

01 | 2008

SciTechs science & technologies

MAGAZIN FÜR TECHNOLOGIETRANSFER

Spektrum
DER WISSENSCHAFT

vdr nachrichten

IM FOKUS

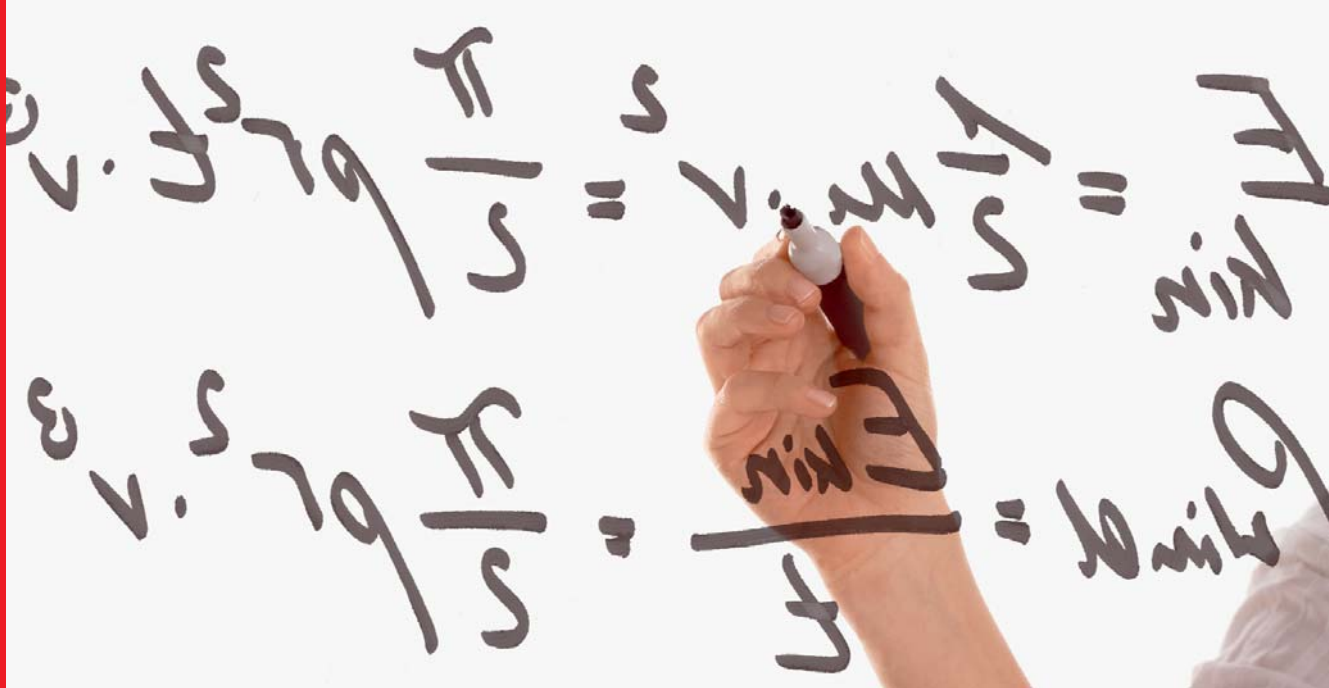
FLUG IN DIE ZUKUNFT

Wissenschaftler und Ingenieure erkunden die Perspektiven der Luftfahrt

■ **BIOSPRIT**
Aus Stroh wird Ethanol

■ **COMPUTERLINGUISTIK**
Intelligente Suchmaschine

www.scitechs.de



Wir suchen Ingenieure, die so gut sind, dass sie noch viel lernen möchten.

Auch Energie-Experten (m/w) lernen nicht aus. Als größtes privates Energieunternehmen haben wir solides Know-how auf unterschiedlichsten Gebieten und legen auf die Aus- und Weiterbildung viel Wert. Damit unsere Ingenieure jederzeit für ihre Aufgaben gerüstet sind, fördern wir engagierte Köpfe. Zum Beispiel, indem wir den Teilnehmern unseres internationalen E.ON Graduate Program nicht nur die Möglichkeit geben, verschiedenste Abteilungen im Konzern zu durchlaufen, sondern ihnen mit der E.ON Academy auch ein internes Exzellenzzentrum bieten, wo sie ihr Fachwissen ständig erweitern können.

Wir freuen uns auf Sie, wenn Sie die Herausforderungen des globalen Energiemarktes suchen und die hervorragenden Chancen eines weltweit erfolgreichen Konzerns für sich nutzen möchten. Entdecken Sie E.ON für sich: www.eon-karriere.com.

Ihre Energie gestaltet Zukunft

www.eon-karriere.com



e.on
Neue Energie

SciTechs

Wie können Ergebnisse aus der Grundlagenforschung schneller als bisher in die technische und wirtschaftliche Praxis übertragen werden? **SciTechs**, das Magazin für Technologietransfer, geht auf Entdeckungsreise und berichtet über Forscher, die aus der Wissenschaft heraus Wege zum praktischen Handeln eröffnen und auch selbst gehen – in Hochschulen, in Forschungseinrichtungen, in Unternehmen.

IM FOKUS

LUFTFAHRFORSCHUNG

04 FLUGZEUGE DER ZUKUNFT Fliegen Light

Forscher arbeiten daran, dass die kommende Generation von Flugzeugen umweltfreundlicher wird.

12 ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE Abheben mit Biofuel

Airlines und Flugzeugbauer suchen nach Ersatzstoffen für Kerosin.

13 INTERVIEW Zukunft Luftverkehr

Klaus Broichhausen über die Ideenschmiede „Bauhaus Luftfahrt“.

16 COMPUTERLINGUISTIK Schatzsuche im WWW

An der Universität Jena entsteht eine Software, die Forschern die Suche nach Informationen erleichtert.

19 MOLEKULARBIOLOGIE Aus Stroh Gold machen

Mit Hilfe synthetischer Hefen lässt sich aus Pflanzenabfällen hochwertiger Biokraftstoff gewinnen.

23 HINTERGRUND Herstellung von Biosprit



KOOPERATIONSPARTNER:



Fraunhofer Gesellschaft



IMPRESSUM:

SciTechs – MAGAZIN FÜR TECHNOLOGIETRANSFER ist eine Publikation von Spektrum der Wissenschaft und VDI nachrichten.

Redaktion: Dieter Beste (v.i.S.d.P.), Marion Kälke, Naldo Gruden (Art Direction), Ulrich Zillmann (Fotografie), Lutz Stolz (Grafik), Redaktionsbüro Mediakonzert, Graf-Recke-Str. 41, 40239 Düsseldorf (E-Mail: redaktion@mediakonzert.com)

Anzeigen: Jürgen Ochs, GWP media marketing, Verlagsgruppe Handelsblatt, Heinrichstraße 24, 40239 Düsseldorf (E-Mail: gwp.scitech@vhb.de).

Verlage: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Slevogtstr. 3-5, 69126 Heidelberg; VDI Verlag GmbH, Heinrichstraße 24, 40239 Düsseldorf.

Druck: Vogel Druck- und Medienservice GmbH & Co. KG, Höchberg.

Titelbild: Prof. Dr.-Ing. Klaus Broichhausen, Bauhaus Luftfahrt e.V., hat Visionen für den Flugverkehr.



■ **IM FOKUS**

LUFTFAHRTFORSCHUNG

Das Bauhaus Luftfahrt e.V. befasst sich – unterstützt von Firmen wie EADS, Liebherr-Aerospace und MTU Aero Engines – zurzeit intensiv mit der Kurz- und Senkrechtstartfähigkeit von Fluggeräten, um damit künftig bestehende Flughafen-Infrastrukturen besser nutzen zu können. Bei der Kreation völlig neuartiger Flugzeugkonzepte arbeiten Ingenieure und Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen zusammen. Die Skizzen zeigen Box-Wing-Konfigurationen von Tragflächen in Variation (siehe Interview Seite 13).



Von Christa Friedl

FLUGZEUGE DER ZUKUNFT

FLIEGEN LIGHT

Flugzeuge müssen emissionsärmer werden, damit der stark wachsende Verkehr am Himmel das Klima nicht noch mehr aufheizt. Wissenschaft und Industrie arbeiten gemeinsam daran, dass schon die kommende Generation der Maschinen ein Fünftel weniger Schadstoffe erzeugt und zudem bedeutend leiser ist.

Aus dem ersten Linienflug des Super-Airbus A 380 im vergangenen Oktober machten die 450 Passagiere an Bord eine einzige große Party. Reinhard Mönig wäre gern dabei gewesen. Allerdings weniger der Party wegen – der Experte des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) interessiert sich mehr für Gebläsedurchmesser, Verdichterstufen und Brennkammerkennwerte: „Der neue Airbus ist ein wichtiger Schritt hin zu umweltverträglicheren Flugzeugen.“

Diese Einschätzung ist nicht aus der Luft gegriffen: Obwohl der A 380 zwei Meter länger und fünf Meter höher ist als das bisher größte Passagierflugzeug, die Boeing 747, verbraucht er pro Passagier rund 15 Prozent weniger Kerosin und erzeugt deutlich weniger Lärm als der Jumbo. Dafür wurde der neue Superflieger kräftig abgespeckt. Die Rumpfaußenhaut besteht nur noch an der Unterseite aus Aluminium. Die oberen zwei Drittel sind aus einem mehrschichtigen Laminat von Aluminium und glasfaserverstärktem Kunststoff gefertigt. Für die Turbinenschaufeln im Triebwerk wurde erstmals eine neue, besonders leichte Nickellegierung eingesetzt, und die Turbinen sind kompakter und kleiner als beim Jumbojet. Eine vollbesetzte Maschine benötigt nach Angaben von Airbus pro Passagier

distributed thrust



Prof. Dr.-Ing. Reinhard Mönig ist Direktor des Instituts für Antriebstechnik am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Die Forschungsarbeiten des Instituts sind darauf ausgerichtet, die vorhandenen Potenziale zur Verbesserung der Gasturbine für Luftfahrt und Kraftwerk zu erschließen. Im Hintergrund die Luft-Einlassöffnung eines Triebwerksprüfstands.

rund drei Liter Kerosin auf 100 Kilometer. „Das müssen die Autobauer erst mal nachmachen“, sagt Mönig. Der Maschinenbauer ist Leiter des Instituts für Antriebstechnik des DLR und arbeitet mit seinen Kollegen seit vielen Jahren daran, Flugzeuge emissionsärmer und leiser zu machen.

