

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT



DER TRAUM VOM FLIEGEN

Brüder Wright

Zwiespältiger Erfolg

Neuroergonomie

Entscheiden im Flugmodus

Pionierflug

Abheben mit Ionenantrieb



Antje Findekleer
E-Mail: findekleer@spektrum.de

Liebe Leserin, lieber Leser,
sich wie ein Vogel in die Lüfte erheben zu können –
davon träumen Menschen schon sehr lange. Tüftler
aller Epochen haben versucht, den tierischen Vorbildern
die Geheimnisse des Fliegens abzuschauen. Manches
davon ist gelungen, vieles noch immer ein Rätsel. Und
auf der Suche nach möglichen Technologien entwickelten
Forscherinnen und Forscher auch allerhand Kurioses.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 15.04.2019

Folgen Sie uns:



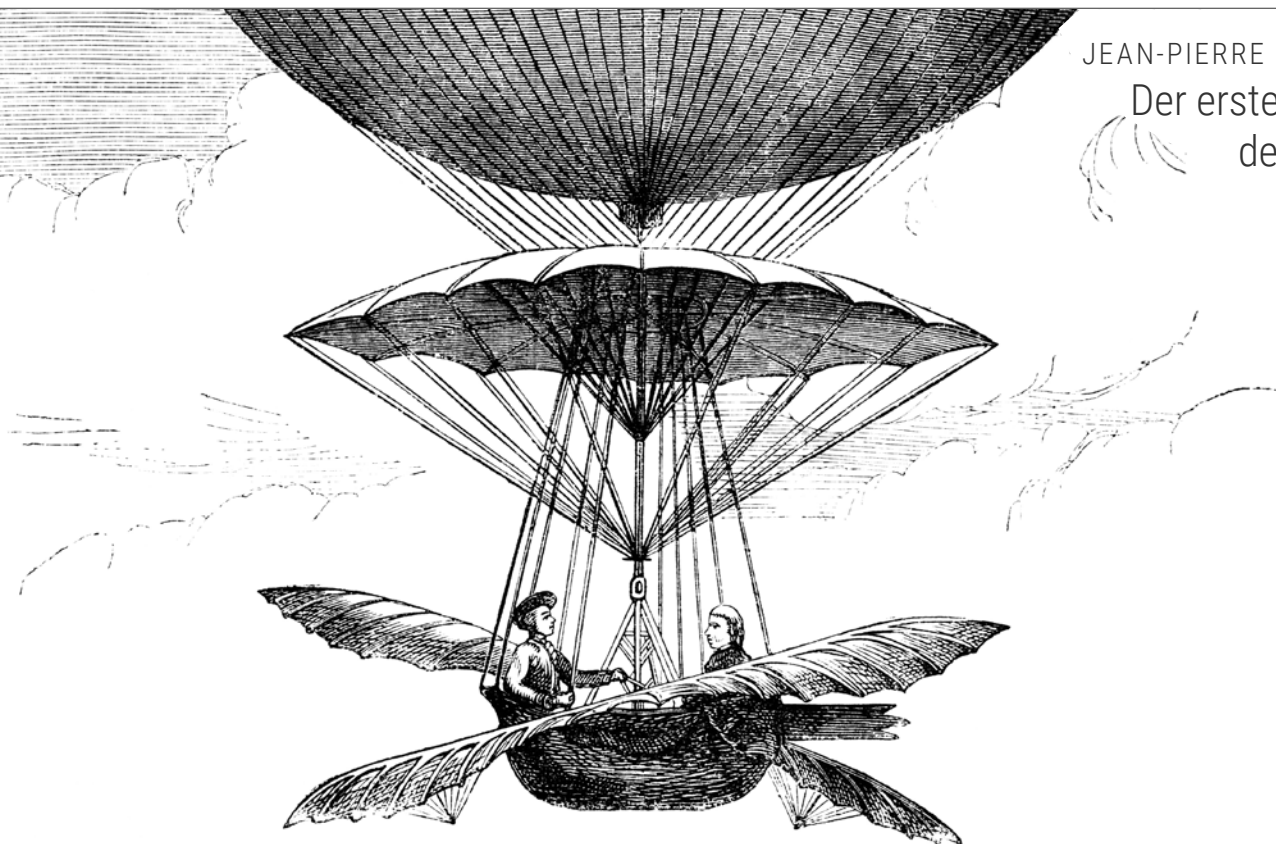
CHEFREDAKTEURE: Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)
REDAKTIONSLEITER: Dr. Daniel Lingenhöhl
ART DIRECTOR DIGITAL: Marc Grove
LAYOUT: Oliver Gabriel, Marina Männle
SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies,
Katharina Werle
BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL: Antje Findekleer,
Dr. Michaela Maya-Mrschik
VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,
Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600,
Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,
UStd-Id-Nr. DE229038528
GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle
MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.),
Michaela Knappe (Digital)
LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser,
Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer
ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen
interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an
service@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei
der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche
Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung,
öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist
ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig.
Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag
zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder
autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist
die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzu-
nehmen: © 2019 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesell-
schaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe
in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft
Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die
jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht,
sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte
dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt
werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt.
Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher
übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor,
Leserbriefe zu kürzen.

SEITE
04

JEAN-PIERRE BLANCHARD
Der erste Showstar
der Luftfahrt



WHITEMAY / GETTY IMAGES / ISTOCK

SEITE
17

TECHNIKGESCHICHTE
Der zwiespältige Erfolg
der Brüder Wright



KAREN FOLEY PHOTOGRAPHY / GETTY IMAGES / ISTOCK

PEDALGETRIEBENER HELIKOPTER

Die erstaunliche
Geschichte eines
unmöglichen Flugs

SEITE
29



NICCOLAY / GETTY IMAGES / ISTOCK

NEUROERGONOMIE
Entscheiden im Flugmodus

SEITE
45



CALEB WOODS / UNISPLASH

- 24 FORENSIK
Starb Weltumfliegerin Amelia Earhart
als Einsiedlerin?
- 27 MUSKELKRAFTFLUGZEUG
Wie Daedalus übers Meer
- 39 PIONIERFLUG
Experimentalflugzeug mit Ionenantrieb
hebt ab
- 43 KOLLISION
Wenn eine Drohne ins Flugzeug crasht
- 55 LOGISTIK
Boarden große Gruppen Flugzeuge
schneller als kleine?
- 57 ERNÄHRUNG
Warum Essen im Flugzeug häufig
ungenießbar ist
- 62 SOZIALPSYCHOLOGIE
Die erste Klasse bringt Flugreisende
auf die Palme
- 64 STRAHLUNGSWOLKEN IN DER ATMOSPHÄRE
Deutlich mehr Strahlenbelastung
in Flugzeugen
- 66 EMISSIONEN
Fährtenuche am Himmel
- 70 SCHLIERENFOTOGRAFIE
Hinter der Schallmauer

JEAN-PIERRE BLANCHARD

Der erste SHOWSTAR der Luftfahrt

von Theodor Kissel



Blanchards Ehrgeiz, Mut und Mundwerk waren riesig. Kaum hatte man den Heißluftballon erfunden, saß er auch schon in der Gondel – und machte sich zum ersten Showstar der Luftfahrt.

Anfang Februar 1808: Die Schau im Park des Château du Bois in der Nähe von Den Haag nähert sich ihrem Höhepunkt. Unter dem Jubel der Menschenmassen klettert der kleine Mann in die Gondel seines Ballons. Unter ihrem Jubel hebt er ab. Halb Europa und die Neue Welt haben ihn schon fliegen sehen. Kaiser und Könige, die Größen seiner Zeit. Doch dieses Mal kann der 55-jährige Franzose ihre Aufmerksamkeit nicht genießen. Es geht ihm nicht gut. Ein seltsames Taubheitsgefühl verspürt er in den Händen.

Er beschließt, es zu ignorieren. Er weiß, wie schnell die Masse ihre Lieblinge vergisst. Auch nach 60 Aufstiegen vor großem Publikum.

Heute, 210 Jahre nach seinem Tod, kann kaum noch jemand etwas mit seinem Namen anfangen: Jean-Pierre Blanchard. Der

erste Mensch, der den Ärmelkanal in der Luft überquerte – und der es wie kein Zweiter verstand, die Luftfahrtbegeisterung des frühen 19. Jahrhunderts in klingende Münze umzusetzen.

