.

Wislawa Szymborska
Suhrkamp

Sie war wohl selbst im Gewohnten anders. Gewöhnlich war ihr nichts, das kann unterstellt werden. Auch das hat die Nobelpreisträgerin Wislawa Szymborska zur Ausnahmedichterin Europas werden lassen, neben dem Russen Joseph Brodsky, Nobelpreisträger auch er, der sich in Demut vor der großen Polin verneigte. Beide sind sie Meister des naiven Staunens über die Welt.

Spätestens nach den Anschlägen vom 11. September wurde die Szymborska auch weltweit ein Begriff: Ihr Gedicht zum Anschlag auf die Zwillingstürme von New York hing so gut wie in jeder amerikanischen U-Bahn aus. So einfach sie schreibt, so verständlich sie denkt, so unvorhersehbar und unberechenbar ist gleichzeitig ihr Denken. Ein Denken, das immer einschloss, was sich mit Lyrik eher schwertut: Naturwissenschaft und Technik. Zwei Beispiele: Eines ihrer berühmten Gedichte heißt: „Die Zahl Pi“, eines über Darwin schlicht „Trost“. Verweise auf den Kosmos, und auf konkrete Raumfahrt, finden sich in ihrem Gesamtwerk zahlreich.

Am 1. Februar 2012 ist sie in Krakau gestorben; ihr letzter Gedichtband „Glückliche Liebe“, unlängst bei Suhrkamp verlegt, wurde zu dem, was ein Verlag „Vermächtnis“ nennt. Solche großen Worte hatte sie selbst nicht nötig. Wie sie es vielleicht auch abgelehnt hätte, dass immer wieder bereits erschienene Gedichte in „neuen“ Bänden mit aufgelegt wurden. Ihr letzter Gedichtband lohnt schon wegen eines einzigen Gedichts: In ihm kulminiert die Offenheit eines menschlichen Universums in einem einzigen Interpunktionszeichen. Alles Weitere hat sie schon vor Jahren auf den Punkt gebracht: „Das Buch des Lebens ist immer in der Mitte aufgeschlagen.“

Peter Zarth

Vom Glück des Andersseins

Eigentlich könnte jedes Gedicht

Eigentlich könnte jedes Gedicht den Titel „Augenblick“ tragen.

es genügt eine Phrase
im Präsens,
im Perfekt oder gar Futur;

es genügt, dass was auch immer
von Worten getragen
raschelt, aufblitzt,
vorbeifliegt, vorüberzieht
oder auch die vermeintliche
Unveränderlichkeit bewahrt,
aber mit beweglichem Schatten;

es genügt, dass die Rede ist
von jemandem neben jemandem
oder jemandem neben etwas;

von Hans und Lotte, die in die Schule
gehen oder auch nicht mehr;

oder von anderen Lotten,
Schulen, nicht Schulen
aus anderen Fibeln,
die der Wind durchblättert;

es genügt, wenn in Sichtweite
provisorische Berge angebracht sind
und unbeständige Täler;

wenn der Autor bei dieser Gelegenheit
den Himmel erwähnt,
der nur scheinbar ewig ist und stabil;

wenn unter der schreibenden Hand
auch nur ein einziges Ding erscheint,
das jemandem gehört;

wenn schwarz auf weiß,
oder auch nur als Vermutung,
aus wichtigem oder banalem Grund
Fragezeichen gesetzt werden
und als Antwort –
ein Doppelpunkt:

Aus „Glückliche Liebe und andere Gedichte“ von Wislawa Szymborska, erschienen bei Suhrkamp in einer Übersetzung aus dem Polnischen von Renate Schmidgall und Karl Dedeckius

BERNHARD KEGEL

EIN TIEFER FALL

Roman

mare



Drama um die Urzellen der Tiefsee

Ein Wissenschaftler tot in einem zersplitten Aquarium, ein weiterer Wissenschaftler, der aus dem Fenster des Labors stürzt. Im Biologiezentrum der Kieler Christian-Albrechts-Universität muss einiges im Argen liegen. Biologe Hermann Pauli ist fassungslos darüber, was in der Arbeitsgruppe seines gefeierten Kollegen Frank Moebus geschehen sein muss. Moebus hingegen ist vor allem an einem interessiert: an den von ihm entdeckten Urzellen aus der Tiefsee, die im Sicherheitslabor lagern. Aber warum rückt er diese entgegen allen wissenschaftlichen Gepflogenheiten nicht raus? Und warum bekämpften sich zwei Wissenschaftler bis zum Tod?