Eigentlich ist das Ziel, Flugzeuge leicht und sparsam zu bauen, keine neue Prämisse: Zwischen 1980 und 2005 sank der durch-

schnittliche Kerosinverbrauch einer Maschine um knapp 30 Prozent, ähnlich deutlich sanken die Lärmemissionen. „Denn Airlines leben schon immer davon, dass ihre Flugzeuge so wirtschaftlich wie möglich und ohne Proteste lärmgeplagter Anwohner fliegen“, betont Odilo Mühlhng, Sprecher beim Münchner Triebwerksbauer MTU Aero Engines.

Aber erst seit der Debatte über den Klimawandel erhält die Entwicklung sauberer Flug-

„KÜNFTIG WERDEN KRAFTSTOFFVERBRAUCH UND EMISSIONEN ÜBER DEN ERFOLG ODER MISSERFOLG NEUER FLUGZEUGE ENTSCHEIDEN.“

der Flugverkehr auf der Liste derjenigen Emissionsquellen, die weltweit reglementiert werden sollen. Mitte Februar brachte die EU die „Clean Sky Initiative“ auf den Weg. Ziel des 1,6 Milliarden Euro schweren Forschungsprogramms: Bis 2014 wollen die EU und die europäische Luftfahrtindustrie Flugzeuge entwickeln, die nur noch halb soviel Treibstoff verbrauchen und wesentlich leiser sind als heutige Maschinen. Außerdem plant die EU, die Fluggesellschaften ab 2013 in den Emissionshandel für Treibhausgase einzubinden.

Für einen Teil des Kohlendioxids (CO₂), die ein Flugzeug emittiert, müssen die Airlines dann Berechtigungen, so genannte Zertifikate, kaufen. Druck kommt noch von anderer Seite. Airports in Schweden, England und der Schweiz richten ihre Start- und Landegebühren bereits heute nach den

Stickoxid-Emissionen der Maschinen, die Flughäfen von Frankfurt, München und Köln/Bonn wollen damit in diesem Jahr beginnen. Nicht zuletzt explodierte mit dem Ölpreis in den vergangenen zwei Jahren auch der Preis für Kerosin. „Künftig werden also Kraftstoffverbrauch und Emissionen über den Erfolg oder Misserfolg neuer Flugzeuge entscheiden“, ist Mönig überzeugt.

Wie sparsam und wie leise geflogen wird, bestimmt im Wesentlichen das Triebwerk. Ein Antrieb mit 250 Kilogramm weniger Gewicht spart beispielsweise auf der Strecke Frankfurt – New York 1,2 Tonnen Kohlendioxid und 400 Kilogramm Kerosin ein. Im Prinzip bestehen moderne Strahltriebwerke aus Bläser (Fan), Verdichter, Brennkammer und Turbine. Der Fan mit seinem großen Laufrad saugt vorne Luft an. Sie wird in zwei Luftströme getrennt. Der kleinere Teilstrom gelangt in den Verdichter, wird dort stark komprimiert und in die Brennkammer gedrückt. Hier verbrennt die Luft mit dem eingespritzten Kerosin bei über 2000 Grad Celsius. Das heiße Abgas schießt aus der Brennkammer durch die Turbine und bringt sie zum Rotieren. Die schnell drehende Turbine treibt wiederum den Verdichter und

den Fan. Auf diese Weise entsteht der große Schub, den ein Flugzeug vor allem bei Start und Steigflug benötigt. Der weitaus größere Luftstrom umspült wie ein Bypass Brennkammer und Turbine. Je mehr sich die beiden Ströme in ihrem Volumen unterscheiden, umso leiser ist das Triebwerk.

Sparsame, leichte und zugleich leise Triebwerke zu bauen, ist nicht banal. „Da alle Bauteile präzise aufeinander abgestimmt sind und eng miteinander zusammenwirken, hat die Veränderung an einer Komponente immer Auswirkungen auf das gesamte System“, erläutert Mönig. Das kann zu einem regelrechten Dilemma führen: Beispielsweise ist der Wirkungsgrad eines Triebwerks umso höher, je heißer die Brennkammer ist. Eine hohe Brenntemperatur aber erzeugt automatisch mehr Stickoxide. Oder: Je magerer die Verbrennung – je weniger Kerosin also das Treibstoff-Luftgemisch enthält –, umso geringer sind die Emissionen. Eine zu magere Verbrennung aber birgt Gefahren für den Landeanflug, bei dem der Pilot die Treibstoffzufuhr stark drosselt: Die Flamme könnte erlöschen.

Die DLR-Wissenschaftler suchen daher stets nach dem günstigsten Kompromiss. Im Zentrum für Verbrennungstechnik in Köln verfügen sie über insgesamt acht hochmoderne Prüfstände, auf denen sie einzelne Bauteile eines Triebwerks testen und optimieren. Am Brennerprüfstand untersuchen die Forscher beispielsweise die Frage, wie sich das Kerosin-Luftgemisch in der gesamten Brennkammer homogen verteilen lässt, um die Verbrennung zu verbessern. Sie analysieren außerdem, welcher Brennertyp die wenigsten Schadstoffe erzeugt. Ein Laser erfasst dabei berührungslos die Vorgänge in der Brennkammer, er misst chemische und physikalische Parameter im Strömungsfeld und gibt sie direkt an die Computer der Wissenschaftler weiter. Am Verdichter-Prüfstand messen die Kölner dagegen die Effizienz der einzelnen Verdichterstufen und vergleichen unterschiedliche Geometrien der Schaufeln.

Die Kooperation mit der Industrie ist eng, die Versuchseinrichtungen des DLR werden auch von Komponentenherstellern gern genutzt. Auch die MTU ist oft Gast an den Kölner Prüfständen. Die Münchner wollen besonders sparsame Triebwerke entwickeln und haben im Juli vergangenen Jahres das Programm

zeuge so richtig Schub. Zwar erzeugt der weltweite Verkehr am Himmel derzeit weniger als zwei Prozent der globalen anthropogenen Emissionen an Treibhausgasen. Dafür aber wächst er rasant und wird sich weltweit in den kommenden 20 Jahren verdoppeln. Entsprechend ansteigen werden damit auch die emittierten Schadstoffe.

Auf dem UN-Klimagipfel im vergangenen Dezember auf Bali stand daher erstmals auch

„Clean Air Engine“ (Claire) vorgestellt. Schon die nächste Flugzeuggeneration, die 2015 abheben wird, soll 15 Prozent weniger Kerosin verbrauchen. Bis 2035 sollen es gar 30 Prozent weniger sein als heute.

Dafür verfolgen die MTU -Entwickler mehrere Wege. Beispielsweise entkoppeln sie Fan und Turbine. Normalerweise sind Turbine und Gebläse über eine Welle miteinander verbunden: Je schneller die Turbine rotiert, umso schneller dreht sich auch das Laufrad. Der Fan kann aber wegen seiner Größe – sein Durchmesser liegt in modernen Langstreckenflugzeugen bei rund drei Metern – nicht beliebig schnell drehen. Zudem erzeugen schnell drehende Gebläse enorm viel Lärm. Also haben die Ingenieure Bläser und Turbine über ein dazwischen geschaltetes Getriebe entkoppelt. Die Turbine kann jetzt mit dreifach höherer Drehzahl rotieren und zugleich um 30 Prozent kleiner gebaut werden.

Außerdem arbeiten die Münchner Ingenieure gemeinsam mit Firmen aus den USA und Italien daran, Getriebe und Verdichter kleiner und leichter zu bauen. Das gelingt beispielsweise durch so genannte Blisks. Dies sind Bauteile, die nicht aus vielen Einzelkomponenten zusammen montiert oder geschweißt, sondern aus einem Stück gefräst werden. Blisk-Laufräder einer Turbine sind beispielsweise mechanisch belastbarer und erzeugen mit geringerem Gewicht denselben Wirkungsgrad.


Noch Zukunftsmusik ist das Wärmetauschertriebwerk, das im Rahmen von „Claire“ gebaut werden soll. Die Idee: Das Brenngas ist nach der Turbine immer noch 800 Grad Celsius heiß. Damit gehen große Mengen Energie an die Umgebung verloren. Um diese Abwärme zu nutzen, entwickelt MTU derzeit einen Wärmetauscher, in dem das heiße Abgas durch flache Kanäle strömt und dabei die Verbrennungsluft erhitzt. Gleichzeitig kühlt ein zweiter Wärmetauscher die Luft, die in den Verdichter strömt. In der Brennkammer muss die Luft also weniger stark erhitzt werden, und im Verdichter wird die abgekühlte Luft schneller komprimiert – beides zusammen mindert den Kerosinverbrauch um rund zehn Prozent.

Wenn Flugzeuge emissionsärmer werden sollen, müssen sie aus hoch belastbaren und zugleich leichten Werkstoffen gebaut wer-


den. Nickellegierungen, die Temperaturen von 2000 Grad Celsius aushalten können, und zähe Titan-Werkstoffe sind heute schon unverzichtbar. In Zukunft wird es aber auch ganz neuartige Materialien geben. Dazu gehört das Gamma-Titanaluminid, ein neuer Metallverbund aus Aluminium und Titan, der besonders hohen Temperaturen standhalten kann. Das Besondere daran: Der Werkstoff bildet bei einem Aluminiumanteil von über 50 Prozent nicht nur metallische Bindungen aus, sondern gleichzeitig auch Ionenbindungen, wie man sie sonst nur von Keramiken kennt. Die stabilen Ionenbindungen führen zu – gegenüber Stahl – höherer Festigkeit und Steifheit bei deutlich geringerem Gewicht. Allerdings ist Gamma-Titanaluminid ein heikler Werkstoff. Er ist spröde und lässt sich ausgesprochen schwer mechanisch bearbeiten. Bevor er beispielsweise für Laufschaufeln oder Verdichtergehäuse eingesetzt werden kann, muss die Industrie geeignete Bearbeitungsverfahren entwickeln.

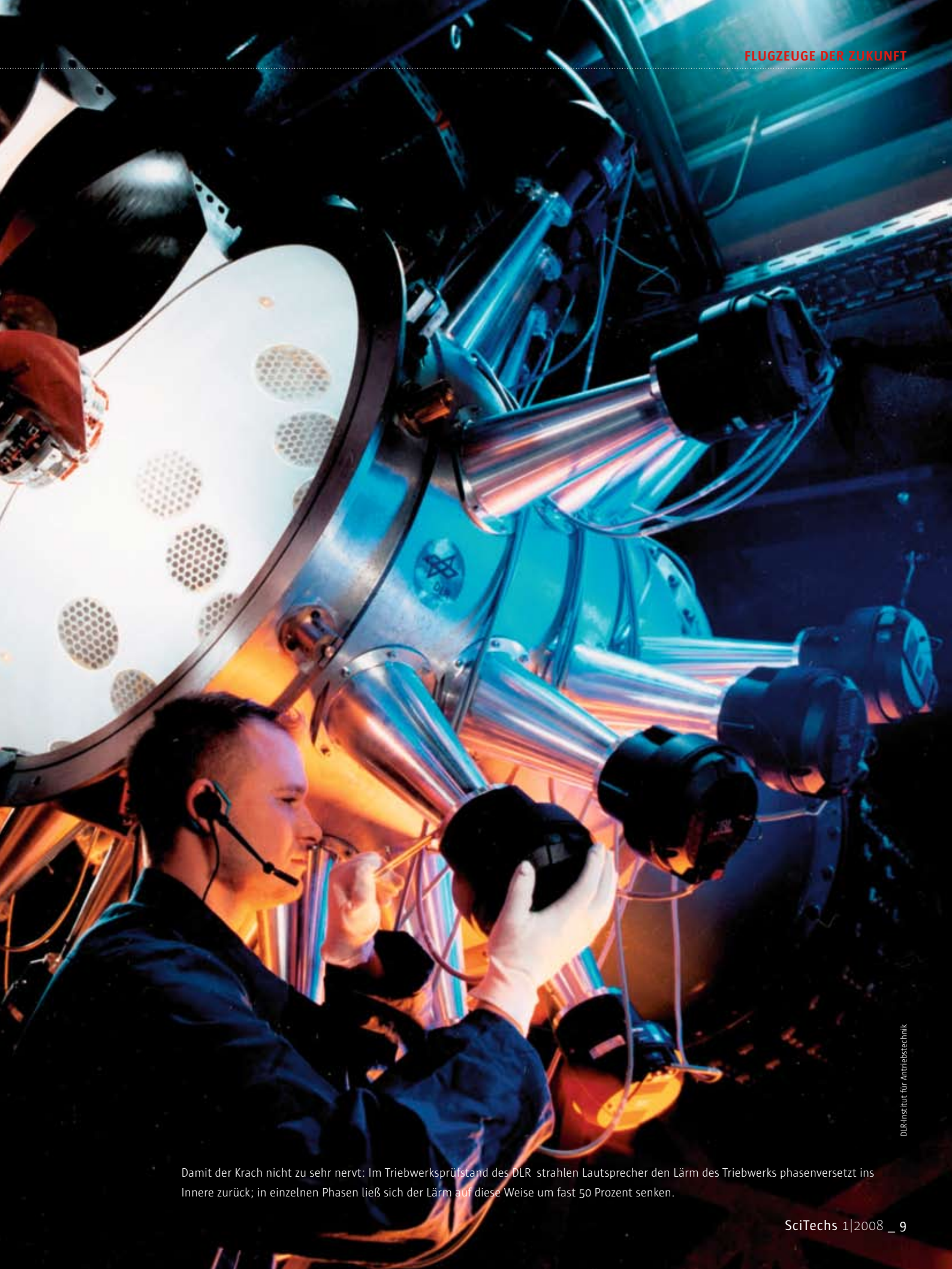
Viele Experten setzen auf faserverstärkte Werkstoffe – zumindest für Teile im Flugzeug, die thermisch nicht stark beansprucht werden, wie beispielsweise Rumpf, Flügel, Gebläse oder bestimmte Gehäuse im Triebwerk. „Der A 380 besteht heute schon zu rund einem Viertel aus Faserverbundwerkstoffen“, sagt Professor Peter Horst, Leiter des Instituts für Flugzeugbau und Leichtbau an der Universität Braunschweig. Bei der B 787 – dem Dreamliner von Boeing – schätzt Horst den Anteil sogar auf bis zu 50 Prozent. So genannte Composites sind nicht nur wesentlich leichter als Metalle, sondern auch anisotrop. Sie können also Belastungen aus einer bestimmten Richtung besonders gut standhalten.

Allerdings ist die gezielte und optimale Ausrichtung der Fasern eine echte Ingenieurskunst, besonders bei komplex geformten Bauteilen. Zudem fehle es auch für Composites noch an den notwendigen Verfahren, um sie vollautomatisch mit hoher Präzision zu fertigen und zu bearbeiten, betont Horst. Bei faserverstärkten Baustoffen besteht außer-



„DIE VERÄNDERUNG AN EINER KOMPONENTE HAT IMMER AUSWIRKUNGEN AUF DAS GESAMTE SYSTEM.“

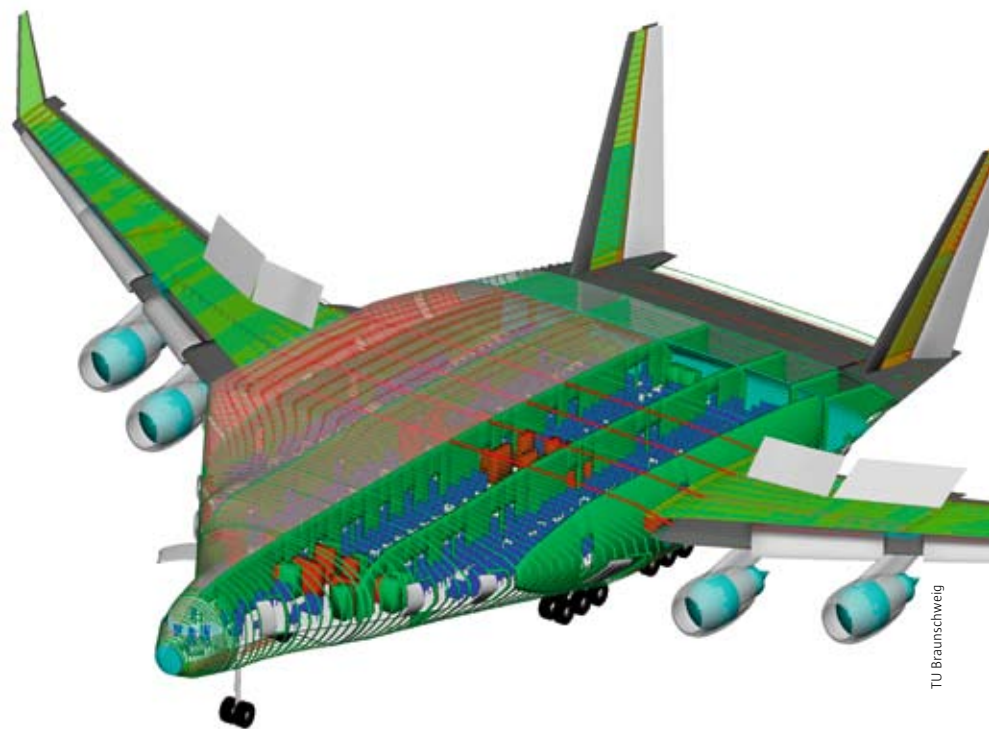




Damit der Krach nicht zu sehr nervt: Im Triebwerksprüfstand des DLR strahlen Lautsprecher den Lärm des Triebwerks phasenversetzt ins Innere zurück; in einzelnen Phasen ließ sich der Lärm auf diese Weise um fast 50 Prozent senken.



Prof. Dr.-Ing. Peter Horst leitet an der TU Braunschweig das Institut für Flugzeugbau und Leichtbau. Dort sucht man, eine innovative Rumpfstruktur zu entwickeln, um Gewicht zu reduzieren. So sorgen zum Beispiel neuartige Versteifungen – wie die Einbindung der Fenster in die umlaufenden Spanten – für Materialeinsparungen.



TU Braunschweig

Bei diesem Flugzeugkonzept trägt zusätzlich zum Flügel auch der Rumpf zum Auftrieb bei. Die Ingenieure erwarten sich davon eine Senkung des Kraftstoffverbrauchs von bis zu 30 Prozent.

dem die Gefahr, dass Schäden im Material nicht so leicht erkannt und beseitigt werden können. Eine beschädigte Metalloberfläche lässt sich recht einfach reparieren, gerissene Fasern im Verbundwerkstoff dagegen nicht.

Eine gute Nachricht für alle Lärmgeplagten ist, dass leichte Flugzeuge nicht nur emissionsärmer, sondern zugleich auch leiser werden. Beispielsweise kann ein von der Turbine entkoppelter Getriebe-Fan größer gebaut werden und dreht dann langsamer, um die notwendige Luft anzusaugen. Das reduziert den subjektiv empfundenen Lärm um die Hälfte, betont MTU. Die Turbine dagegen rotiert gleichzeitig wesentlich schneller. Die dadurch erzeugten Schwingungen liegen teilweise im Ultraschallbereich – einer Frequenz, die das menschliche Ohr nicht wahrnimmt.

Auch die Kölner DLR-Forscher suchen nach Wegen, um Flugzeugglärm zu dämpfen. An einem ihrer Prüfstände experimentieren sie mit so genanntem Antischall. Das Prinzip: Trifft das Wellental einer Schallwelle auf den Wellenberg einer anderen, löschen sie sich gegenseitig aus. Antischall-Systeme funktionieren immer nach demselben Muster: Mikrofone messen den störenden Lärm, Computer berechnen den nötigen Gegenschall, den

dann ein Lautsprecher abstrahlt. Die Kölner konnten zeigen, dass Gegenschall beispielsweise den Lärm von Verdichtern deutlich mindern kann. Allerdings sind die Wirkungen von Antischall bei Triebwerken prinzipiell begrenzt, weil das Schallfeld im Triebwerkskanal eine komplizierte räumliche Struktur hat. Auch müsste der Gegenschall genauso laut sein – die bisher verfügbaren Lautsprecher sind noch viel zu groß und zu schwer.

So werden Triebwerke wohl auch in Zukunft heulen, fauchen und donnern. Für die Lärmbelastung im Flugzeuginnern dagegen gibt es Abhilfe. Piloten nutzen schon länger Antischall in ihren Kopfhörern, damit sie in ihrer Konzentration nicht gestört werden. Auch für Vielflieger gibt es mittlerweile Kopfhörer mit Antischall, die das Dröhnen der Triebwerke in ein kaum wahrnehmbares Rauschen verwandeln. So können Passagiere in einer hunderte Tonnen schweren Maschine, die durch die Lüfte rast, sogar schlafen – wenn die Sitznachbarn nicht gerade eine große Party feiern. ■

 www.dlr.de

 www.mtu.de

 www.ifl.tu-bs.de

ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE

Im Abgasstrahl eines vorausfliegenden Verkehrsflugzeugs misst das meteorologische Messflugzeug Falcon des DLR die Triebwerksemissionen.



DLR

ABHEBEN MIT BIOFUELS

Die Webseite des britischen Carrier Virgin Atlantic war am 24. Februar zeitweise völlig überlastet. Der Grund für das große Interesse: Die Airline informierte über einen besonderen Testflug mit einer Boeing 747. Auf der Strecke London-Amsterdam flog der Jumbo erstmals mit Biokraftstoff in einem seiner vier Triebwerke. Dem Kerosin für dieses Triebwerk mischte Virgin Atlantic zu rund 20 Prozent ein Ölgemisch aus Kokusnuss und Nüssen der brasilianischen Babaspalme bei. Diese Öle, so betonte die Airline, würden normalerweise für Kosmetikprodukte verwendet und stammten aus ökologisch nachhaltigem Plantagenanbau. Weder am Flugzeug noch am Triebwerk hätten für den neuen Treibstoff-Mix technische Änderungen vorgenommen werden müssen.

Fakt ist: Eigentlich brauchen Flugzeuge kein Kerosin. Den nötigen Schub können die Triebwerke theoretisch auch mit anderen energiereichen Treibstoffen erzeugen, beispielsweise mit Biodiesel, Pflanzenöl, Flüssiggas oder auch Wasserstoff. Da der Preis für Kerosin in den vergangenen zwei Jahren stark gestiegen ist, sucht nicht nur Virgin Atlantic nach Alternativen. Weltweit haben Airlines und Flugzeugbauer damit begonnen, Kerosinersatzstoffe zu suchen und zu testen. Beispielsweise will auch Air New Zealand noch in diesem Jahr in einer Boeing 747 dem Kerosin einen Biokraftstoff aus Algen beimischen. Zwar verbrennen auch Treibstoffe aus Pflanzenöl oder Algen zu

Kohlendioxid – allerdings ist die CO₂-Bilanz deutlich besser: Im Triebwerk entsteht nur so viel CO₂, wie die Biomasse vorher beim Wachstum aufgenommen und gespeichert hat.

„Der heutige Tag ist ein Durchbruch für Biokraftstoffe in der gesamten Luftfahrtindustrie“, ließ Richard Branson, Präsident von Virgin Atlantic, nach dem ersten Testflug auf der Webseite melden. Das ist freilich übertrieben. Dass man Flugzeuge in absehbarer Zeit mit großen Mengen Biotreibstoffen betanken kann, ist eher unwahrscheinlich. Denn der Kerosinersatz muss in großen Mengen und vor allem wirtschaftlich produzierbar sein, er muss einen ähnlichen Brennwert wie Kerosin haben und außerdem bei Außentemperaturen von minus 50 Grad Celsius immer noch flüssig bleiben – Voraussetzungen, die heute verfügbare Biofuels meist nicht erfüllen. Daher gehen Experten davon aus, dass künftig vor allem flüssige Treibstoffe aus Erdgas oder aufgearbeitetem Biogas eine Rolle in der Luftfahrt spielen werden. Diese Gas-to-Liquids(GTL)-Treibstoffe testet beispielsweise Airbus: Das Unternehmen hat in einem A-380-Triebwerk bereits Anfang Februar einen Flüssigtreibstoff aus Erdgas verfeuert. Von Vorteil ist dabei, dass Flüssiggas effizienter verbrennt als Kerosin und weniger Schwefel enthält. Dagegen ist der Beitrag von GTL für den Klimaschutz recht klein: Die CO₂-Emissionen unterscheiden sich wenig von denen des Kerosin.

DIE ZUKUNFT DES LUFT-VERKEHRS

Wie und womit fliegen wir in 30 oder 50 Jahren? Diese Frage beschäftigt im Bauhaus Luftfahrt Forscher aller Couleur. Mit dem Bauhaus verfüge Deutschland über die weltweit erste Ideenschmiede im Bereich Luftfahrt, die von der Industrie getrieben werde, betont Professor Klaus Broichhausen im Interview. Und er sagt: „Man muss auch Kraft daraus schöpfen, dass man mal irren kann.“ Interview: Christa Friedl



Prof. Dr.-Ing. Klaus Broichhausen ist Leiter des Bauhauses Luftfahrt e. V.. Nach dem Studium des Maschinenwesens an der RWTH Aachen, der Promotion und Habilitation auf dem Gebiet „Überschallverdichter“ war er 20 Jahre lang bei MTU Aero Engines in München tätig.

Kunstfreunde kennen das Bauhaus Dessau. Was ist das Bauhaus Luftfahrt?

Im Bauhaus Dessau haben Künstler ehemals neue Prinzipien der Architektur erarbeitet. Im Bauhaus Luftfahrt entwerfen Ingenieure, Wirtschaftswissenschaftler, Soziologen und Physiker aus Industrie und Wissenschaft gemeinsam neue Wirk- und Arbeitsprinzipien für die Luftfahrt. Anders gesagt, wir erstellen Prognosen darüber, wie und wo Menschen in Zukunft fliegen wollen und welche Flugzeuge und Verkehrssysteme wir dafür benötigen. Wir fragen uns auch: Wie viel Mobilität braucht der Mensch in 30 bis 50 Jahren, und welcher Anteil davon liegt in der Luft?

Mitglieder im Bauhaus sind der Freistaat Bayern, vor allem aber Industrieunternehmen wie MTU und EADS...

Ja, wir sind wahrscheinlich weltweit die einzige Ideenschmiede im Bereich Luftfahrt, die von der Industrie getrieben wird. Bei uns suchen Wissenschaft und Industrie gemein-

sam nach Lösungen für die nächsten 30 bis 50 Jahre. Die zentrale Frage dabei: Wie kann der Flugverkehr die Anforderungen der Zukunft erfüllen? Heute nutzen wir Flugzeuge, die für jeden Zweck gleich aussehen. Künftig brauchen wir unterschiedliche Transportsysteme für verschiedene Zwecke. Die Megacities in den Schwellenländern beispielsweise benötigen viel größere Maschinen, als wir sie heute haben. Dort wird man selbst auf Kurzstrecken in Flugzeugen mit mehreren Decks fliegen müssen.

Zur EADS gehören nicht nur Airbus, sondern auch Unternehmen aus Raumfahrt und Militär. Denken Sie auch über neue Raketen und neue Militärflugzeuge nach?

Raketen entwickeln wir nicht. Wir stellen uns aber durchaus die Frage, ob es künftig einen Raumtourismus geben wird und wie groß die Chancen sind, diesen wirtschaftlich zu betreiben. Außerdem interessieren wir uns für so genannte „morphing structures“, wie sie auch beim Militär entwickelt werden. Das

sind bewegliche Flugzeugteile, beispielsweise Flügel, die sich wie organische Flächen verformen können. Das bringt in der Luft mehr Geschwindigkeit und mehr Effizienz.

Wie viel Steuergelder erhalten Sie?

Die Gesamtfinanzierung beträgt 2,25 Millionen Euro im Jahr, davon kommen 1,5 Millionen vom Land Bayern. Den Industrieanteil wollen wir bis 2009 auf das Doppelte erhöhen. Außerdem wollen wir künftig noch andere Mitglieder aufnehmen, beispielsweise Flughafenbetreiber und Airlines.

Das Bauhaus Luftfahrt betreibt laut Webseite „visionäre Grundlagenforschung“ – wie viel davon wird Realität?

Ein Zukunftsforscher hat mal gesagt: Man muss auch Kraft daraus schöpfen, dass man mal irren kann. Sich mal zu irren, ist nicht schlimm. Aber wir bewegen uns ja nicht im luftleeren Raum. Zum Flugverkehr gibt es sehr zuverlässige Trendaussagen: dass er sich bis 2020 weltweit verdoppeln wird, dass er vor allem in Asien und im arabischen Raum



Ein Flugzeugkörper mit tragflächenartigem Querschnitt, der selbst für Auftrieb sorgt (links), eine innovative Box-Wing-Anordnung der Tragflächen eines Jets (oben) oder der so genannte HyLiner mit waagrecht in die Tragfläche angeordneten Gebläsen, um fast senkrecht starten und landen zu können: Im Bauhaus Luftfahrt erfinden Wissenschaftler und Ingenieure das Flugzeug neu.

stark wachsen wird, dass anteilig der Frachtverkehr deutlich zulegen wird.

Noch mehr fliegen schadet Klima und Umwelt. Wie beurteilen Sie diese dunklen Seiten des Luftverkehrs?

Die Luftfahrt transportiert Menschen und Güter. Das ist nicht nur eine wirtschaftliche, sondern auch eine soziale Aufgabe. Wir müssen künftig aber Menschen und Güter so transportieren, dass wir Umwelt und Klima so wenig wie möglich schädigen. Das ist unser Haupttreiber im Bauhaus. Wir erstellen beispielsweise derzeit eine Studie, die klären soll, wie groß die ökologisch optimale Flugeschwindigkeit und Flughöhe sind.

Eine Ihrer ersten Entwicklungen ist ein hybrides Flugzeug. Was steckt dahinter?

Bei hybriden Systemen werden zwei Technologien miteinander so kombiniert, dass sie gemeinsam mehr bewirken als allein. Unser HyLiner ist ein schweres Flugzeug mit Platz für sehr viele Passagiere, das dennoch ohne lange Start- und Landbahnen auskommt, weil es ähnlich wie ein Hubschrauber nahezu senkrecht starten und landen kann.

Wie geht das technisch?

Die Idee kommt aus dem militärischen Bereich: Man integriert Gebläse waagrecht in die Tragflächen, die so viel Schub erzeugen, dass die Maschine ohne viel Anlauf schnell und leicht starten und landen kann.

Auf einem Flughafen könnten die Maschinen in schnellerer Taktung in die Luft gehen, und die langen Anflugschneisen würden überflüssig. Im asiatischen und arabischen Raum, wo der Luftverkehr in den nächsten Jahren dramatisch wachsen wird, gibt es nicht so viele Großflughäfen wie in Europa. Auch dafür wäre der HyLiner perfekt geeignet.

Wie werden Flugzeuge in 50 Jahren aussehen?

Ich bin fest davon überzeugt, dass von den heutigen Maschinen auch in 50 Jahren noch einige in der Luft sind. Die neuen Flugzeuge werden aber ganz anders aussehen: Die Triebwerke sitzen nicht mehr unter dem Flügel, sondern am Rumpf. Die Flügel bilden mit dem Rumpf eine zusammenhängende Fläche für den Auftrieb. Auch halte ich viel von einer Kreuzung aus Flugzeug und Luftschiff. Das wäre eine interessante Entwicklung für eine komfortable Ferienreise. Auch bei den Werkstoffen wird es ganz neue Dinge geben: Nanomaterialien, neuartige Legierungen und Werkstoffe, bei denen Metall und Kunststoff kombiniert werden. Allerdings darf man bei all diesen Visionen nicht den Menschen vergessen, denn er muss ein Flugzeug, das ganz anders aussieht und funktioniert, auch akzeptieren.