Den Werdegang des am 4. Juli 1753 in Les Andelys südöstlich von Rouen geborenen Sohns eines Zimmermanns und Maschinenbauers zur internationalen Berühmtheit zeichnet der technikbegeisterte Hobbyhistoriker Carsten Priebe in einem lezenswerten Büchlein »Die Welt zu seinen Füßen. Die Luftreisen des Jean-Pierre Blanchard« nach. Das Tüfteln, so scheint es, war dem kleinen Jean-Pierre François vielleicht schon in die Wiege gelegt. Früh verbringt der technikaffine Filius viel Zeit in der väterlichen Werkstatt. Ausgestattet mit einer lebhaften Fantasie entwickelt er bald eigene Konstruktionen. Eine Falle beispielsweise, in der sich Ratten selbst erschießen. Mit 16 bastelt er an einem Tretauto – einem

Mit Mistgabeln und Schaufeln fielen sie »rasend vor Wut über den Luftball her und rissen ihn in Stücke«

DIE MONTGOLFIERE ÜBER VERSAILLES

Im Haupthof des Schlosses Versailles lassen die Brüder Montgolfier am 19. September 1783 zum ersten Mal »Passagiere« in die Luft steigen – wenn auch unfreiwillige: An Bord befinden sich ein Hammel, eine Ente und ein Hahn.



Vorläufer des Fahrrads. 1779, nachdem er in Paris eine Mechanikerlehre absolviert hat, konstruiert Blanchard Wasserpumpen und diverse hydraulische Maschinen. Eine davon kann das Wasser der Seine auf eine Höhe von 130 Meter hieven.

Doch Blanchards große Leidenschaft gilt der Luftfahrt. Wie viele seiner Zeitgenossen träumt er den Traum vom Fliegen. Begierig verschlingt er alles, was er darüber zu lesen in die Hände bekommt. Und das sind beileibe nicht nur Fantasiegeschichten: Seit dem 17. Jahrhundert haben Forschungen zur atmosphärischen Physik richtungsweisende Kenntnisse geliefert.

Heiße Idee

Darum ereignet sich, während Blanchard in der väterlichen Werkstatt über die Eroberung der Lüfte sinniert, im vorrevolutionären Frankreich wahrhaft Revolutionäres. Obwohl in alten Strukturen verhaftet und infolge jahrelanger Miss- und Günstlingswirtschaft hoch verschuldet, nimmt das Land auf dem Gebiet der Wissenschaft eine Vorreiterrolle ein. Vor allem im Bereich der Luftfahrt. Sechs Jahre bevor in Paris die Revolution ausbricht, überwinden die Brüder Montgolfier als Erste die Schwerkraft. Am 4.

Juni 1783 hebt im 75 Kilometer südlich von Lyon gelegenen Annonay ihr Heißluftballon ab. Die rund zwölf Meter hohe, aus Papier und Leinenstreifen zusammengeknüpfte Ballonhülle, an der eine Gondel hängt, steigt rund einen Kilometer auf und bleibt ganze zehn Minuten in der Luft.

Wie so oft in der Wissenschaftsgeschichte kam der zündende Gedanke per Zufall. Es wird erzählt, dass Joseph Montgolfier eines Tages vor seinem heimischen Kamin saß und dabei beobachtete, wie sich der zum Trocknen über dem Ofen hängende Unterrock seiner Frau unter dem Zustrom der heißen Luft aufbauchte und in die Höhe getrieben wurde. Diese Beobachtung soll ihn angeblich auf die Idee für einen Heißluftballon gebracht haben. Selbst wenn die Geschichte nicht wahr ist, so ist sie dennoch gut erfunden. Eigentlich war das dahinterstehende physikalische Prinzip, wonach warme Luft eine geringere Dichte hat als kalte und dadurch Auftrieb erhält, seit den physikalischen Forschungen Robert Boyles (1627–1691) hinreichend bekannt.

Kampf um die Lufthoheit

Mit der Pioniertat der Montgolfiers ist der Wettlauf um die Eroberung des Himmels

eröffnet. Zwei Monate nach dem Jungfernflug der »Montgolfiere« steigt am 28. August 1783 der Physikprofessor Jacques Charles (1746–1822) vom Marsfeld aus in den Himmel über Paris. Seine nach ihm benannte »Charlière« bleibt fast eine Dreiviertelstunde in der Luft und fliegt rund 15 Kilometer weit. Charles setzt nicht auf heiße Luft, sondern auf Wasserstoff, dem schon der britische Naturwissenschaftler Henry Cavendish (1731–1810) ideale Eignung als Auftriebsmittel attestierte. Seine im Vergleich zu normaler Luft erheblich geringere Dichte erlaubt es, den gleichen Auftrieb mit weniger Volumen zu erzielen. Zum Befüllen des Ballons werden Eisenfeilspäne mit Schwefelsäure vermengt und der dabei entstehende Wasserstoff über Bleirohre in den Ballon geleitet. Neu war aber nicht nur dessen Befüllung, sondern auch das Material seiner Hülle. Charles griff auf gummierte Stoffbahnen zurück, die das Gas länger am Entweichen hindern als die Papier- und Leinenstreifen der klassischen Montgolfiere. Fortan konkurrieren beide Ballonsysteme, die Montgolfiere und die Charlière, um die Gunst des Publikums.

Um nicht ins Hintertreffen zu geraten, legen die Montgolfier-Brüder nach: Die

neue Montgolfiere, die am 19. September 1783 vom großen Platz vor den Toren des Schlosses Versailles abhebt, hat erstmals Passagiere an Bord – einen Hammel, eine Ente und einen Hahn. Und auch für ihr Äußeres hat man sich einiges einfallen lassen. Die in einem auffälligen Tiefblau gehaltene Ballonhülle ist mit goldenen Ranken und Symbolen reich verziert und trägt das sonnengelbe Monogramm des Königs. Gewiss schön anzusehen, aber wenig aerodynamisch: Mit bloß drei Kilometer Flugweite bleibt der Schmuckballon ernüchternd deutlich hinter dem wasserstoffbetriebenen Fluggerät von Charles zurück.

Im Wettlauf um Rekorde treten bald weitere Konkurrenten auf den Plan. Mit dem aus Metz stammenden Apotheker und Physiker Pilâtre de Rozier (1754–1785) steigt Ende 1783 der erste Mensch in einem

ERSTER BEMANNTER BALLONFLUG

Mit einem prunkvollen Heißluftballon aus dem Haus der Brüder Montgolfier gelang Pilâtre de Rozier und dem Marquis François d'Arlandes am 21. November 1783 die erste Ballonfahrt der Menschheit. Rund 25 Minuten blieben die Aeronauten in der Luft.



Ballon in die Lüfte, anfangs mit, später ohne Sicherungsseile. Das wiederum stachelt Monsieur Charles an: Am 1. Dezember 1783 klettert er vor der prachtvollen Kullisse der Tuilerien in die Gondel und fliegt mit seinem Gasballon zwei Stunden lang, 36 Kilometer weit und 3000 Meter hoch. Nach diesem Rekordflug versuchen die Montgolfiers noch einmal nachzuziehen und bauen – immer noch auf Masse statt auf Klasse setzend – die größte je konstruierte Montgolfiere. Doch ihr Riesenballon wird zum Flop. Bei der groß angekündigten Flugschau bleibt das mit sieben Insassen hoffnungslos überladene Gefährt nur zwölf Minuten in der Luft. Damit ist auch bewiesen, dass die mit Gas gefüllte Charlière der mit Heißluft betriebenen Montgolfiere überlegen ist.

Die waghalsigen Flugspektakel über dem Himmel von Paris versetzen die Bewohner der Stadt in einen wahren Taumel der Begeisterung. Dass ein Mensch völlig losgelöst von der Erde abheben und einfach so davonschweben kann, sprengt die Vorstellungskraft vieler. Doch ist es gerade dieses scheinbar Unfassbare, das das Interesse an der Luftfahrt noch steigert. Den Hype auf alles, was mit Fliegen zusammen-

hängt, beschreibt ein Zeitgenosse: »Überall in unserem Freundeskreis, während unserer Mahlzeiten, in den Ankleidezimmern unserer Frauen wie in den Schulen, überall hört man Gespräche über Experimente, atmosphärische Luft, entflammbares Gas, fliegende Gefährte und Reisen in die Luft.«

Auch in der Mode setzen die Ballonfahrten Trends: Hüte, Röcke und die Frisuren der Damen werden ballonförmig. Findige Geschäftsleute nutzen die Gunst der Stunde und füllen eine Marktlücke. Ballonmotive in unterschiedlicher Farbe und Größe prangen alsbald auf Schnupftabakdosen, Tapeten, Kronleuchtern, Fächern, Uhren und anderen Utensilien.

Hochfliegende Pläne

Das alles verfolgt der in seiner Werkstatt tüftelnde Blanchard mit wachsendem Interesse. Endlich beschließt er, mit einer Eigenkonstruktion mitzumischen. Blanchard baut ein Flugboot mit Segeln und Lufrudern, die mit zwei Pedalen bewegt werden sollen, und macht viel Aufhebens darum. Doch das »fliegende Schiff« will einfach nicht abheben. Erst die Erkenntnis, dass es auch hier eines Ballons bedarf, ermöglicht den Jungfernflug. Anfang März

1784 will Blanchard vom Pariser Marsfeld aus ins zehn Kilometer nordöstlich vom Zentrum entfernt gelegene La Villette gleiten und beweisen, dass sein Konstruktionsmix aus Montgolfiere und Lufruderboot ein flugfähiges Luftschiff abgibt. Die Erwartungen sind hoch, besonders bei den Militärs, die sich für ein lenkbares Luftfahrzeug interessieren. Doch er, der zu den Sternen aufsteigen wollte, wie ein Spruchband an seinem Luftschiff verkündet, landet schon nach wenigen Minuten auf einem benachbarten Acker. Die Militärs sind enttäuscht, die Presse verunglimpft ihn als Scharlatan, und das Volk übergießt ihn mit Häme und Spott.

Zu alledem erweist sich Blanchard als schlechter Verlierer und bläst sich mächtig auf. Sein Scheitern sei einzig und allein den miserablen Wetterverhältnissen geschuldet. Und außerdem sei er noch vor den Montgolfiers geflogen, versucht er den Leuten weiszumachen. Den Beweis dafür bleibt der mit 1,56 Metern schwächliche, dafür mit einem umso größeren Mundwerk ausgestattete Überflieger indes schuldig. Doch sein Ehrgeiz ist ungebrochen.

Nachdem er mit seinem selbst gebauten Flugapparat Schiffbruch erlitten hat,

muss Blanchard einsehen, dass er sich seinen lang gehegten Kindheitstraum vom Fliegen nur mit einem Ballon herkömmlicher Bauart erfüllen kann. Und der ist am 18. Juli 1784 einsatzbereit. Von Rouen aus hebt er ab, und diesmal fliegt er 60 Kilometer weit. Damit hat der Franzose sein Können unter Beweis gestellt. Blanchard, dem es an vielem gebrach, nur nicht an Selbstbewusstsein, wähnt sich im Olymp der Luftfahrt. Aber zu seiner Enttäuschung bleibt die erhoffte Anerkennung aus. Während Charles, de Rozier und andere Flugpioniere stattliche Pensionen erhalten, geht Blanchard leer aus.

Nur in Unterhosen über den Ärmelkanal

Gekränkt über diese Nichtbeachtung geht der Franzose im Sommer 1784 nach England. Hier rührt er kräftig die Werbetrommel und macht sich auf die Suche nach einem Sponsor für ein neues, kühnes Unternehmen: die Überquerung des Ärmelkanals im Wasserstoffballon. Blanchard reizt der Gedanke einer triumphalen Landung bei seinen spottlustigen Landsleuten. Ein Glück, dass er auf den seinerzeit in England weilenden amerikanischen Mediziner John Jeffries (1744–1819) stößt, der sich für Blan-

Meilenstein im Gasballon

Wasserstoff trägt Jacques Charles am 1. Dezember 1783 zwei Stunden lang über eine Strecke von 36 Kilometern. Der Startplatz lag vor den Pariser Tuileries.



chards Pläne begeistert. Der betuchte Amerikaner, durch und durch Royalist und seit 1775 als Militärarzt in britischen Diensten in Amerika tätig, stellt allerdings eine Bedingung für seine Unterstützung: Er will mitfahren. Am 7. Januar 1785 starten sie in Dover. Der Coup gelingt: Blanchard ist der Erste, der den Ärmelkanal auf dem Luftweg überquert.

Die Menschen staunten nicht schlecht über das Kunststück. Wieder und wieder erzählte man sich die abenteuerliche Geschichte, wie die beiden Männer der Schwerkraft trotzten. Der Erfolg des Flugs stand fortwährend auf Messers Schneide. Denn schon nach rund zehn Kilometern über dem Wasser begann der Ballon an Höhe zu verlieren. Blanchard und Jeffries warfen Ballast ab – Sandsäcke, Bücher, wissenschaftliche Geräte, schließlich sogar den Anker, mit dem der Ballon bei der Landung gesichert werden sollte. Und als auch das nicht half, zogen sich die beiden Männer bis auf die Unterwäsche aus und schmissen ihre Kleider ins Wasser. Selbst um den Inhalt ihrer Blasen sollen sie sich erleichtert haben.

Letztlich ist es aber wohl ein warmer Aufwind vor der französischen Küste, der

die Gondel nach zweieinhalb Stunden Flugzeit sicher ans Festland trägt. Wie dem auch sei, die Ruhmestat ging in die Annalen der Luftfahrt ein. Verstummt waren Spott und Häme, und auch die Militärs mussten einsehen, dass sie aufs falsche Pferd gesetzt hatten – spätestens als Blanchards schärfster Rivale, Pilâtre de Rozier, am 15. Juli 1785 beim Versuch, ebenfalls den Ärmelkanal zu überqueren, abstürzte. Seine »Rozière« bestand aus einer Kombination aus Wasserstoff- und Heißluftballon – ein Prinzip, das noch heute für extreme Langstreckenflüge eingesetzt wird. Doch schon kurz nach dem Start kam es zur Katastrophe. Vermutlich fing die Ballonhülle Feuer und machte Pilâtre de Rozier und seinen Begleiter Pierre Romain zu den ersten Todesopfern der Luftfahrtgeschichte.

Blanchard wird unterdessen mit Ehrungen überhäuft. In Calais ernennt man ihn zum Ehrenbürger, der König spendiert eine lebenslange Pension. Und der Mann aus Les Andelys ist am Ziel seiner Träume. Endlich findet er die Anerkennung, nach der er sich so lange gesehnt hat. Sich auf den Lorbeeren auszuruhen, kommt für ihn allerdings nicht in Frage. Bald sieht man ihn wieder in die Lüfte aufsteigen.

Mit einem
Empfehlungsschreiben
George Washingtons in der
Tasche tourt Blanchard
durch die jungen Vereinigten
Staaten

Geschäftstüchtiger Überflieger

Auf den Kupferstichen der Zeit sehen wir eine schmächtige Person in einer Gondel, kaum erkennbar und der Erde scheinbar entrückt, wie sie Spruchbänder am Himmel entfaltet, die Wappen irgendwelcher Fürsten flattern lässt oder Fahnen schwingt. Die Bilder gleichen sich, lediglich die Auftrittsorte wechseln: Paris, London, Brüssel, Amsterdam, Frankfurt, Hamburg, Nürnberg, Braunschweig, Hannover, München, Berlin, Warschau, Wien, Prag. Welche Embleme und Hoheitszeichen Blanchard auch immer im Himmel präsentiert – er wird zum Reklamefahrer für die Luftfahrt und für sich selbst. Blanchard war der erste Flugpionier, der die Luftfahrt kommerzialisierte.

Nicht immer ist alles glanzvoll, was der gefeierte Held bei seiner aeronautischen Show durch halb Europa abliefert: Am 11. Juni 1785 startet er in Den Haag in Anwesenheit des Prinzen von Oranien und reißt mit seiner Gondel den Kamin eines Hauses ab. Als Blanchard kurz darauf bei Rotterdam landet, wartet auf dem Feld schon eine Menschenmenge mit Mistgabeln und Schaufeln: »Sie fielen«, berichtet Blanchard später, »rasend vor Wut über den Luftball her und rissen ihn in Stücke«. Sechs Wo-

chen später sieht es dann für ihn wieder anders aus. Blanchard startet von Lille aus in einem wasserstoffgefüllten Gasballon und landet sieben Stunden später und 250 Kilometer weiter wohlbehalten in der Champagne – eine Rekordstrecke.