Bernhard Kegels **Ein tiefer Fall** (mare Verlag) ist ein Wissenschaftskrimi, der auch tatsächlich einer ist. Protestierende Studenten, die Diskussion um korrekte, ehrliche Wissenschaft und Streitbriefe in der Fachzeitschrift „Nature“ stehen nicht nur gleichberechtigt zur blutigen Tat im Mittelpunkt des Krimis, sondern nehmen einen Großteil des Romans ein. Letztendlich führen sie dann auch zur Lösung. Der Autor ist selbst promovierter Biologe und kennt den Wissenschaftsbetrieb. Wer actionreiche Thriller schätzt, liegt mit „Ein tiefer Fall“ falsch. Wer hingegen zu schätzen weiß, dass er einen Einblick in die Welt der Forschung erhält, wird mit dem 500-Seiten-Krimi sehr zufrieden sein.

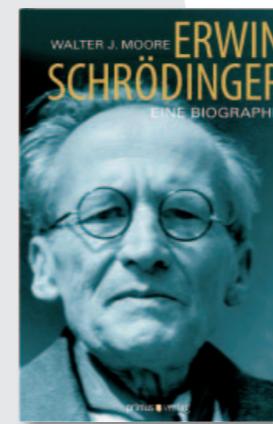
Manuela Braun

Wenn Liebe vom Himmel fällt ...

Der Film **Baikonur** (Arte-Edition) erzählt die ungewöhnliche Liebesgeschichte zwischen einem kasachischen Dorfjungen und einer französischen Weltraumtouristin. „Was vom Himmel fällt, darf man behalten“: Nach diesem Gesetz der kasachischen Steppe sammeln die Bewohner eines kleinen Dorfs unweit der Raumstation Baikonur Weltrauschrott, um diesen gegen Lebensmittel zu tauschen. Der elternlos heranwachsende Iskander, der wegen seiner Leidenschaft für die Raumfahrt von allen „Gagarin“ genannt wird, findet dabei die französische Weltraumtouristin Julie in ihrer Raumkapsel in der Wildnis der Steppe. Da die Schöne, die im Laufe des Films wenig redet, aber umso mehr Haut zeigt, sich nach einer missglückten Landung an nichts mehr erinnert, darf „Gagarin“ ein bisschen in Romantik schwelgen und vorgeben, sie sei seine Verlobte. Bis die Lüge ans Tageslicht kommt ...

In den letzten Szenen fragt man sich resigniert: Ist die Moral von der Geschicht', einen Traum zu leben lohnt sich nicht? Denn Julie gesteht, dass ihre Liebe allein den Sternen gilt und Iskander kehrt zurück ins Dorf zu seinen Schafen. Der Film ist pure Fantasie, keine Frage. Doch diese absurde Geschichte wird nicht etwa grotesk überzeichnet. Es wird die Rolle der kasachischen Frau beschrieben, die ulkigen Traditionen eines Dorfs, der naive Gutmenschen. Das Vordringen in fremde Welten wird mit dem Leben in der kasachischen Steppe verbunden. Die deutsch-russisch-kasachische Koproduktion unter der Regie des Deutschen Veit Helmer aus dem Jahr 2011 ist – auch dank der Aufnahmen am Originalschauplatz Baikonur, dem Weltraumbahnhof, auf dem vor mehr als 50 Jahren die Geschichte der bemannten Raumfahrt begann – etwas für Raumfahrt-Realisten und Fans schöner Bilder, wie auch für Romantiker und Liebhaber von Kino-Märchen.

Miriam Kamin



Schrödinger kehrt heim

Dem primus-Verlag sei Dank! Mit dessen Hilfe wurde die bedeutende Biografie **Erwin Schrödinger** von Walter J. Moore übersetzt, die schon 1994 erschien. Es ist merkwürdig, dass ein solches Werk fast 20 Jahre bis zu seinem Erscheinen auf Deutsch benötigt. Merkwürdig auch deshalb, weil das Buch mit leichter Hand und zugleich fachlich detailliert Leben und vor allem wissenschaftliches Wirken des Pioniers der Quantenphysik beschreibt, sodass auch der Nichtphysiker dem Nobelpreisträger und seinem Werk durchaus näherkommen kann. Schrödinger wurde vor allem bekannt durch seine Darstellung der Quantentheorie in Form der Wellenmechanik, für die er den Nobelpreis erhielt.

Moores Biografie ist so nah wie ein Foto an der Person Schrödinger; sie stellt seine Arbeit im Kontext seiner Freundschaften, derbrisanten Politik im 20. Jahrhundert, aber auch seines Interesses am Mystizismus dar. Kleines Manko des Buchs ist die Druckqualität der Bilder, angesichts dessen, was wir aber mit dem Werk nun endlich auf Deutsch haben, ist das vernachlässigbar.

za.

Das DLR im Überblick

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

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.300 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 Hoffmann (ViSdP)

Cordula Tegen (Redaktionsleitung)

An dieser Ausgabe haben mitgewirkt:
Manuela Braun, Dorothee Bürkle und
Andreas Schütz sowie Peter Zarth

DLR-Kommunikation
Linder Höhe
51147 Köln
Telefon: 02203 601-2116
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, chlorkreislaufem Papier.

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



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt