

Spring 2014 Woche 13

PROJEKT ZUKUNFT 20080127

Hubschrauber fliegen ist ein Riesenspaß - wenn mans beherrscht. Das kleine Modell hat den Vorteil, sehr leise zu sein. Bei einem echten Hubschrauber fliegen einem ja die Ohren weg, so laut ist er. Wir zeigen ihnen heute u.a. wie raffiniert Ingenieure das Problem lösen. Und damit HW zu Projekt Zukunft, ihrem Wissenschaftsmagazin auf DWTV. Hier ist der Überblick über unsere Themen.

Neues Klimahaus - eine Reise entlang des achten Längengrads;
Leise Hubschrauber - neue Rotorblätter gegen Lärm;
Und: Fortschrittliche Medizin - Kleine Teilchen mit großer Wirkung.

KLIMAH AUS

So schnell sind sie noch nie von einem Ende der Welt zum anderen gereist: von Bremerhaven nach Sizilien, durch Afrikas Nigerzone und den tropischen Regenwald, über den Ozean und die Antarktis zurück bis zur Hallig Langeness. Einmal durch alle Klimazonen der Welt und das in nicht mal einer Stunde. Das neue Klimahaus in Bremerhaven machts möglich. Der Klimawandel ist die größte Herausforderung vor der die Menschheit steht, also brauchen wir alle fundiertes und vor allem erlebtes Wissen darüber. Das ist das Credo der Macher. In einem Jahr wird das Klimahaus seine Tore für die Besucher öffnen. Bei uns müssen Sie nicht so lange darauf warten.

Sonne, Wasser, Luft, Feuer und alles Leben bestimmen das Klima der Erde. Die Reise zu den vielfältigen Klimazonen des blauen Planeten beginnt im Norden Deutschlands, in einer Stadt am Meer: Bremerhaven, an der Nordsee. Im Klimahaus, das gerade entsteht. Es wird eine bisher weltweit einmalige Ausstellung ausschließlich über Wetter und Klima zeigen.

Arne Dunker, Klimahaus Bremerhaven " Wir wollen die Besucher zuerst einmal für das Thema Klima begeistern, ohne jetzt gleich mit erhobenem Zeigefinger das Thema Klimaschutz mit hinein zu bringen. Also erst einmal zeigen, was ist Klima überhaupt? Wie unterschiedlich prägt es sich auf der Welt aus und wie sind unterschiedliche Menschen in unterschiedlicher Art und Weise von Klima-bedingungen betroffen. Und darüber erwecken wir hoffentlich ein Interesse, eine Neugierde, ein auch Wissen-wollen, wie funktioniert das Ganze."

Auf 5000 Quadratmetern können Besucher Hitze und Kälte hautnah erleben. Wüsten, Polargebiete, Südseeparadiese durchwandern und deren Bewohner kennenlernen. Oder das einfache Leben auf einer Alm in den Schweizer Alpen. Und erfahren, warum die Gletscher schmelzen.

Filmausschnitte werden in der Ausstellung auch das Leben der Menschen vor Ort zeigen Weiter

geht's nach Sardinien. Gut, dass Schafe mit nahezu jedem Wetter zurechtkommen. Hat die Mittelmeerinsel doch alleine fünf verschiedene Klimaregionen. Doch wie überleben Menschen in einem "Meer ohne Wasser", in der Sahelzone im Niger? Ohne Kamele, ihr wichtigstes Transporttier, könnten die Wüstenbewohner nicht überleben. Und nicht ohne Wasser, das sie immer mühseliger "ausgraben" müssen. Denn mehr und mehr breiten sich im nördlichen Afrika Hitze und Trockenheit aus.

In der Ausstellung können Besucher die Hitze an einer glühenden Stahlwand sogar sehen und spüren. Doch noch ist das Klimahaus nicht fertig. Susanne Nawrath ist die wissenschaftliche Leiterin des Projekts. Sie kommt regelmäßig auf die Baustelle. Einiges läßt sich auch schon erkennen.

Susanne Nawrath, Klimahaus Bremerhaven " Also hier auf diesen Podesten, da werden die Zukunftsszenarien gezeigt. D.h. für jede Reisesation wird es ein fiktives, aber auf wissenschaftlichen Ergebnissen basierendes Zukunftsszenario bis zum Jahr 2050 geben. Auf diesen Podesten werden grüne Kugeln sein, die begehbar sind, in denen dann das Szenario gezeigt wird."