Nur als tingelnder Schausteller will sich Blanchard jedoch nicht sehen: Er fühlt sich als Wissenschaftler und Luftfahrtpionier, sammelt Luftproben aus der oberen Region in Fläschchen, führt meteorologische Untersuchungen durch, stellt Langstrecken- und Höhenrekorde auf und experimentiert mit Fallschirmen. Immer weiter steckt er seine Ziele, schmiedet bald gar Pläne für eine Atlantiküberquerung – in acht Tagen! Das Brimborium seiner Flugshows braucht er, damit die Kasse stimmt – und natürlich um seine Eitelkeit zu befriedigen. Denn so ein Ballonfahrer muss am Boden standesgemäß leben können. Und dafür bittet Blanchard bei seinen Vorführungen kräftig zur Kasse.

Zwei bis elf Gulden – für viele damals ein halber Monatslohn – kosten die Logenplätze auf der Bornheimer Heide in Frankfurt, von wo der Franzose am 3. Oktober 1785 aufsteigt. Die Messestadt ist die erste Station seiner Deutschlandtournee. Hier,

an den Ufern des Mains, nimmt etwas seinen Anfang, was sich in den kommenden Jahren auch in anderen Städten wiederholen wird. Überall, wo Blanchard Station macht, stellt er seine Fluggeräte zur Schau. Gegen einen bestimmten Obolus kann jeder sein aeronautisches Equipment besichtigen und auch in die Gondel steigen. Und wer den Start aus nächster Nähe sehen will, muss für den Erwerb der Eintrittskarte etwas tiefer in die Tasche greifen als die Zuschauer in den hinteren Reihen.

Auf die Bornheimer Heide kommen 100 000 Zuschauer. Das Spektakel stößt selbst im entfernten Weimar auf großes Interesse. Goethe schickt Fritz von Stein an den Main, und der schreibt an die Mutter: »Ich habe nun gewisse Nachricht, dass Blanchard auffährt.«

In der Tat. Blanchard legt einen Musterstart hin, klimmt schnell auf 2000 Meter Höhe, lässt zur Freude des Publikums über Bockenheim ein Hündchen an einem Fallschirm zu Boden schweben und landet nach knapp einer Dreiviertelstunde wohlbehalten im hessischen Weilburg. Dort rollt ihm Fürst Carl von Nassau den roten Teppich aus, lädt in seinem Schloss zum Galadiner und schickt den Helden der Luf-

te im herrschaftlichen Wagen nach Frankfurt zurück, wo ihm die Honoratioren der Stadt im Römer huldigen und ein stattliches Salär aushändigen.

Reichlich abgehoben

Blanchard, spätestens seit Frankfurt kein unbeschriebenes Blatt mehr in Europa, genießt das Bad in der Menge. Wo er gastiert, wird er gefeiert wie heutzutage ein Popstar. Vor allem die Damenwelt ist schier aus dem Häuschen. Weibliche Fans stecken dem kleinen Franzosen heimlich Liebesbriefe zu und belagern seine Unterkunft. Wie gerne würden sie mit ihm in die Gondel steigen.

Wem es nicht vergönnt ist, live bei seinen Auftritten dabei zu sein, der kann das Ereignis samt Drumherum exklusiv in Broschüren nachlesen, die dieser nach jedem Flug eigenhändig verfasst und drucken lässt. Meist sind sie schon nach wenigen Stunden vergriffen. Dank Blanchard avanciert die Luftfahrt zur Aktionskunst. Immer neue, immer spektakulärere Showeinlagen begeistern das Volk. In Hamburg lässt er ein Schaf an einem Fallschirm zu Boden schweben. Was fällt ihm als Nächstes ein?

1789 lodert in Paris die Revolution. Während es in Frankreich dem Adel an den Kragen geht, gondelt Blanchard mit der Aristokratie in Mittel- und Osteuropa herum. Am 31. Oktober 1790 steigt der Showman in Prag auf, wieder vor einer stattlichen Zuschauerschaft. Selbst der in die Jahre gekommene Casanova eilt aus seinem Altersruhesitz im böhmischen Schloss Dux herbei, um dem Spektakel beizuwohnen.

Im Sommer des darauf folgenden Jahres startet der Franzose gleich viermal in Wien. Mittlerweile hat er bereits 37 Aufstiege hinter sich. Wien feiert den Helden frenetisch. Selbst der anfangs etwas skeptisch eingestellte Kaiser Joseph II. ist begeistert. Nur einer jubelt nicht: Mozart. »Die Historie mit Blanchard ist mir heute gar nicht lieb«, schreibt er an seine Frau Constanze, »sie bringt mich um den Schlusse meines Geschäftes.« Der Gönner, auf den der verschuldete Komponist so dringend wartet, ist Ballongucken gegangen.

Doch mit einem Mal verliert Blanchard die Bodenhaftung. War dem Franzosen der Erfolg derart zu Kopf gestiegen, dass er glaubte, sich alles erlauben zu können? Ausgerechnet in Wien, dem Hort der Reaktion, lässt er die Farben der Französischen



PORTRÄT VON JEAN-PIERRE BLANCHARD
Der Flugpionier im Jahr 1785 – kurz nach seiner Überquerung des Kanals.

Revolution wehen, und an seiner Gondel steht »Freiheit, Gleichheit, Brüderlichkeit«. Die Oberen der K.-u.-k.-Monarchie jedenfalls waren not amused. Die Quittung lässt nicht lange auf sich warten. Fortan steht der Franzose unter besonderer Beobachtung der österreichischen Sicherheitsbehörden, da er verdächtigt wird, seine Flügel politisch zu instrumentalisieren und radikale Ideen zu verbreiten. Als Blanchard 1792 in Tirol öffentlich von Freiheit redet, ist das Maß voll. Er wird festgenommen und auf der Festung Kufstein inhaftiert, bald darauf aber auf Grund mangelnder Beweise wieder entlassen.

Aufstieg in der Neuen Welt

Wieder ist die Kränkung groß. Um dem reaktionären Europa den Rücken zu kehren, reist der Franzose in die Neue Welt, wo seit der Unabhängigkeitserklärung vom 4. Juli 1776 ein liberaler Geist weht. Am 9. Dezember 1792 – in Paris neigt sich der Prozess gegen Ludwig XVI. dem Ende zu – geht Blanchard in New York an Land. Vier Wochen später steigt er vor den Augen George Washingtons in Philadelphia in die Lüfte. Und er beweist dort – anders als in Österreich – mehr politisches Fingerspitzenge-

fühl. Bei seinem Flug von Philadelphia nach Deptford, New Jersey, überquert er den Delaware, jenen Fluss, der als Schauplatz einer kriegsentscheidenden Attacke George Washingtons so hohe Symbolkraft für den amerikanischen Unabhängigkeitskampf hat.

Der Präsident der jungen Nation ist Feuer und Flamme für den wagemutigen Selfmademan aus der Alten Welt und ordnet an: »Alle Bürger der Vereinigten Staaten werden hiermit aufgefordert, vorgenanntem Mister Blanchard bei seiner Fahrt, Landung, Rückkehr und Weiterreise keine Hindernisse oder anderweitigen Belästigungen entgegenzusetzen; sondern ihn vielmehr mit Menschlichkeit und gutem Willen zu begegnen, ihrem eigenen Land zur Ehre und um einer Person gerecht zu werden, die sich durch ihre Bemühungen um die Schaffung und Förderung einer Technik zum Nutzen der gesamten Menschheit so außerordentliche Verdienste erworben hat.«

Mit diesem Empfehlungsschreiben in der Tasche tourt Blanchard durch die 13 ehemaligen britischen Kolonien. Dort outet sich der Franzose als überzeugter Republikaner und Sympathisant Rousseaus,

malt sich aus, zu welchen Gedankengängen der Flug den Verfasser des »Contrat social« wohl inspiriert hätte, wie er später in einem Flugbericht in epischer Breite ausführt. Schwenkt, hoch über dem Himmel Pennsylvanias, das »Star-Spangled Banner«, fabuliert von der Güte der Natur, der Freiheit der Wildnis und sieht, wie ihm die Herzen der Amerikaner zufliegen. Im August 1796 steigt er in New York auf, überquert Hudson und East River. Es ist Blanchards 46. Höhenflug.

Waghalsige Flüge

Bald danach kehrt er in seine Heimat zurück, wo sich die politische Lage nach dem Ende der Terrorherrschaft (Juli 1794) wieder normalisiert hat. Dort macht seit einiger Zeit ein Landsmann von ihm, ein gewisser André-Jacques Garnerin (1770–1823), von sich reden. Als erster Mensch war er mit einem Fallschirm aus einem Ballon über Paris abgesprungen. Für den überaus eitlen und ruhmsüchtigen Blanchard kam dies einer Kampfansage gleich, zumal kein Geringerer als Napoleon Bonaparte den tollkühnen Fallschirmspringer auch noch zum Leiter des Ballonkorps und zum kaiserlichen Aeronauten ernannte



GLÜCKLICHE LANDUNG, GROSSER EMPFANG

1791: Der in Wien gestartete Blanchard landete bei seinem 38. Aufstieg in Groß-Enzersdorf. Mit im Gepäck: ein Fähnchen mit dem Habsburger Doppeladler. Kurze Zeit später schwenkt er die Farben der Französischen Revolution – und landet in Festungshaft.