Wann werden wir emissionsfrei fliegen?

Ich fürchte, nie. Jede Bewegung ist mit Energie verbunden und die Nutzung von En-

ergie erzeugt immer Emissionen. Die Frage ist, wo in der Kette wir die Emissionen zulassen und wie wir sie verteilen. Der günstigste Fall wäre ein aerodynamisch optimal gestaltetes Flugzeug, das umweltverträglich produzierten Biotreibstoff nutzt und langsamer und niedriger fliegt als heutige Maschinen. Dazu kämen Antriebe und Bauteile mit höchster Effizienz und ein optimales Management der Flugbewegungen. Wenn wir alle Register ziehen, glaube ich, könnten wir 70 Prozent der Emissionen des Flugverkehrs vermeiden. Ich bin sicher, dass wir schon bis 2020 Flugzeuge bauen können, die nur noch halb so viel Schadstoffe ausstoßen. Die entscheidende Frage ist, wie schnell solche neuen Maschinen in die bestehende Flotte integriert werden. Jedes Flugzeug ist eine enorme Investition. Also wollen die Airlines ihre Maschinen so lange wie möglich am Himmel halten.

Sie denken auch darüber nach, den Luftverkehr mit Bahn und Lkw zu koppeln. Wie soll das gehen?

Eine Integration der unterschiedlichen Verkehrsträger ist überhaupt eine der wichtigsten Fragen. Denn wir bekommen überall auf der Welt mehr Verkehr – in der Luft, auf der Straße, auf der Schiene. Was Fluggäste nervt, ist ja nicht das Fliegen an sich, sondern die viele Zeit, die man für Anreise und Abfertigung braucht. Eine sinnvolle Integration

von Verkehrsträgern fängt an bei durchgehenden Tickets und hört auf bei Flugzeugen, die aus Modulen bestehen.

Wie ein Baukasten?

Ja. Dabei würde eine Kabine mit Personen oder ein Container voller Güter nur noch auf ein Fluggestell gesetzt, man müsste von der Bahn aufs Flugzeug gar nicht mehr umsteigen oder umladen. Es gibt ja schon Hubschrauber, die nur als Gerüst konstruiert sind und unter die man dann verschiedene Lasten hängen kann. Genau das ist das Prinzip. Ein Flugzeug könnte einmal Fracht, das nächste Mal Passagiere befördern. Das wäre doch ein großer Fortschritt hin zu mehr Effizienz und weniger Emissionen. Und so visionär ist das gar nicht.

Der Traum von neuen Fliegen wäre also nicht nur umweltverträglicher, sondern auch komfortabler?

Natürlich. Der Passagier wird wesentlich mehr Platz haben, man sitzt übereinander in verschiedenen Stockwerken oder gestaffelt ähnlich wie im Kino. Schon unser HyLiner ist wesentlich geräumiger als heu-

tige Maschinen. Unsere Flugzeuge werden außerdem deutlich leiser. Dabei ist interessant zu wissen, dass dem Normalflieger die Umwelt gar nicht so wichtig ist. Für die meisten sind Sicherheit und Ticketpreis wichtiger, das haben Umfragen gezeigt. Ich denke mal, das wird sich mit der Klimadebatte ändern. Aber für den Moment gilt, dass sich die Industrie ernsthafter um die Emissionen des Luftverkehrs Gedanken macht als der Verbraucher.

Wird es auch in 50 Jahren noch Billigflieger geben?

Auch die heutigen Billigtickets sind kostendeckend, sonst gäbe es sie nicht. Es wird beim Fliegen künftig aber verstärkt verschiedene Preisklassen geben. Außerdem suchen die Airlines beständig nach Möglichkeiten, Kosten zu senken, also durch elektronische Buchungssysteme oder weniger Service an Bord. Diese Suche wird weitergehen. Also keine Sorge: Billigtickets wird es auch noch in 50 Jahren geben. ■

www.bauhaus-luftfahrt.net



Der Informatiker Stephan Leutenmayer testet eine neue Flugsteuerung.



Startklar?

Seit über 50 Jahren entwickeln wir als unabhängiges Familienunternehmen innovative Produkte und Dienstleistungen für die Prozessautomatisierung. Mit einer Vielfalt von Messgeräten, Systemen und Gesamtlösungen sind wir einer der weltweit führenden Anbieter. Dieser Erfolg ist der Erfolg unserer Mitarbeitenden. Denn sie bringen nicht nur außergewöhnliche fachliche Fähigkeiten mit, sondern zeigen auch ein hohes Engagement und Verantwortungsbewusstsein. Wenn auch Sie Lust haben auf ein starkes Team, dann starten Sie mit uns durch.

Endress+Hauser GmbH+Co. KG
Hauptstraße 1
79689 Maulburg
Germany

Phone +49 7622 28 0
Fax +49 7622 28 1438
info@pcm.endress.com
www.endress.com

Endress+Hauser 
People for Process Automation

COMPUTERLINGUISTIK

INTELLIGENTE SUCHMASCHINE

Die Fülle an neuen Erkenntnissen wächst längst über den Bestand von Bibliotheken hinaus: Heute ist mehr und mehr das Internet Quelle für Recherchen auch in der Wissenschaft. Prof. Dr. Udo Hahn entwickelt ein Computerprogramm, mit dem sich aus der unübersichtlichen Datenflut das Wichtige herausfiltern lässt.

Von Ludwig Kürten

Die weltweit größte Datenbank für biomedizinische Literatur, Medline, enthält derzeit mehr als 17 Millionen Einträge; jeden Tag kommen mehrere tausend hinzu. Medline speist sich aus über 5000 Fachmagazinen, die derzeit weltweit in 37 Sprachen regelmäßig erscheinen. Wer den – ziemlich naiven – Fehler begeht und dort einen so weit gefassten Suchbegriff wie etwa „stem cell“ (englisch für „Stammzelle“) eingibt, erhält fast 128.000 Literaturhinweise angezeigt (bei Google sind es übrigens knapp 15 Millionen Treffer). Und selbst wenn man dann noch einen hochspeziellen Fachbegriff wie „hämatopoetisch“ (blutbildend) hinzufügt, bleiben immer noch 2500 Artikel. „Da kann kein Mensch mehr den Überblick behalten“, sagt Udo Hahn, Professor für Computerlinguistik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena.

„**Kein Wissenschaftler ist heute** mehr in der Lage, selbst in seinem unmittelbaren Fachgebiet alle Publikationen lückenlos zu verfolgen.“ Seine Arbeitsgruppe, das Jena University Language & Information Engineering (JULIE) Lab, arbeitet daher, zusammen mit Kollegen aus der ganzen Welt, an Software-Lösungen, mit deren Hilfe man in der Flut der global zugänglichen Fachtexte diejenigen Informationen zielsicher finden kann, die für eine bestimmte Anwendung aktuell, wichtig und nutzbar sind.

Allein im Fach Biologie sind in den letzten Jahrzehnten schätzungsweise 1,5 Millionen Fachbegriffe neu geprägt worden; das ist fast zehnmal so viel, wie die deutsche Alltagssprache Wörter besitzt (zumindest in ihren Grundformen). Noch viel aufwändiger wird es, wenn man inhaltliche Querbezüge zwischen unterschiedlichen Teilgebieten oder gar einzelnen Fächern herstellen will. Dies aber ist

EINE SOFTWARE-ARCHITEKTUR FÜR DAS MANAGEMENT GROSSER DATENMENGEN

AUF SCHATZSUCHE IM WORLD WIDE WEB

Wie soll ein Wissenschaftler in der unübersichtlichen und schier endlosen Datenfülle des Internets die für ihn relevanten Informationen finden? Udo Hahn, Professor an der Universität Jena, entwickelt ein Computerprogramm, das biomedizinische Fachtexte nach bestimmten Kriterien analysiert, Wichtiges herausfiltert und so Forscher mit dem Wissen versorgt, das sie benötigen.

gerade die Absicht vieler Forscher, denn interdisziplinäre Kooperation gilt oft als Schlüssel für bahnbrechend neue Erkenntnisse. In vielen Wissenschaftsbereichen, die unter starkem Wettbewerbsdruck stehen wie etwa die Stammzell-Forschung, reicht es nicht aus, Datenbanken à la Medline zu durchforsten. Denn zum einen dauert es oft Monate, bis ein neu publizierter Artikel inhaltlich erschlossen den Weg in die Online-Bibliothek findet. Zum anderen suchen die Forscher gerade nach Erkenntnissen, die nicht in ihrem engeren Fachgebiet, sondern in Labors anderer Fachdisziplinen entdeckt worden sind: Denn daraus lassen sich möglicherweise neue Anregungen und unerwarteter Nutzen ziehen.

An solchen Projekten ist auch Udo Hahn seit Jahren beteiligt. So geht es beispielsweise in einem seiner Vorhaben darum, Therapieverfahren zur Heilung von Blutkrebs (Leukämie) in ihrer Effektivität zu steigern. Gemeinsam mit Forschern der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) entwickelt er ein automatisches Suchsystem namens StemNet. Die MHH-Biomediziner optimieren derzeit ein Behandlungsverfahren, das sich „hämatopoetische Stammzell-Transplantation“ (HSCT) nennt. Die erkrankten blutbildenden Zellen der betroffenen Patienten werden dabei durch Zellen eines gesunden Spenders ersetzt. Der Erfolg dieser Therapie hängt wesentlich davon ab, wie gut die Spenderzellen in ihren genetisch festgelegten Gewebemerkmalen zum Empfänger passen. Eine der Grundregeln der Immunologie besagt: Je höher die Passgenauigkeit zwischen Spender und Empfänger, desto größer die Chance, dass beim Empfänger gefährliche Abstoßungsreaktionen des Immunsystems ausbleiben. Die Gewebemerkmale, die bislang

herangezogen wurden, um vor einer Transplantation geeignete Spender auszuwählen, sind aber noch verbesserungsfähig: Die Fehlerrate ist bis heute noch relativ hoch, und immer wieder treten Immunreaktionen auf, die für die Patienten lebensbedrohlich werden.