Wie beeinflußt der Mensch zum Beispiel das Klima der tropischen Regenwälder, etwa im westafrikanischen Kamerun? Für Mitteleuropäer fast unerträglich feuchtheiss, doch ein Paradies für Pflanzen und Tiere. Ein stark bedrohtes Paradies. Kahlschlag, der das Klima verändert. Für profitables Tropenholz. Oder neue landwirtschaftliche Flächen. Sie dagegen verlieren ihre Welt.

Der wohl extremste Ort der Erde, die Antarktis. Eisige Stürme toben hier häufig. Und doch zieht es Wissenschaftler immer wieder hierher. Hier, in reiner Luft, erheben sie Wetterdaten, erforschen Umwelt und Klima. Zum einen liefert die klare Atmosphäre besonders wertvolle Daten. Zum anderen speichern die Millionen Jahre alten Eismassen das Klima der Vergangenheit: ein Schlüssel für die Zukunft. Und hier studieren die Forscher, wie sich das Eis mit steigenden Temperaturen verändert. Er könnte künftig feuchte Füße bekommen.

Samoa, in der Südsee scheint ein Paradies. Üppige Vegetation, feuchtwarmes Klima. Die Natur hat den Menschen hier viel zu bieten. Denn die Nahrung wächst nicht nur auf den Bäumen. Vielerlei Früchte und Gemüse gedeihen auf den üppigen Böden. Rund zwei Drittel der Samoaner leben von der Landwirtschaft. Dazu gehört auch der Fischfang. Denn vor der Küste der Südsee-insel liegen große Korallenriffe, Lebensraum für zahlreiche Fische und andere Meereslebewesen. Doch die Riffe verändern sich. Die Erwärmung des Wassers, die stärkere Sonneneinstrahlung lassen die Korallen nach und nach absterben. Schon heute beginnen die Fischer auf Samoa diese Folgen des Klimawandels zu spüren.

Susanne Nawrath, "Fische sind eine der Haupteislieferanten für die Menschen auf Samoa. Und im Zuge der globalen Erwärmung können Korallenriffe geschädigt werden, was natürlich den Fischreichtum auf Samoa gefährdet."

Den können Besucher künftig zumindest in den Meeresaquarien des Klimahauses bewundern.

Mehr als 100 Arten sollen einmal darin schwimmen. Wieder zurück an der Nordsee. Eine winzige Insel unweit der Küste. Auch hier, wie in der Südsee, heisst ein steigender Meeresspiegel Land unter. Im März 2009 wird das Klimahaus seine Tore für Besucher öffnen. Für die Reise einmal rund um den Globus.

Z-FRAGE PFLANZENKOMMUNIKATION

Wir sorgen jetzt dafür, dass bei Ihnen die Temperatur steigt. Denn wir kommen zu unserer Zuschauerfrage. Viele machen mit, viele schicken uns ihre Fragen aus dem Bereich Wissenschaft, aber nur einige wenige landen hier in der Sendung. Wessen Frage wird also heute beantwortet? Jetzt erfahren Sies. Unsere Zuschauerfrage.

Einsteinchen: "Hallo. Schön, dass Sie wieder da sind. Also das sind ja wieder sehr spannende Fragen, die Sie uns da gestellt haben."

Gazanfar Ali aus Bangalore will wissen: Wie kommunizieren Pflanzen? Per Interview leider nicht. Deshalb müssen Wissenschaftler sie auf die harte Tour zum Sprechen bringen. Das misshandelte Grünzeug stößt dabei einen Schrei aus, einen Schrei aus Gas. Den können die Forscher hörbar machen. Indem sie die Moleküle des Gases per Laser zum Schwingen bringen. Mehr als nur schaurig schreien kann diese Limabohne. Wird sie von einem Wissenschaftler mit Raupen angegriffen, ruft sie per Duftsignal ein Fleisch fressendes Insekt zur Hilfe. Das macht dann kurzen Prozess. Allerdings nur mit den Raupen. Und diese Gurkenpflanze? Sie beschwerte sich mit einem traurigen Pfeifen. Über einen Mehltau-Befall lange bevor er sichtbar wurde. Jetzt arbeiten die Forscher an einem Frühwarnsystem für die Landwirtschaft. Diese Pflanzen haben keine Sorgen. Wie sie ihr Glück miteinander teilen, haben Wissenschaftler auch belauscht: Friedliches gemeinsames Blubbern. Oder im Klartext: Alles im grünen Bereich.