(Garnerin hatte mit seinen hochfliegenden Plänen, Fallschirme zur Beleuchtung nächtlicher Schlachtfelder und zu Erkundung feindlicher Linien zu nutzen, ein offenes Ohr beim kaiserlichen Heerführer gefunden).

Grund genug für Blanchard, sich wieder stärker ins öffentliche Bewusstsein der Franzosen zu bringen. Im August 1798 wartet er in Rouen mit einem Novum auf. Er fährt mit 16 Personen an Bord himmelwärts, was seinerzeit einen Rekord darstellt.

Im Jahr darauf wählt er die Pariser Tivoli-Gärten, beliebtes Vergnügungsviertel der besseren Gesellschaft, als Startplatz, überquert mehrfach die Seine und springt nun erstmals selbst mit seinem eigenen Fallschirm ab. Er landet wohlbehalten im Bois

de Boulogne. Im Dezember 1803 nimmt er sogar den Kampf gegen die Natur auf, will Wind und Wetter trotzen. Und beinahe endet das verwegene Unterfangen in der Katastrophe. Eiskalter Wind trägt Blanchard in Sekundenschnelle in den wolkenverhangenen Himmel über Lyon, wo schon nach wenigen Minuten die windgebeutelte Gondel in einen Hagelschauer gerät. Mit jedem Höhenmeter sinken die Temperaturen. Eis bildet sich an der Ballonhülle. Zu allem Übel friert auch noch das Ablassventil ein, so dass er stundenlang bei Minustemperaturen zubringen muss. Nur mit allergrößter Mühe gelingt es Blanchard, das Ventil mit seinen klammen Fingern frei zu bekommen. Erst nach fünf Stunden in eisiger Kälte landet er, nass bis auf die Haut und durchgefroren, wieder in Lyon.

Ob es dieses Ereignis war, das Blanchard fortan nur noch selten in die Gondel steigen lässt, oder ob gesundheitliche Probleme des inzwischen 50-Jährigen der Grund dafür sind, lässt sich nicht genau sagen. Vielleicht war es auch die Hochzeit mit der viel jüngeren Marie Madeleine Sophie Armand, die Blanchard dazu veranlasste, kürzerzutreten. Er, der in all den Jahren seiner Fliegerei das Schicksal mehr als einmal herausgefor-

dert hat, lässt es jedenfalls ruhiger angehen. Mehr aus Pflichtgefühl als aus innerem Antrieb steigt er am 1808 in Den Haag noch einmal in die Gondel, nicht ahnend, dass er aus dieser nicht mehr heil herauskommt.

Kaum in den Wolken, erleidet Blanchard einen Schlaganfall, sackt benommen in der Gondel zusammen. Der Ballon verliert schnell an Höhe und stürzt ab. Schwer verletzt wird er zur weiteren Behandlung nach Paris gebracht, doch er erholt sich nicht mehr. Noch gut ein Jahr verbringt er bettlägerig. Am 7. März 1809 ist sein Siechtum vorüber.

Nach seinem Tod betreibt Marie Madeleine das Ballonfahren auf eigene Faust weiter und sorgt mit spektakulären akrobatischen Luftnummern in einer unterhalb der Gondel befestigten Schaukel für Furore. Mit 67 Aufstiegen übertrifft sie sogar ihren Mann. Doch auch sie bezahlt ihren Wagemut mit dem Leben: Am 16. Juli 1819 stürzt sie während eines Nachtflugs in Paris beim Versuch ab, von der Gondel aus Feuerwerksraketen abzufeuern. Bei der ersten geht alles noch gut, die zweite allerdings zündet zu früh, durchschlägt die Ballonhülle und steckt den hochgefährlichen Wasserstoff in Brand.

Und Blanchard? Er, der wie kein anderer Ballonfahrten populär gemacht hatte, geriet nach seinem Tod 1809 in Vergessenheit. Man »verlor ihn aus der Geschichte«, schrieb der Dichter Ernst Moritz Arndt. Bis zum Ersten Weltkrieg war die Gondel, mit der er den Ärmelkanal überquerte, im Museum von Calais zu bewundern, sein Schädel in der Sammlung des Anatomen Franz Joseph Gall. Heute, 210 Jahre nach seinem Tod, erinnert in einem Waldstück nahe der 6000-Seelen-Gemeinde Guînes, elf Kilometer südlich von Calais, die »Colonne Blanchard« an den französischen Überflieger. Sie markiert jene Stelle, an der der legendäre Luftschiffer nach seiner Kanalüberquerung gelandet war. Und auch hier zu Lande ist Jean-Pierre Blanchard, der die Luftfahrt in Deutschland bekannt machte, noch präsent: In Frankfurt-Bockenheim erinnert die Blanchardstraße, in Braunschweig der Blanchard-Platz an den französischen Flugpionier und Entertainer der Lüfte – selbst wenn wohl die meisten Passanten heutzutage mit diesem Namen nichts anzufangen wissen. ↩

(Spektrum.de, 16.03.2019)



TECHNIKGESCHICHTE

Der zwiespältige Erfolg der Brüder Wright

Vor 100 Jahren konstruierten und erprobten die beiden Luftfahrt-pioniere das erste steuerbare Motorflugzeug. Doch im zwanghaften Bemühen, ihre Erfindung vor der Konkurrenz geheim zu halten, setzten sie ihren Ruhm aufs Spiel.

von Daniel C. Schlenoff

Am 17. Dezember 1903 hob Orville Wright in einem motorgetriebenen Flugzeug vom Boden ab. Nach nur zwölf Sekunden beendete eine unsanfte Landung den knapp 40 Meter weiten Luftsprung – ein Meilenstein der Luftfahrt. Doch mit diesem Flug allein ist der Ruhm der Brüder Wright eigentlich kaum zu begründen. Andere Erfinder waren bereits vor ihnen weiter geflogen – und härter gelandet.

Es dauerte noch zwei Jahre, bis die Brüder Wright das erste wirklich steuerbare Flugzeug bauten und flogen. Leider hielten sie ihre verbesserte Maschine im Bestreben, sie gewinnbringend zu vermarkten, so lange geheim, dass nicht nur »Scientific American« und andere zeitgenössische Publikationen skeptisch wurden, sondern auch die Fachwelt und die breite Öffentlichkeit.

Andere Bewerber um den Ruhm, das erste Flugzeug der Welt gestartet zu haben, brachten nur kurze oder unkontrollierte

Flüge zu Wege. Der Franzose Clément Ader durfte sich 1890 des ersten Starts mit Propellerantrieb rühmen. Aber sein dampfgetriebenes Vehikel erhob sich nur 20 Zentimeter über den Boden, und selbst glühende Patrioten mussten beide Augen zudrücken, um darin einen Flug zu sehen. Gustav Weißkopf aus Deutschland konnte als Gustave Whitehead packend von seinen Flügen in den USA erzählen, aber ob er je ein funktionierendes Flugzeug gebaut hat, bleibt unter Luftfahrthistorikern umstritten. In Neuseeland ist man stolz auf Richard Pearse: Im März 1903 flog dieser eigenbrötlerische, exzentrische Farmer sein Fluggerät aus Bambus und Leinwand knapp 140 Meter weit, bevor er in eine Dornenhecke krachte. Sein Beispiel zeigt mit geradezu schmerzhafter Deutlichkeit, wie nötig in der Luftfahrt eine Steuervorrichtung ist.

Im September 1901 erklärte Wilbur Wright in einem Vortrag vor der Western Society of Engineers in Chicago, das größte Hindernis für ein brauchbares Flugzeug sei »das Balancieren und Steuern der Maschine, nachdem sie wirklich fliegt«. Die Wrights gaben darum der Flugsteuerung oberste Priorität. Sie erkannten auch, dass ein Pilot das Fliegen – wie ein Radfahrer das

Balancieren auf zwei Rädern – eigens lernen muss.