StemNet durchforstet derzeit Dokumenten-Kollektionen wie Medline nach neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen, die möglicherweise zur Lösung oder Linderung dieser Abstoßungsprobleme beitragen können. Gegenüber der klassischen Suche in Datenbanken wie Medline hat das System we-

chance zu geben. „Wir entwickeln ein komplexes Computerprogramm, das Fachtexte nach bestimmten Kriterien inhaltlich anspruchsvoll analysiert, dabei Wichtiges von Unwichtigem trennt und die Forscher möglichst genau mit dem Wissen versorgt, das sie zur Lösung ihrer Probleme benötigen“, so fasst Hahn das Projektziel zusammen.

Bevor ein Software-Programm dies automatisch zu leisten vermag, muss man ihm beibringen, „das menschliche Vermögen zur intellektuellen Analyse von Texten nachzuahmen“, so beschreibt der Informationswissenschaftler Hahn die Herausforderung. Es

„DAS ZIEL IST, DAS MENSCHLICHE VERMÖGEN ZUR INTELLEKTUELLEN ANALYSE VON TEXTEN NACHZUAHMEN.“

sentliche Vorteile. Es sucht in den Dokumenten nicht nur nach Wörtern, die mit der Suchanfrage weitgehend übereinstimmen, sondern weitet die Suche auf eine höhere Ebene aus: auf abstrakte semantische, das heißt inhaltliche Metadaten (so genannte Annotationen), die durch sprachtechnologische Software den Texten automatisch zugewiesen wurden.

In einer weiteren Ausbaustufe von StemNet ist geplant, beispielsweise auch Kongressberichte, Patientendaten und andere Klinikdokumente sowie hochaktuelle Publikationen, die gerade erst ins Internet gestellt worden sind, in diese Suche mit einzubeziehen. Das System soll somit selbsttätig Informationen aufspüren, die für die Stammzellforscher relevant und nutzbar, aber mit klassischen Suchmethoden nicht auffindbar sind. Es geht darum, geeignete Spender mit höherer Sicherheit als bisher auswählen zu können und den Patienten eine höhere Überlebens-

geht einerseits darum, eine Grammatik zu entwickeln, die als Grundlage für eine Textanalyse-Software dienen kann. „Hierzu müssen wir die Bildungsregeln, nach denen Sprache im Allgemeinen und Fachtexte im Besonderen aufgebaut sind, in hohem Maß abstrahieren“. Andererseits muss auch das Fachwissen von Biologen und Medizinern, das sprachunabhängig ist, explizit in Form von Ontologien beschrieben werden. Sowohl sprachliches wie fachliches Wissen werden dann miteinander verbunden und auf einem hohen mathematischen Abstraktionsniveau in Algorithmen (abstrakte Rechenprogramme) überführt: „Sprache wird damit zu einem berechenbaren Prozess“, so Hahn. Es entsteht eine Software, die in den Abermillionen Seiten des Internets und unter Millionen von Fachbegriffen zielsicher spezifische Inhalte und Sinnzusammenhänge erkennen kann. Bei der

Entwicklung dieser Software-Systeme gehen die Linguisten schrittweise vor und entziffern nach und nach Sätze, Satzteile und Wörter in den ihnen zugänglichen Texten. Was einem Menschen völlig selbstverständlich erscheint, zum Beispiel die Frage: „Wo endet ein Satz?“, muss ein Programm erst mühsam erlernen. „Dies ist angesichts der unzähligen Punkte und Sonderzeichen, wie sie in wissenschaftlichen Texten üblich sind, keineswegs eine triviale Aufgabe – man denke hier nur an kryptische Proteinamen oder Bezeichnungen für chemische Substanzen“, betont Hahn. In einem nächsten Schritt muss das Programm die Wortgrenzen ausrechnen – auch dies für den Rechner zunächst kein simples Problem angesichts der Tatsache, dass in vielen Sprachen manche Begriffe aus mehreren separaten Wörtern bestehen. Im nächsten Schritt werden dann einzelnen Wörtern bestimmte Wortarten zugeordnet, etwa Substantiv, Verb oder Adjektiv. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Verb in verschiedenen Konjugationsformen auftauchen kann, die alle korrekt einer Grundform zugeordnet werden müssen. In der Sprachwissenschaft heißt dies: Die Flexionsformen „fliegst“, „flog“ oder „geflogen“ gehören alle zum Lexem „fliegen“.

Noch komplizierter wird es schließlich, wenn man den identifizierten Wörtern bestimmte grammatische Funktionen im Satz zuordnen will, zum Beispiel die uns allen aus der Schulzeit vertraute Abfolge „Subjekt – Prädikat – Objekt“. Das Analyseprogramm muss erkennen: Wer ist in einem Textzusammenhang der handelnde Akteur? Was ist die Folge beziehungsweise Wirkung einer Handlung, und welche Art von Aktion ist erfolgt? „Stellen sie sich vor, ein Biomediziner sucht in der internationalen Fachliteratur nach Proteinen, die eine bestimmte Wirkung aufeinander ausüben“, gibt Hahn ein Beispiel aus der Praxis. Dann muss ein solches Programm die Wirkungsform – etwa eine Anregung oder Hemmung – und die Abfolge der einzelnen Teilschritte oft auch in einem medizinischen Zusammenhang (etwa eine bestimmte Krankheit) exakt erkennen. Diese Erkennung von Sinnzusammenhängen ist einer der anspruchsvollsten Schritte in der Textanalyse.

Für jeden dieser Analyse-Schritte müssen die Wissenschaftler ein eigenes Software-Modul bereitstellen. Entsprechende Entwicklungsarbeiten finden derzeit in zahlreichen

Forschungseinrichtungen weltweit statt. Doch dies reißt ein weiteres Problem auf: „Wir Computerlinguisten wollen natürlich nicht jedes Mal das Rad neu erfinden, sondern wenn möglich vorhandene Module auf Neue nutzen“, so Hahn. Er schtzt zum Beispiel die Zahl der so genannten Tokenizer, mit deren Hilfe man für einzelne Sprachen Wortgrenzen erkennen kann, rund um die Welt auf mehrere Hundert. Module aus unterschiedlichen Entwicklungslabors sind oft weder miteinander direkt vergleichbar noch kombinierbar, weil sie zum Beispiel in verschiedenen Programmiersprachen erstellt sind oder sogar unterschiedliche Betriebssysteme erfordern.



Die Jenaer Arbeitsgruppe hat daher eine Bibliothek solcher Module angelegt und analysiert sie nun systematisch. „Wir wollen dabei zum Beispiel herausfinden, welches Modul für welche Aufgabe am besten geeignet ist“, erklärt Hahn. Welches passt am besten zu einem bestimmten Problem? Wie verhalten sich die Module im Vergleich und wie kann man sie miteinander kompatibel machen? Für ihre Forschungsarbeit kann die Jenaer Forschergruppe auf Vorarbeiten des Computer-Unternehmens IBM zurückgreifen. Dort war vor Jahren die so genannte „Unstructured Information Management Architecture“ (UIMA) entwickelt worden: Dieses Rahmenwerk unterstützt Wissenschaftler bei der Entwicklung von Software-Systemen, mit deren Hilfe man Informationen nicht nur aus Texten, sondern auch aus Bildern, Videos oder Audiodateien gezielt herausfiltern und diese inhaltlich strukturieren kann. Das Unternehmen hat die Entwicklung dieser Rahmenarchitektur vor Jahren angestoßen, sie dann aber der wissenschaftlichen Gemeinschaft überlassen und sich auf die begleitende Förderung beschränkt. Dazu dient unter anderem der UIMA-Innovation-Award, ein mit 24.000 US-Dollar dotierter Preis, der alljährlich an Forscher auf der ganzen Welt vergeben wird. Einer der Preisträger des Jahres 2007 ist Udo Hahn.

Eine entscheidende Voraussetzung besteht darin, die Merkmale festzulegen, auf welche die Software-Module bei der Analyse eingehen sollen. „Dabei definieren wir zum Beispiel, welche Merkmale eine Wortart wie ‘Verb’ eindeutig und allgemein gültig bestimmen“, erklärt der Linguist. Es entstehen so genannte Typensysteme, welche die abstrakte Grundlage für effektive Sprach-Software bilden. Dies erleichtert es gleichzeitig, unter-

schiedliche Module miteinander zu vergleichen und aufeinander abzustimmen. „Die Typensysteme werden natürlich nicht einseitig von uns festgelegt, sondern international diskutiert und verbessert, bis man eine allseits wissenschaftlich akzeptierte Übereinkunft treffen kann.“ Hahn erwartet, dass in absehbarer Zeit auch einheitliche Industriestandards für solche sprachtechnologischen Systeme, etwa auch Suchmaschinen, festgelegt werden können.

Für die zukünftige Entwicklung des World Wide Web haben diese Forschungsarbeiten enorme Bedeutung. Die nächste Internet-Generation wird, darin sind sich die Experten einig, ein semantisches Web sein: Es wird Daten enthalten, in denen Suchmaschinen nicht wie bisher nur gleichartige oder ähnliche Zeichenketten erkennen, sondern auch gleiche Inhalte herauslesen können. „Bis dahin sind aber noch gewaltige Vorarbeiten zu leisten“, gibt der Fachmann zu bedenken. Dazu müssen nämlich die Sinnzusammenhänge und Begriffssysteme kompletter Fachgebiete durch weitgehend intellektuelle Arbeit des Menschen, sozusagen von Hand, systematisch erschlossen werden, um daraus umfassende Ontologien zu bilden. So gilt es zum Beispiel, das komplette Wissen der Biologie zusammenzuführen und systematisch zu ordnen. Erst auf dieser Basis können dann Maschinen entwickelt werden, die biologische Texte selbstständig analysieren und deren Inhalte verstehen können.