Einsteinchen: Wenn Sie auch eine Frage haben, dann schreiben Sie uns, über die Internetseite dw-world.de/projekt-zukunft. 1:54 Bis demnächst. Und denken Sie daran: Wichtig ist, das man nicht aufhört zu fragen. Sie wissen, wenn ihre Frage in Projekt Zukunft beantwortet wird, bekommen Sie eine Einsteinchen DVD.

NANOMEDIZIN

Unsere nächste Geschichte handelt von Riesen und Zwergen. Und zwar in der Medizin. Dabei sind auch die Riesen schon ganz schön klein, nämlich die Zellen, die uns krank machen, die mit Arzneimitteln behandelt werden. Die Zwerge, das sind die neuen Methoden der Mediziner: die Nanotechniken. Alle Experten behaupten, dass die Nanotechnologie nicht nur die Medizin sondern unser ganzes Leben gründlich verändern wird. So wie Internet, Handy, Auto. Die ersten Nanomedizinprodukte haben bereits den Markt erobert. Sogar die winzigen Roboter, die durch unsere Blutbahn patrouillieren, scheinen bald nicht mehr nur Science-Fiction zu sein.

Intensivstation eines Schweizer Hospitals. Medikamente die hier eingesetzt werden, haben oft schwerste Nebenwirkungen; sie wirken wenig gezielt und überfluten den ganzen Körper mit der Arznei. Die Nanotechnologie soll den Wunsch nach der gezielten Therapie erfüllen. Ist sie die Medizintechnik der Zukunft? Oder ist Nanomedizin Science Fiction? Beispiel eins. Ein Nanochirurg, der im Auge schädliche Ablagerungen entfernt. Der Amerikaner Bradley Nelson von der Technischen Hochschule Zürich hat ihn entwickelt. Der Professor für Robotik sucht nach neuen Wegen, Medikamente präzise mit Robotern zu transportieren oder sogar Blutgefäße von

Plaques zu reinigen. Auf dem Experimentiertisch: große Magnetspulen, im Zentrum ein Auge aus dem Schlachthof. So wird der Roboter im Augennern gesteuert.

Bradley J. Nelson, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich: (in Englisch!) "Die Anwendung in der Augen Chirurgie ist nur die Spitze des Eisbergs. In Zukunft könnten diese kleinen Roboter an schwierig erreichbare Orte im Körper gelangen. Orte im Hirn, im Innenohr, im Herzen, im Verdauungstrakt.@

Und das sind nur einige der Einsatzmöglichkeiten, die wir uns in Zukunft vorstellen können. Roboterfabrik im Kleinformat: in Zürich wird der Nanochirurg weiterentwickelt. Ein grosser Schritt ist Bradley Nelson im vergangenen Jahr gelungen: Ein neuer Antrieb verbessert die Navigation des Nanobots. Ihr Einsatz in der Medizin: noch ist das eine Vision.

Beispiel zwei. Patrick Hunziker von der Basler Uniklinik entwickelt Medikamenten-Transporter. Mögliches Einsatzgebiet: die Herzmedizin. Rechts im Bild: ein Nano-Container. Er soll wie eine Fähre die Arznei zu den kranken Zellen bringen. Wie eine Klette kann sich die Hülle des Nano-Containers an ihrem Zielort festhacken und dort Medikamente freisetzen. Intensivmediziner Hunziker sieht für den Patienten viele Vorteile.

Patrick Hunziker, Universitätsspital Basel "Die Nanocontainer können sehr gezielt an der kranken Zelle angreifen. Das bedeutet: alle anderen Zellen, die anderen Organe, die nicht am Krankheitsprozess beteiligt sind, die können wir von Nebenwirkungen verschonen."

Hergestellt werden Nanocontainer in einem komplizierten, mehrstufigen, chemischen Verfahren. Die fluoreszierende Farbe hilft später, die Container bei Zelltests einfach zu finden. Erste Erfolge hat Biochemikerin Rahel Bänziger bereits dokumentiert. Zellen des Immunsystems - so genannte Makrophagen - werden von den Nanocontainern gezielt erkannt. Der Blick durchs Mikroskop zeigt: Gesunde Zellen - hier blau - werden verschont. Die grünen, kranken Zellen hingegen hat der rot fluoreszierende Nanocontainer attackiert. Alles noch Zukunftsmusik? Nanocontainer werden bereits im Tierversuch getestet.