Flugsteuerung durch Verwinden der Tragflügelspitzen

Die Brüder Wright studierten Berichte über den deutschen Ingenieur Otto Lilienthal, der als erster Flieger der Welt gelten darf. Lilienthal unternahm tausende Flüge mit raffinierten Hängegleitern, die er nach dem Vorbild von Vogelschwingen konstruierte; er steuerte durch Verlagern des Körpers, wie heutige Drachenflieger. Allerdings starb er 1896 bei einem Absturz, und die Wrights beschlossen, eine bessere Steuerung zu entwickeln, die sich auch für größere Flugzeuge mit Motor eignen sollte. Sie dachten an ein gegenläufiges Verwinden der Tragflügelspitzen während des Flugs, um die Maschine im Gleichgewicht und auf Kurs zu halten.

Im August 1899 nahmen die Wrights Urlaub von ihrem profitablen Fahrradgeschäft in Dayton (Ohio) und konstruierten einen kleinen Doppeldecker mit 1,5 Meter Spannweite, um ihre Ideen am Modell zu erproben. Das Gerät schwebte wie ein Spielzeugdrachen an Drähten, mit denen die Flügel ein wenig verdrillt werden konnten.

Ein »Elevator« – ein kleiner, vor den Hauptflügeln angebrachter zusätzlicher Tragflügel – sollte stabilisierend wirken und das Kippen (Auf- und Abwärtsrotieren um die Querachse) verhindern. Die ersten Resultate waren so ermutigend, dass die Brüder im folgenden Jahr eine vergrößerte Version mit einer Flügelfläche von gut 15 Quadratmetern bauten.

Dieses Modell transportierten sie nach Kitty Hawk auf den Outer Banks von North Carolina, wo eine gleichmäßig steife Brise vom Atlantik landeinwärts blies; sanft gewellte Sanddünen boten freien Raum und weiche Landungen. Die Wrights waren mit den Ergebnissen ihrer Versuche so zufrieden, dass sie 1901 mit einem noch größeren Gleiter wiederkamen – aber diesmal kehrten sie nach Dayton eher beunruhigt vom aerodynamischen Verhalten des Modells zurück, das sie sich anhand der zeitgenössischen Fachliteratur nicht erklären konnten. Um die Flügelkonstruktion zu verbessern, erprobten sie mehr als 60 Modellquerschnitte in einem selbst gebauten Windkanal.

Aus den dabei gewonnenen Erkenntnissen ging der Gleiter von 1902 hervor. Seine Flügel waren länger und schmaler; außer-

DRACHENGLEITER

Die Wrights erprobten zunächst einfache Fluggeräte in mehreren Modellstufen.



dem trug er zusätzlich einen doppelten vertikalen Schwanzflügel, um das so genannte Gieren (Seitwärtsdrehungen um die vertikale Achse) zu kontrollieren. Der Pilot lag flach auf dem Bauch in einer Hüftwiege, und seine eigene seitliche Bewegung zog Drähte, welche die Flügel verdrillten und so die Flugrichtung steuerten. Im Spätsommer und Herbst verbrachten beide Brüder auf diese Weise in Kitty Hawk viele Segelflughstunden.

Erste Luftsprünge mit einem motorgetriebenen Fluggerät

Nachdem sie nun wussten, wie man ein antriebsloses Luftfahrzeug konstruiert und steuert, machten sie sich daran, eine robustere motorisierte Version zu schaffen. Da die meisten Automotoren zu schwer waren, entwarfen sie selbst einen Motor und verwendeten dafür eine Aluminium-Kupfer-Legierung.

Um die optimale Propellerform auszuüfteln, führten sie wieder Windkanaltests durch, wobei sie den Propeller als kleinen rotierenden Flügel behandelten. Ihre Konstruktion hatte einen Wirkungsgrad von fast 70 Prozent, nur zehn Prozent weniger als moderne Versionen. Sie brachten zwei

Propeller hinten am Flugzeug an und ließen sie gegenläufig rotieren, um unerwünschte Drehmomente auszugleichen.

Am 17. Dezember 1903 setzten die Brüder Wright ihren »Flyer 1« auf eine Startschiene im flachen Sand der Kill Devil Hills bei Kitty Hawk. Durch einen Münzwurf wurde entschieden, dass zuerst Orville ins Flugzeug kletterte. Die beiden starteten den Motor, und während Wilbur mitlief und den Flügel hielt, hob die Maschine ab – aber nur kurz. Es ist Ansichtssache, ob der erste Versuch des Tages ein kontrollierter Flug war oder ein Hopser; aber der vierte und letzte, mit Wilbur am Steuer, war ein eindeutiger Erfolg: 260 Meter durch die Luft in 59 Sekunden. Die Wrights hatten mit einem motorgetriebenen Apparat, der schwerer als Luft war, einen freien, gesteuerten, ununterbrochenen Flug zu Stande gebracht. Neun Tage später meldete »Scientific American« zurückhaltend: »Dies ist ein deutlicher Fortschritt in der Luftnavigation mit Aeroplanen.«

Die Wrights waren zwar triumphale Flugzeugerfinder, aber leider schrecklich schlechte Geschäftsleute der Luftfahrtbranche. Sie waren so ängstlich bestrebt, die finanzielle Kontrolle über ihre Erfin-

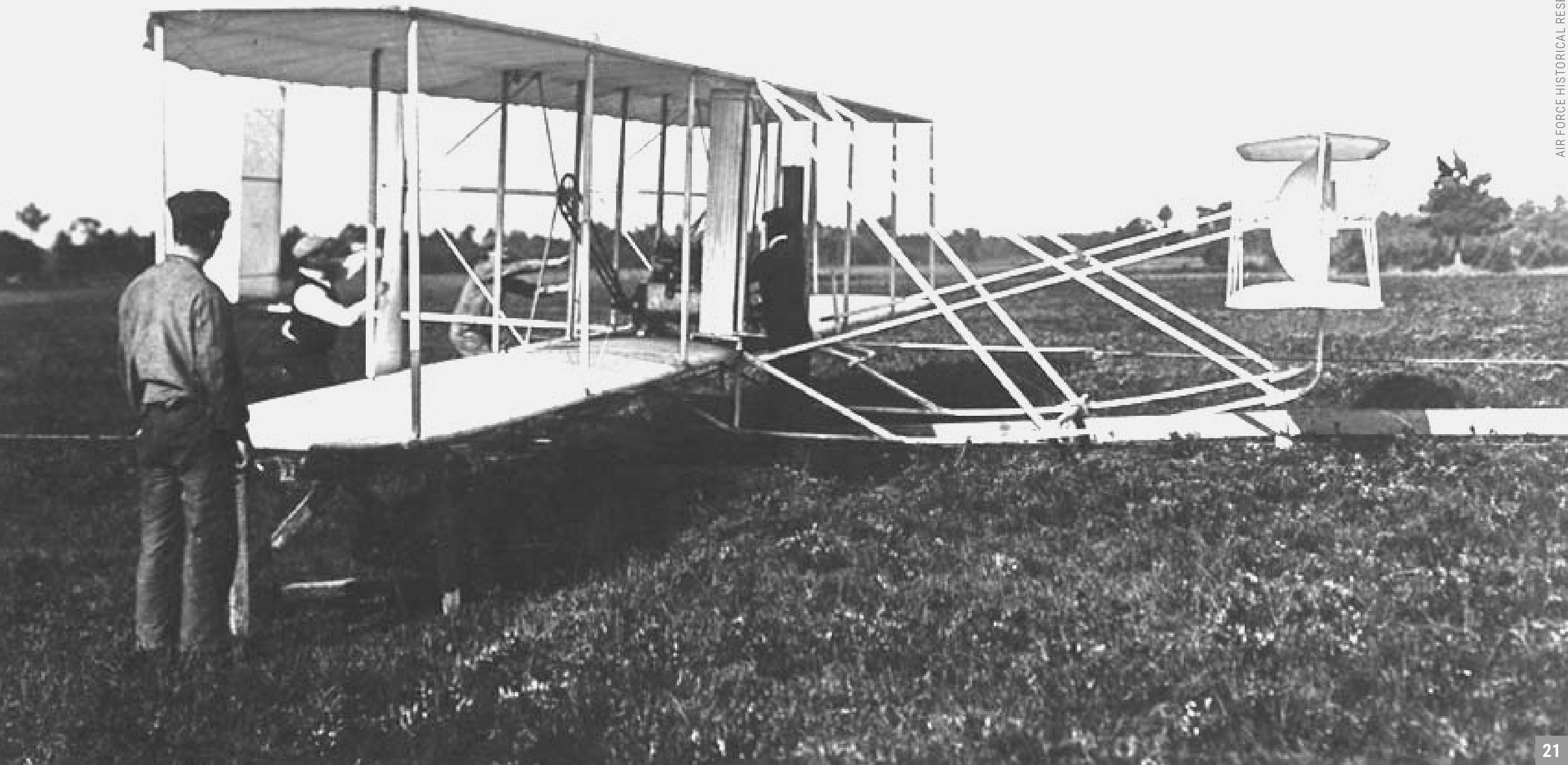
dung zu behalten, dass sie ihr Gerät nicht nur vor den neugierigen Augen der Konkurrenz verbargen, sondern auch vor möglichen Kunden und all denen, die ihren Erfolg in die Öffentlichkeit hätten tragen können. Sogar als sie nach dreijähriger Wartezeit im Mai 1906 das Patent Nummer 821393 zugesprochen bekamen, glaubten sie nicht, dadurch wirklich geschützt zu sein – womit sie übrigens Recht hatten.