Solche Ontologien entstehen derzeit zunächst nur für einzelne begrenzte Fachgebiete. „Dass wir dies für das komplette World Wide Web schaffen, sozusagen für das ganze Wissen der Welt, ist bislang außerhalb jeder Reichweite“, betont Hahn. Eine solche Herkules-Aufgabe sei nur langsam, Schritt für Schritt zu bewältigen. Es kommt hinzu, dass dieses Wissen jeden Tag rasant anwächst und bekanntes Wissen im Lichte aktueller Forschung neu bewertet wird. Auf dieser Stufe wird Wissensmanagement, so prognostiziert Udo Hahn, wohl auch nicht mehr intellektuell, „von Menschenhand durch Menschenverstand“, zu leisten sein, sondern nur noch maschinell. Irgendwann in der Zukunft müssen sich die Suchmaschinen folglich das Wissen aneignen, das heute menschliche Experten auszeichnet. ■

 www.uni-jena.de/Prof_Dr_Udo_Hahn.html
 www.stemnet.de

MOLEKULARBIOLOGIE

AGROKRAFTSTOFFE

SYNTHETISCHE HEFEN PRODUZIEREN ETHANOL UND BUTANOL

AUS STROH GOLD MACHEN

Von Beate Meichsner

Seit Jahrtausenden helfen Hefen bei der Herstellung von Wein und Bier. Aber sie können weit mehr, wie Prof. Dr. Eckhard Boles und seine Mitarbeiter von der Goethe-Universität in Frankfurt zeigen. Die Wissenschaftler konnten synthetische Hefen herstellen, die aus Pflanzenabfällen hochwertigen und zugleich preiswerten Biosprit produzieren. Ein Verfahren mit Zukunft – schließlich sollen bis zum Jahr 2020 in Deutschland 20 Prozent der fossilen Kraftstoffe durch Biokraftstoffe ersetzt werden.

Wenn es um alternative Treibstoffe geht, schreitet er mit gutem Beispiel voran. Professor Dr. Eckhard Boles vom Institut für Molekulare Biowissenschaften an der Frankfurter Goethe-Universität forscht nicht nur über alternative Treibstoffe – er nutzt sie auch im Alltag. So betankt er seinen schon etwas in die Jahre gekommenen Opel zur Hälfte mit Bioethanol. Manchmal sogar mit reinem Bioethanol – aber dann gibt es in der kälteren Jahreszeit öfter Probleme mit dem Starten. Regenerative Kraftstoffe, davon ist Boles überzeugt, sind das Erfolgskonzept für die Zukunft – ökologisch und ökonomisch.

„Mit Hilfe der aus Pflanzen gewonnenen Alkohole Ethanol oder Butanol ließen sich die Kohlendioxid-Emissionen senken und unsere Abhängigkeit von Ölimporten deutlich reduzieren“, so der Frankfurter Molekularbiologe. Und regenerative Treibstoffe haben für ihn auch ein großes ökonomisches Potenzial. Nicht zuletzt deshalb hat der zweifache

Im Fermenter wird Alkohol mit Hilfe von Hefe aus Zuckern gewonnen, die aus Pflanzen stammen.



MOLEKULARBIOLOGIE

Familienvater vor kurzem mit einem Schweizer Partner die Firma Butalco GmbH gegründet, um seine Entwicklungen zu vermarkten.

Boles beschäftigt sich schon seit seiner Dissertation Anfang der 1990er Jahre in Darmstadt und seiner Habilitation an der Universität Düsseldorf mit dem Stoffwechsel von Hefen. Es ist ihm gelungen, die Stoffwechseleigenschaften von Hefen so zu verändern, dass sie zur Produktion von Bioalkoholen auch Pflanzenabfälle verwerten können. Eine effiziente Art, Stroh zu „Gold“ zu spinnen – effizienter jedenfalls, als es der Müllerstochter in dem bekannten Märchen Rumpelstilzchen gelungen ist.

„AUS EINER TONNE STROH KANN MAN 324 LITER ETHANOL MACHEN.“

Derzeit stellt man Bioethanol vorwiegend aus Getreide oder Zuckerrohr mit Hilfe von Hefen her, welche die vorhandenen Zucker direkt in Alkohol umwandeln – genauso wie bei der Wein- oder Bierproduktion. „Das kann aber nur eine Übergangslösung sein“, betont Boles. „Zum einen ergibt sich dabei eine Konkurrenz zum Lebensmittelmarkt. Zum anderen gibt es nur begrenzte Anbauflächen und deshalb all die ökologischen Probleme einer hochintensiven Landwirtschaft. Der einzige Ausweg aus diesem Dilemma sind die Nutzung von pflanzlichen Reststoffen, wie Stroh oder Holzresten, oder der Anbau von so genannten Energiepflanzen. Denn die günstigen Reststoffe fallen ohnehin an, und Energiepflanzen wie Switchgras, ein Präriegras aus Nordamerika, oder das Süßgras *Miscanthus* wachsen auch auf minderwertigen Böden“. Zur Herstellung von Biosprit können praktisch alle pflanzlichen Abfallstoffe verwendet werden, egal ob sie aus der Nahrungsmittelindustrie oder aus der Landwirtschaft kommen.

Allerdings gibt es bei den pflanzlichen Reststoffen ein Problem: Ihre Biomasse besteht zu einem Drittel aus Hexosen und zu

Die Äcker der Welt für die Produktion von Agrokraftstoffen zu bestellen, ist nicht unbedingt umweltfreundlich, so die Meinung vieler Experten. Prof. Dr. Eckhard Boles setzt hingegen auf Pflanzenabfälle, um aus ihnen Ethanol und Butanol zu gewinnen.

etwa 20 Prozent aus Pentosen, Zuckerarten, welche die Hefe nicht vergären kann. Sie sollten aber ebenfalls genutzt werden, wenn denn die Aufarbeitung dieser Reststoffe wirtschaftlich sein soll. „Die Margen in einem Markt wie dem der Biokraftstoffe sind recht eng. Für einen wirtschaftlich sinnvollen Prozess ist es also essentiell, möglichst alle vorhandenen Zuckerarten in Ethanol umzuwandeln, und nicht auf einen großen Anteil zu verzichten“, erläutert der Frankfurter Biologe und rechnet engagiert vor: „In einer Tonne Stroh sind 320 Kilogramm Traubenzucker, Glucose, enthalten. Bei einer vollständigen Vergärung entstehen daraus etwa 200 Liter Ethanol. Die vollständige Vergärung des Pentosezuckers Xylose ergibt zusätzliche 124 Liter. In der Praxis kann man in Deutschland von einem Netto-Strohertrag von 2,8 Tonnen Trockenmasse pro Hektar ausgehen. Insgesamt werden in Deutschland zurzeit etwa 12 Millionen Hektar Land als Ackerfläche genutzt. Würde etwa die Hälfte des vorhandenen Abfalls zu Ethanol vergoren, so könnten pro Jahr aus Glucose etwa drei Milliarden und aus der vorhandenen Xylose zusätzlich zwei Milliarden Liter Ethanol gewonnen werden. Selbst die nur mit etwa zweieinhalb Prozent vorhandene Arabinose würde noch 250 Millionen Liter Ethanol liefern!“ Kein Wunder also, dass er alles daran setzt, die Fermentation von Pflanzenabfällen – genauer das aus Lignocellulosen bestehende Strukturgerüst der pflanzlichen Zellen – in den Griff zu bekommen. Und das ist gar nicht so einfach (siehe Kasten).

Erstens muss die Lignocellulose verzuickert werden, was deutlich schwieriger ist als bei Stärke. „Das Unternehmen Greensugar in Dresden hat eine Methode gefunden, dies kostengünstig zu bewerkstelligen: Es nutzt konzentrierte Salzsäure, die mit einem Vakuum wieder verwendet werden kann“, erklärt Boles. Enzyme einzusetzen sei für eine industrielle Produktion noch zu teuer. Allerdings werde auch hieran intensiv geforscht, und es bleibe abzuwarten, welche Methode sich letztendlich durchsetze. Zweitens entstehen bei der chemischen Vorbehandlung des Pflanzenmaterials toxische Stoffe wie etwa Furfurale, welche die bei der Fermentation eingesetzten Mikroorganismen schädigen. Drittens haben Pflanzenabfälle ein niedrigeres spezifisches Gewicht und damit eine niedrigere Energiedichte als Getreide- oder Maiskörner. Das erfordert höhere Transportkosten und

größere Lagerflächen. Und viertens können „normale“ Hefen nur die Glucose nutzen und nicht auch Xylose und Arabinose.

Bei zwei der vier genannten Schwierigkeiten kommt Boles seine 17jährige Erfahrung mit dem Kohlenstoffwechsel von Hefen zugute. Seine Hefen können sowohl Pentosen als auch Hexosen vergären. Zudem sind sie – im Labor – in der Lage, die entstehenden Toxine selber abzubauen.

„Aus dem Erbmaterial der Hefe *Saccharomyces cerevisiae* lässt sich ablesen, dass sie früher einmal in der Lage war, Pentosen zu verwerten. Sie hat diese Eigenschaft allerdings im Laufe ihrer Evolution wieder verloren,“ erklärt Boles. Mit Hilfe moderner biologischer Verfahren ist es ihm jedoch gelungen, den Hefezellen diese Eigenschaft nicht nur zurückzugeben, sondern sie sogar deutlich zu verbessern. Bisher hat man vorhandenes Erb-

material aus Bakterien, Pilzen oder anderen Hefen in die Hefezellen eingeschleust. Nun haben Boles und seine Mitarbeiter einen anderen Weg gewählt. Sie haben am Computer entwickelte und aus DNA-Bausteinen künstlich synthetisierte Gene in die Hefen eingebracht. Die Anleitung dazu entnehmen sie weiterhin der Aminosäuresequenz von bakteriellen Enzymen, modifizieren aber den Bauplan so, dass er optimal auf die Stoffwechseleigenschaften der Hefen abgestimmt ist. „Wir bauen in die Hefe künstliche, biochemische Systeme ein, die neuartige Stoffwechselwege in der Zelle etablieren“, erläutert Boles. Um etwa Arabinose verwerten zu können, wurden drei modifizierte Gene aus Bakterien in die Hefe eingebaut – für die Nutzung der Xylose waren zwei entsprechende Gene entweder aus einer anderen Hefeart oder ein Gen aus einem Pilz notwendig. Es ist ein wenig so, als ob Hefen und Bakterien quasi die-

Hefen mit synthetischen Genen vergären auch jene Zuckerarten zu Ethanol, die von klassischen Hefen unberührt bleiben: Die Ausbeute steigt gewaltig.

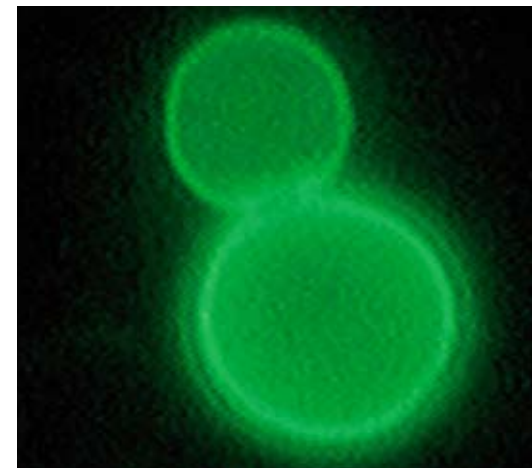
selbe Sprache sprechen würden – allerdings in unterschiedlichen Dialekten. Deshalb muss man den Dialekt der Bakterien – also deren Gene – in den Dialekt der Hefen übersetzen. Nur dann kann die Hefe die eingeschleusten Informationen verstehen.