STUDIOGESPRÄCH mit Andreas Jordan, MagForce + LM Therapie

DW-TV: Und bei uns im Studio ist Herr Doktor Andreas Jordan. Er ist Biologe und beschäftigt sich mit diversen Facetten der Nanomedizin. Herr Jordan was kommt da auf uns zu? Ist das eine Revolution, die die Medizin momentan erfasst?

Andreas Jordan: Nun das kann eine Revolution werden. Ich sehe da zwei Zielrichtungen. Das eine ist, dass wir ganz winzige Instrumente zur Verfügung haben. Ich denk mal an dieses Nano-U-Boot mit dem man in den Gefäßen etwas manipulieren kann, Gefäße öffnen. Das andere ist, dass wir intelligente Trägerstoffe entwickeln oder auch Träger die eben dann allein zum Beispiel eine Krebszelle finden und zerstören können.

DW-TV: Sie selber arbeiten auch in der Nanomedizin an einem ganz besonderen Verfahren und versuchen Menschen mit Hirntumoren und Prostatakarzinomen zu helfen. Wir haben da ein paar Bilder vorbereitet. Vielleicht könnten Sie uns gerade mal erklären, wie Sie dabei vorgehen!

Andreas Jordan: Man nimmt eine Substanz, die aus Eisenoxidkernen besteht und die eine

bestimmte Hülle hat. Sie wird dann direkt in den Tumor eingebracht. Hier sieht man ein Planungsbild. Das heißt, man kann diese Partikel sichtbar machen, dort das blaue sind die Partikel, das rote ist die berechnete Temperatur. Es handelt sich um eine Wärmetherapie, in der man diese Partikel mit einem magnetischen Feld aufheizt.

DW-TV: Wie finden diese Partikel überhaupt an die richtige Stelle, wo die Tumorzellen sind?

Andreas Jordan: Nun da gehen wir bisher den ganz einfachen Weg. Indem die Partikel direkt in den Tumor eingebracht werden. Die moderne Medizin eröffnet uns heute viele Methoden, mit der man eben direkt dort hineingehen kann. Und die Partikel sind dann so gebaut, eben diese Hülle ist nanotechnologisch so gebaut, dass die Partikel in den Geweben drin bleiben und teilweise auch in diesen Tumorzellen aufgenommen werden. So dass praktisch alle diese Zellen Antennen bekommen, wie das Radio zu Hause. Und dann hat man ein Energiefeld, ein magnetisches Feld, und diese Energie wird direkt in diese Partikel und damit direkt in die Tumorzellen gelenkt.

DW-TV: Das heißt, sie schmelzen sozusagen diesen Tumor einfach weg?

Andreas Jordan: Nun man kann beides tun! Man kann sie empfindlicher machen gegenüber einer konventionellen Therapie aus Strahlen- und Chemotherapie. Man kann die Temperatur aber auch höher machen, so dass diese Therapie auch alleine schon wirksam ist. Beides wird in klinischen Studien getestet und wir versuchen in aktuellen Studien zum Glioblastom, dem bösartigsten Hirntumor, indem wir Patienten noch aufnehmen, hier zu helfen.

DW-TV: Sie sagen selbst, es sind natürlich noch Studien. Diese Therapie gibt es noch nicht am Markt, aber trotzdem werden Sie natürlich bestimmte Hoffnungen haben. Also, wird es tatsächlich wirken?

Andreas Jordan: Nun die Erfindung, da bin ich seit 20 Jahren dabei, das wissenschaftlich zu erarbeiten. Seit 2003 sind wir in klinischen Studien. An verschiedensten Tumorarten eben diesem Glioblastom, Prostatakarzinomen, auch an gynäkologischen Tumoren, Gebärmutterhalskrebs und anderen Tumoren wurde gezeigt, dass die Methode funktioniert, dass wir effektive Temperaturen haben und dass diese Therapie sehr sehr gut vertragen wird. Und die Ergebnisse, längeres Überleben nach einer schweren Krebserkrankung, die Ergebnisse da muss man noch ein bisschen warten, bis die vorliegen.