Nach Dayton zurückgekehrt, arbeiteten die Brüder auf dem Gelände Huffman Prairie an einer verkäuflichen Flugmaschine. Mit ihrem »Flyer 2« machten sie mehr als 100 kurze Flüge und benutzten später ein Katapult, um den Start zu erleichtern. Sie mieden weiterhin das Rampenlicht – sehr zum Ärger von Luftfahrt-Enthusiasten, die durch allerlei Andeutungen hellhörig geworden waren. Im Juni 1904 beschwerte sich »Scientific American« über die kargen Gerüchte aus Dayton: »Aus dem Test wurde ein großes Geheimnis gemacht, und kaum jemand war Zeuge.«

Es gab zumindest einen Zeugen. Amos Ives Root schrieb darüber am 1. Januar 1905 einen Artikel in seinem Magazin »Gleanings in Bee Culture« (etwa: Nachlese der Bienenzucht). Root behauptete, »Scientific

MODELL A

Am 8. August 1908 wurde ein Flugzeug der Brüder Wright zum ersten Mal der Öffentlichkeit vorgeführt. Wilbur flog das »Modell A« auf der Rennstrecke von Le Mans (Frankreich) und bewies, dass es allen damaligen Konkurrenten weit überlegen war.



American« habe seinen Artikel nicht drucken wollen. Vielleicht war den Redakteuren der Stil zu blumig. Der Bericht in »Bee Culture« beginnt so: »Ich möchten Ihnen eine wunderbare Geschichte erzählen – eine Geschichte, die in gewisser Hinsicht die Märchen aus tausendundeiner Nacht in den Schatten stellt – eine Geschichte mit einer Moral, die, wie ich meine, viele der Jüngeren brauchen und vielleicht auch einige der Älteren, wenn sie nur ein Ohr dafür haben.«

Flyer 2 und Flyer 3 waren so schwer zu steuern wie der Kitty-Hawk-Flyer, und oft gab es harte Landungen – was allen, die moderne Nachbauten versuchen, eine Warnung sein sollte. Eine Bruchlandung im Juli 1905 zwang die Wrights zu einem radikalen und sehr vorteilhaften Umbau des Flyer 3. Sie vergrößerten die Steuerflächen und platzierten sie weiter weg vom Schwerpunkt. Am 5. Oktober 1905 flog Wilbur damit in 39,5 Minuten fast 40 Kilometer weit.

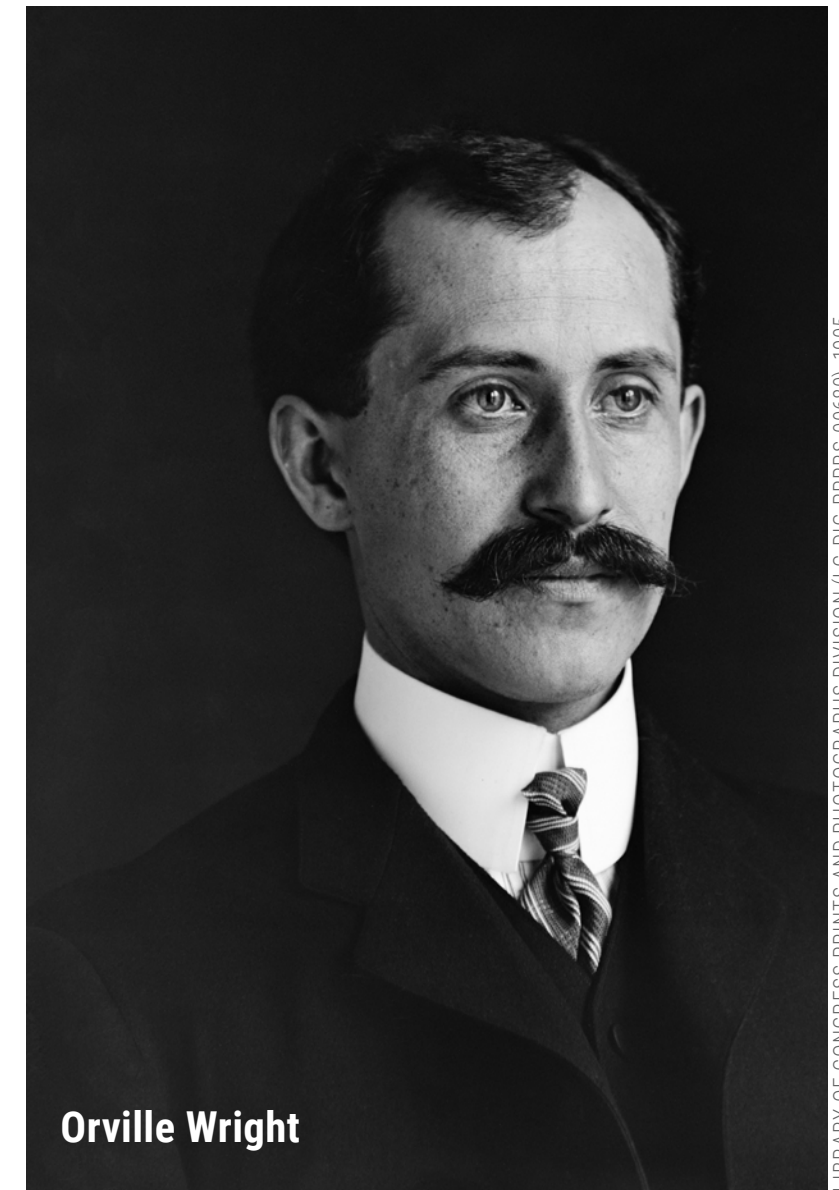
Die Gebrüder Wright hatten das erste wirklich brauchbare Flugzeug der Welt entwickelt und ihren Status als Luftfahrtpioniere fest etabliert. Doch diese Ehre verlieh ihnen erst im Nachhinein die Geschichte, denn die Brüder erlaubten kaum jeman-



LIBRARY OF CONGRESS PRINTS AND PHOTOGRAPHS DIVISION (LC-DIG-PPPRS-00683), 1905

dem, die Maschine im Flug zu beobachten oder zu fotografieren. Erst 1990 wurde der Flyer 3 offiziell unter die Nationalen Historischen Wahrzeichen der USA aufgenommen – das einzige Flugzeug, dem diese Ehre je zuteil wurde.

Die Brüder boten das Flugzeug abwechselnd dem amerikanischen Militär, den



LIBRARY OF CONGRESS PRINTS AND PHOTOGRAPHS DIVISION (LC-DIG-PPPRS-00680), 1905

Franzosen, den Briten und den Deutschen zum Kauf an. Aber zugleich weigerten sie sich, die Flugeigenschaften vor Unterzeichnung eines Kaufvertrags zu demonstrieren. Natürlich scheuten potenzielle Kunden davor zurück, ein so neuartiges Gerät zu kaufen, ohne zu sehen, ob es funktionierte.

Schwindender Ruhm

Da es »Scientific American« nicht gelang, zusätzliche Informationen von den Wrights oder über sie zu bekommen, hieß es in einem Artikel vom Januar 1906 argwöhnisch: »Wie es scheint, wurden diese angeblichen Experimente in Dayton, Ohio, einer recht großen Stadt gemacht, ohne dass die sonst so wachsamen Zeitungen der Vereinigten Staaten von diesen sensationellen Darbietungen Notiz nahmen.«

Die Franzosen nannten die Wright-Brüder »bluffeurs«. Ein deutsches Fachjournal bezeichnete ihre Flüge als »amerikanischen Bluff«. Doch die Wrights hielten ihr Fluggerät trotz allem noch immer nicht für genügend ausgereift, um es herzuzeigen.