Die erzeugten künstlichen Gene erlauben es den Hefezellen, bestimmte Zuckerarten in pflanzlichen Abfällen deutlich effizienter in Ethanol umzusetzen. „Die Arbeiten meiner Mitarbeiterin Beate Wiedemann haben dazu geführt, dass wir den Ertrag um 25 Prozent steigern konnten. Die Produktivität, das heißt die Geschwindigkeit der Umsetzung, hat sogar um mehr als 250 Prozent zugenommen“, erklärt Boles. „Damit kommen wir der kommerziellen Produktion von Cellulose-Ethanol einen beträchtlichen Schritt näher.“

Nun gibt es außer Ethanol noch andere Alkohole, die als Treibstoff interessant sind:

„IN DEN USA WERDEN ZURZEIT MILLIARDEN DOLLAR IN DIE ENTWICKLUNG VON NEUEN BOKRAFTSTOFFEN GESTECKT. WENN WIR NICHT AUFPASSEN, HINKEN WIR DEN AMERIKANERN BALD UNAUFHOLBAR HINTERHER.“

Butanol zum Beispiel, der etwas schwerere Verwandte von Ethanol. Die von Boles sowie dem Chemiker und Ökonomen Dr. Gunter Festel neu gegründete Schweizer Butalco GmbH hat sich jedenfalls zum Ziel gesetzt, Butanol als Bioethanol-Nachfolger zu entwickeln. Denn Butanol hat den großen Vorteil, dass es eine höhere Energiedichte hat als Ethanol und weniger korrosiv ist. Vor allem aber lässt es sich über dieselben – vorhandenen – Pipelines





MOLEKULARBIOLOGIE

wie Benzin transportieren. Damit wäre das Vertriebsproblem der Biokraftstoffe gelöst. Boles ist davon überzeugt, dass die Zukunft der alternativen Treibstoffe Butanol gehört. „Dieser Alkohol kann als reiner Kraftstoff getankt werden – Ethanol als Sprit für unsere Autos ist nur ein Übergangsmodell.“ Allerdings ist Butanol für Hefen recht toxisch, bei bereits zwei Prozent Butanol während der Fermentation ist Schluss.

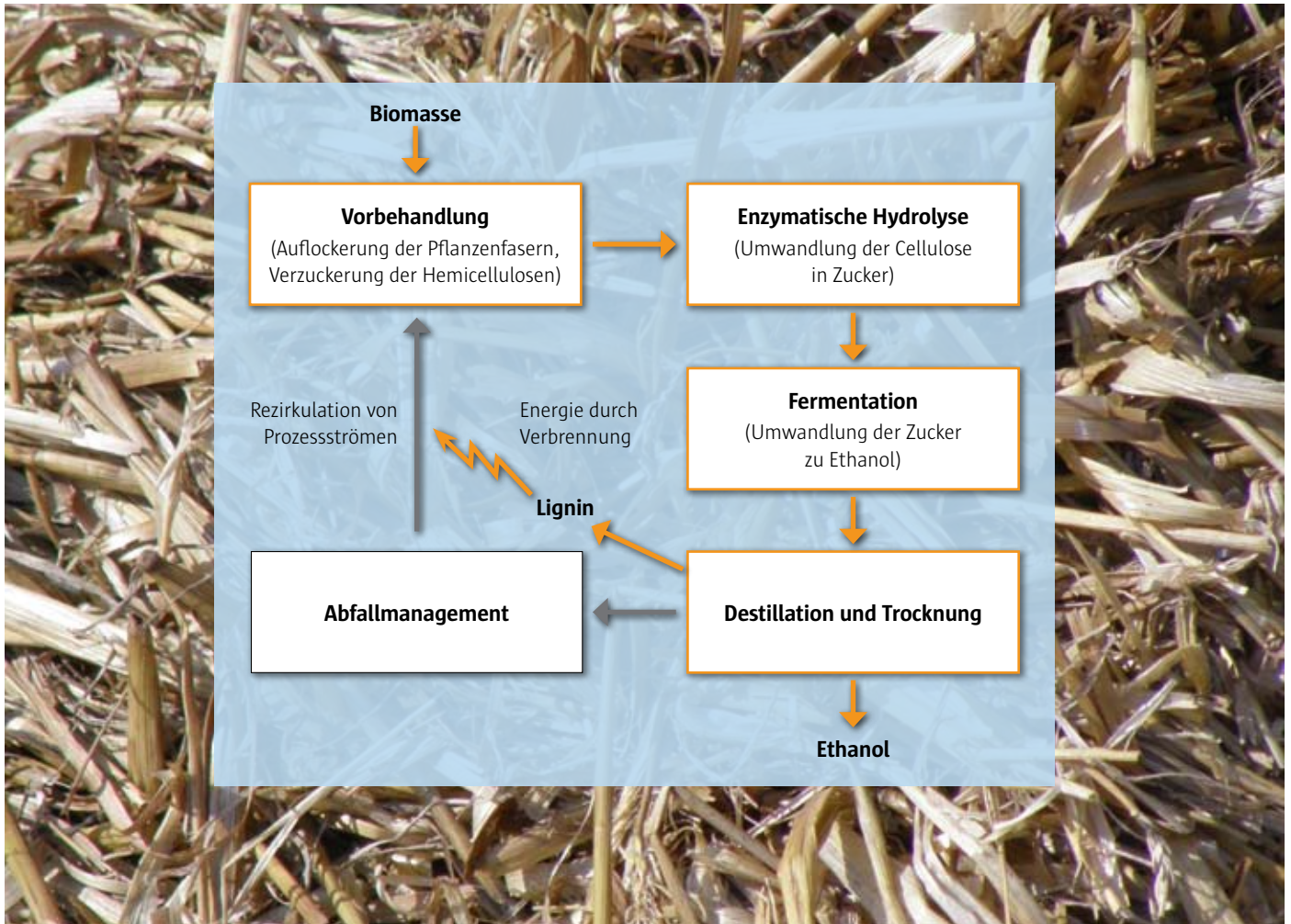
Derzeit arbeiten Boles und seine Mitarbeiter intensiv daran, ihre neue Methode der synthetischen Biologie für die weitere Aufrüstung der Hefe zu nutzen – für die Synthese von Butanol aus Pflanzenabfall. Im Labormaßstab ist dies bereits gelungen, und die ersten Patentanmeldungen sind bereits anhängig. Jetzt geht es darum, auch Industriehefen entsprechend zu modifizieren und einen industriellen Prozess zu entwickeln. Hierfür suchen Boles und Festel Investoren, die ihnen bei der Kommerzialisierung der Entwicklungen helfen. Boles ist optimistisch: „Ich bin fest davon überzeugt, dass wir in zwei bis drei Jahren einen technischen Prozess zur Herstellung von Ethanol haben, der auf unseren Arbeiten basiert. Bei Butanol wird es etwas länger dauern – so etwa drei bis fünf Jahre“. Der Molekularbiologe sagt über sich selber, dass er nicht nur für die „akademische Schublade“ forschen will, sondern für die Anwendung, und bedauert, dass Europa zu wenig in diese zukunfts-trächtigen Technologien investiert. „In den USA werden zurzeit Milliarden Dollar in die Entwicklung von neuen Biokraftstoffen gesteckt. Wenn wir nicht aufpassen, hinken wir den Amerikanern bald unaufholbar hinterher.“ Er und seine Mitarbeiter haben mit ihren Arbeiten jedenfalls dazu beigetragen, dass Deutschland gute Chancen hat, in diesem Wettlauf eine entscheidende Rolle zu spielen. Wenn seine neu gegründete Firma sich gut entwickelt und sich gegen die durchaus vorhandene Konkurrenz in den USA, den Niederlanden und Schweden durchsetzen kann, ist er nicht abgeneigt, in einigen Jahren seine Professur an den Nagel zu hängen und ganz Unternehmer zu werden. ■

www.bio.uni-frankfurt.de

www.butalco.com

Der Doktorand Marco Keller an einem Henze-dämpfer: Mit diesem Gerät werden Pflanzen unter hohem Druck aufgeschlossen.

HINTERGUND



BIOSPRIT AUS PFLANZENABFÄLLEN – WIE GEHT DAS?

Unter Biosprit versteht man Alkohol – meist Bioethanol –, der durch Fermentation aus Zuckern mit Hilfe von Mikroorganismen gewonnen wird. Im Allgemeinen setzt man dazu die Hefe *Saccharomyces cerevisiae* ein. Die Zucker stammen aus Pflanzen, die sie in verschiedenen Formen speichern oder in Strukturbestandteile umwandeln. Das kann Stärke sein, wie in Getreidekörnern oder Kartoffeln, oder auch die Saccharose in Zuckerrüben oder Zuckerrohr. Saccharose können die Hefen direkt vergären; Stärke muss erst in einem vorgeschalteten Prozess in Zucker aufgespalten werden, man spricht von hydrolysieren. Um jedoch die Strukturbestandteile, insbesondere die in Zellwänden eingebauten Lignocellulosen, nutzen zu können, müssen diese zunächst mit Hilfe von Säuren und

speziellen Enzymen in die einzelnen Zucker gespalten werden. Unter Lignocellulose versteht man die Kombination aus nicht fermentierbarem Lignin, Hemicellulosen und Cellulose. Bei der Hydrolyse entsteht ein Gemisch aus Zuckern mit sechs und solchen mit fünf Kohlenstoffatomen. Die Hexosen stammen dabei aus der Cellulose und die Pentosen aus den Hemicellulosen. Um diese Mischung aus Pentosen und Hexosen vollständig zu Ethanol vergären zu können, sind spezielle Hefen notwendig, die es jedoch in der Natur nicht gibt. Hier kommt die Methode der Synthetischen Biologie ins Spiel. Mit ihrer Hilfe sind Hefen konstruierbar, die sowohl Pentosen wie Xylose oder Arabinose als auch Hexosen wie Glucose verarbeiten können.

Ist es nicht beeindruckend,
was die Einsparung
von 100 Millionen
Tonnen CO₂
für Auswirkungen hat?



© 2008 ABB

Spitzentechnologie in der Automations- und Energietechnik steigert die Produktivität, erhöht die Energieeffizienz und hilft, die Umwelt zu schützen.
Besuchen Sie uns auf www.abb.com.

Power and productivity
for a better world™