DW-TV: Viele Experten haben ja Bedenken was die Nanopartikel überhaupt betrifft. In unserer Umgebung, dass sie möglicherweise eben auch ein Gesundheitsrisiko sind. Wie ist das ganz konkret bei den Nanopartikeln die sie injizieren, wo landen die am Ende?

Andreas Jordan: Nun, wenn die Tumorzelle zerstört wird durch die Erwärmung, dann werden diese Zellreste, diese Zelltrümmer zusammen mit den Nanopartikeln über Fresszellen abtransportiert. Sie fangen die Zelltrümmer und die Nanopartikel ein und dann geht das in Leber und Milz und dort werden sie abgebaut.

DW-TV: Haben Sie vielen Dank für das Gespräch, Herr Jordan.

HUBSCHRAUBER

Wenn Ingenieure nicht mehr weiter wissen, dann holen sie sich gerne Hilfe und Inspiration, und zwar dort wo schon viele Millionen Jahre lang Hitech Lösungen entwickelt wurden - in der Natur. Die biologische Evolution hat in ewigen Versuchsreihen die beste Lösung für schwierige Fälle gefunden. Z.B. bei der Eule. Die Eule hat ganz besondere Flügel. Sie sind verformbar und in viele kleine Federn aufgegliedert. So entstehen keine starken Einzelwirbel. Das bringt ihr den Vorteil absolut leise fliegen zu können. Und das ist wichtig für die Eule, denn sie jagt meist nachts,

also in größter Stille. Wer hier durch zu viel Krach macht, verjagt die eigene Beute.

Wer könnte von diesen Prinzipien profitieren? Hubschrauber. Sie würden gerne unterwegs sein wie Eulen. Vor allem was die Lautstärke betrifft. Denn so fantastisch die Flugeigenschaften eines Hubschrauber sind - in vielen Notsituationen ginge es nicht ohne sie - so unendlich laut knattern sie. Die Eule hat die Ingenieure auf eine Idee gebracht.

Eurocopter Versuchsgelände im bayerischen Donauwörth: hier findet der Testflug statt. Bei der Erprobung der neuen Rotorblätter wollen die Wissenschaftler um Valentin Klöppel das Hauptproblem lösen. Die Klappen produzieren nur dann weniger Lärm, wenn sie sich zum richtigen Zeitpunkt bewegen. Das war bisher nicht immer der Fall. Ein neues Computerprogramm soll Abhilfe schaffen. 35mal pro Sekunde wird es die Klappe ansteuern, auf die Tausendstelsekunde genau .

Dr. Valentin Klöppel Eurocopter: "Und da sieht man auch schon, dass die Klappe wesentlich mehr arbeitet ? "

Der Computer bewegt die Klappen nicht direkt. Die große, schwere Regelanlage auf dem Rotor sendet elektrische Impulse.

Dr. Valentin Klöppel, "Wir haben hier die Energieversorgung, die Energie wird über einen Schleifring nach oben zur Rotorkopfelektronik übertragen, und von dort verstärkt und an die Klappen weitergegeben ?"

Die Klappensteuerung wiegt über 150 Kilo und füllt den gesamten Innenraum. Der Versuchshubschrauber kann deshalb weder Passagiere noch Fracht transportieren. Erst wenn die neuen Rotorblätter zuverlässig funktionieren, wollen die Forscher die Technik verkleinern und abspecken. Während Valentin Klöppel sein Team unterweist, checkt Testpilot Manfred Kuck die veränderte Maschine. Die neue Klappentechnik beeinflusst das Flugverhalten des Hubschraubers. Eine Fehlfunktion könnte schnell zum Absturz führen.

Manfred Kuck, Testpilot Eurocopter "Wir müssen uns Notfälle überlegen, weils Experimente sind, die Experimente können auch ab und zu mal schief gehen, aber Gott sei Dank durch die gute Vorbereitung, durch die Systemtests am Boden, durch die ganzen Vorversuche die dort gelaufen sind, auf Prüfständen und so weiter, fühlen wir uns recht sicher, aber es ist immer wieder ein spannendes Erlebnis und hoffentlich geht alles gut. "

In der Landezone baut Valentin Klöppel die Mikrophone auf. Sie werden den Fluglärm während des Experimentes messen.

Dr. Valentin Klöppel, " Wir messen zunächst den Referenzlärm ohne Klappensteuerung, und dann möchten wir herausfinden, wie viel wir an Lärminderung erzielen können, wenn wir mit Klappensteuerung anfliegen."

Während des Fluges überträgt der Hubschrauber alle technischen Daten per Funk in den Kontrollraum. Wie schnell bewegt sich der Rotor? Wie oft schlagen die Klappen? Welche Lautstärke messen die Bordmikrophone? Für die Messung muss der Pilot mehrmals im selben Winkel anfliegen. Dabei helfen ihm die Anfluglichter. Die Lampen sind mit Farbfiltern ausgestattet. Je nach Betrachtungswinkel leuchten sie rot oder weiß. Sieht der Pilot die Lampen rot, fliegt er im richtigen Winkel.

Beim ersten Anflug ist die neue Klappensteuerung ausgeschaltet, damit die Wissenschaftler erst einmal den Normallärm messen können. Erst in größerer Flughöhe wird Testpilot Manfred Kuck die Klappensteuerung einschalten. Das ist eine Vorsichtsmaßnahme: Sollte der Hubschrauber außer Kontrolle geraten, könnte Manfred Kuck ihn noch abfangen.

Situativer O-Ton zwischen Manfred Kuck, Testpilot Eurocopter und Dipl. Ing. Dieter Roth, Versuchs-Leiter, Eurocopter A Wir sind jetzt im Endanflug Richtung Drei Null, Geschwindigkeit ist 60 Knoten @ AOK, sehen wir hier auch. @ A Drehzahl ist stabil bei 100 Prozent, die Maschine verhält sich gut, sie ist sehr stabil, müsste eine gute Messung geben. @ A Von den Werten her sieht es Exzellent aus. @ A Ja es ist sehr ruhig, die Luftschichtung, wir haben fast keinen Wind, ich würde sagen: >Ideale Bedingungen für eine Messung.= @ A Hat sich an der Vibration noch irgendwas verändert? @ ... A Nein sehr stabil, gering und sehr stabil. @ "Geschafft: Diesmal funktioniert das neue Steuerprogramm. Der Hubschrauber schwebt deutlich leiser ein. @

Am Ende werden die Wissenschaftler eine Reduzierung um 6 Dezibel ermitteln - das bedeutet: der Hubschrauber fliegt fast halb so laut.

Dipl. Ing. Dieter Roth, "Wir haben den Landeanfluglärm deutlich reduzieren können, das hat man auch an den Mikrophondaten deutlich gesehen. Momentan machen sie grad ne Vibrationsregelung, das heißt, wir reduzieren Momentan im Horizontalflug die Vibrationen in der Kabine, das ganze soll später einmal kombiniert werden, das heißt wir wollen dann im Landeanflug sowohl Vibrationen reduzieren, als auch den Lärm"

Im Hubschrauber verursachen die Schwingungen der Rotorblätter Vibrationen. Die Insassen werden manchmal ordentlich durchgeschüttelt. Auch diese unangenehmen Erscheinungen können die neuen Rotorblätter reduzieren.

Manfred Kuck, "Wir freuen uns immer wenn wir die Klappen aktiv setzen, weil dann wird der Lärm auch innen drin reduziert, in der Kabine, und was für uns viel wichtiger ist, die Vibrationen, werden reduziert vom Hubschrauber, wir haben sozusagen einen komfortablen Hubschrauber, ich sehne mich immer danach, dass die Klappen aktiv eingeschaltet werden . "

Das Experiment ist geglückt - immer wieder hat es technische Pannen gegeben.

Dr. Valentin Klöppel, "Es ist natürlich oft enttäuschend, wenn beispielsweise ein wichtiger Sensor ausfällt, umso schöner ist es dann, wenn sich Erfolge einstellen, wenn man feststellt, dass der Lärm gemindert werden kann, dass die Vibrationen sich reduzieren lassen, dass die Piloten

zum Beispiel sagen, verstellt das bitte nicht die Einstellung, damit möchten wir jetzt weiterfliegen, das ist für den Forscher eine wahre Freude."

Die neuen Klappen können Lärm stark reduzieren. Für den Serieneinsatz ist die Technik allerdings noch zu schwer. Die Markteinführung erwarten die Wissenschaftler frühestens in sechs Jahren.