Unterdessen führte der Brasilianer Alberto Santos-Dumont in Frankreich den ersten öffentlichen Motorflug vor. Er startete am 12. November 1906 und flog 220 Meter weit. Mangels eines Gegenbeweises wurde er als der erste Flugzeugpilot gefeiert. Seine Landsleute verehren Santos-Dumont noch heute als den »Vater der Luftfahrt«.

Um den Fortschritt der Flugzeugtechnik zu fördern, stifteten der Aero Club of America und »Scientific American« 1907 einen Preis für den ersten Menschen, der sich in

die Luft erheben und einen Kilometer geradeaus fliegen würde. Die Wrights waren nur hinter Kaufverträgen her und beteiligten sich nicht. Glenn Hammond Curtiss und die Aerial Experiment Association, unterstützt von dem Erfinder Alexander Graham Bell, nahmen teil und gewannen die Trophäe mit einer triumphalen Darbietung ihres Flugzeugs »June Bug« am 4. Juli 1908. Wegen dieser Leistung und der Bekanntheit von Curtiss als Flugpionier glaubten in den USA viele, er sei als erster Mensch geflogen.

Die Wrights warteten, bis sie sowohl das Signal Corps der US-Army als auch eine französische Firmengruppe als Käufer in Aussicht hatten, bevor sie ihre Maschine endlich der Öffentlichkeit präsentierten. Am 8. August 1908 startete Wilbur auf der Rennstrecke von Le Mans (Frankreich) in einem »Model A Flyer«. Er verblüffte die Zuschauer durch ungeahnte Flugtechnik, und die Wrights wurden als Helden gefeiert.

1909 erreichten die Brüder den Gipfel ihres Ruhms. Im Herbst jenes Jahres sah eine Million gebannter Zuschauer zu, wie Wilbur über den New Yorker Hafen und um die Freiheitsstatue kurvte. Wenige Tage da-

rauf erlebte eine ähnlich große Menge, wie er den Hudson River flussaufwärts flog.

Doch die Entwicklung der Luftfahrt überholte die Wrights rapide. Immer mehr Geld und Erfindungsgeist floss in den faszinierenden neuen Industriezweig: Schon 1911 stellten mehrere Firmen vor allem in Europa Flugzeuge her, die sicherer, schneller und manövrierfähiger waren als die Maschinen der Wrights.

Nachdem Wilbur 1912 an Typhus gestorben war, musste Orville allein gegen die wachsende Konkurrenz ankämpfen und umständliche patentrechtliche Streitigkeiten ausfechten. Im Jahre 1915 hatte er das Geschäft mit der Fliegerei satt und setzte sich zur Ruhe. Doch er hörte nie auf, den Ehrenplatz in der Geschichte der Luftfahrt zu verteidigen, der ihm und seinem Bruder gebührt.

(Spektrum der Wissenschaft, Januar 2004)





LIBRARY OF CONGRESS PRINTS AND PHOTOGRAPHS DIVISION / HARRIS & EWING COLLECTION (LC-DIG-HEC-40747), 1930

FORENSIK

Starb Weltumfliegerin Amelia Earhart **als Einsiedlerin?**

von Daniel Lingenhöhl

Die 1937 verschollene US-Flugpionierin Amelia Earhart gehört zu den größten Legenden der Luftfahrt. Starb sie auf einer einsamen Pazifikinsel? Der Verdacht erhärtet sich.

Amelia Earhart war schon zu Lebzeiten eine Legende: Als erste Frau (und zweiter Mensch nach Charles Lindbergh) überquerte sie allein in einem Flugzeug den Atlantik, ihr gelang der Solo-Premierenflug von Kalifornien nach Hawaii, und sie setzte den damaligen Höhenweltrekord für Frauen. Doch 1937 verschwand sie spurlos: Zusammen mit ihrem Navigator Fred Noonan war sie zu einer Weltumrundung aufgebrochen, doch auf ihrer Etappe von Neuguinea und der pazifischen Howardinsel – auf halbem Weg nach Hawaii – ging etwas schief. Der Kontakt zu Earhart und Fred Noonan brach nach dem 2. Juli 1937 ab, als auf Howard der letzte Funkspruch empfangen wurde. Seitdem wird über das Schicksal der beiden gerätselt. Hatten die japanischen Streitkräfte sie gefangen genommen, schließlich lagen die von Japan besetzten Marshall- und Marianen-Inseln in relativer Nähe zur Flugroute? Oder waren sie über dem Pazifik abgestürzt und im Meer versunken?

Für all diese Thesen gab und gibt es wenig Belege, während sich bei einer dritten Option die Hinweise zumindest verdichten, wie Richard Jantz von der University of

Tennessee in Knoxville in »Forensic Anthropology« schreibt. Immer wieder wurde auch vermutet, dass die beiden Flieger auf dem Atoll Nikumaroro gestrandet sein könnten, nachdem ihre Maschine abgestürzt war oder notgelandet wurde. Das Eiland liegt 350 Seemeilen südlich der ursprünglichen Flugroute und galt bis 1938 als unbewohnt; erst danach gründeten die Briten dort eine kleine Siedlung. 1940 entdeckten dann ein paar der Siedler einen Schädel auf dem Atoll und beerdigten ihn; weitere Knochen fand schließlich der Offizier Gerald Gallagher, der sie einer Frau zuordnete. Zudem spürte er eine Sextantenkiste, den Teil eines Damenschuhs sowie eine Flasche der französischen Likörmarke Bénédictine auf, die Earhart gerne trank.

Diese Skelettteile wurden wenige Monate später auch untersucht, doch kam der verantwortliche Mediziner D. W. Hoodless zu dem Schluss, dass die Knochen zwar zu einem Europäer oder Nordamerikaner passen. Doch handele es sich dabei um die Überreste eines beleibteren Mannes mittleren Alters, so der Bericht von Hoodless – weshalb er auch Noonan ausschloss, da dieser zu groß dafür gewesen wäre. Und ausgeschlossen war ein derartiger Toter

ohnehin nicht, da 1929 auch ein Schiff vor Nikumaroro gesunken war, wobei mehrere Männer starben. Dummerweise verschwanden die Knochen auch wenige Zeit später, so dass keine DNA-Tests und andere Studien mehr daran vorgenommen werden konnten.

Die Originalaufzeichnungen der Knochenmessungen blieben jedoch erhalten, weswegen Jantz sie nun mit modernen statistischen Methoden auswerten und mit bekannten Informationen zur Größe und Statur Earharts vergleichen konnte. Sein Ergebnis ist relativ eindeutig: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 Prozent passen die Knochenmaße auf Earharts Körperdimensionen verglichen mit einer sehr großen Referenzgruppe anderer Menschen. Längenverhältnisse und Dicke der Arm- und Beinknochen passen auch zu einer für damalige Verhältnisse groß gewachsenen, eher schmalhüftigen Frau, wie Earhart es war. Denn Jantz hat dazu auch anhand von Kleidungsstücken und Fotos der Pilotin ihre Größe rekonstruiert. Earhart war zwischen 1,70 und 1,72 Meter groß, womit sie rund 90 Prozent ihrer damaligen Geschlechtsgenossinnen übertraf. Die Bilder zeigen zudem schmale Hüften, aber kräfti-

ge Arme und Beine. Und das würde alles zu dem Skelett auf dem Atoll passen.

»In allen uns bekannten Punkten stimmen die Knochen mit den Maßen von Earhart überein«, schließt Jantz. »Ihre Größe passt, und die Schädelmessungen könnten ebenfalls von einer Frau stammen. Am überzeugendsten aber ist die Übereinstimmung der Knochenlängen.« Es sei deshalb sehr wahrscheinlich, dass das Skelett von Earhart stammte. »Solange keine eindeutigen Beweise dagegen gefunden werden, ist dies die überzeugendste Erklärung«, so Jantz. »Und sie war in der Nähe von Nikumaroro, als sie verschwand.« Dazu kommt, dass Tauchgänge vor der Insel Trümmer verschiedenster Art erfassten, wobei noch ungeklärt ist, ob sie auch von einem Flugzeug stammen. Sonaraufnahmen aus dem Jahr 2013 lassen immerhin die Vermutung zu, dass vor der Küste in 200 Metern Tiefe ein Flugzeugwrack liegen könnte, das bislang nicht näher inspiziert wurde. ↩

(Spektrum.de, 09.03.2018)

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT

INSELN

Isolierte Welten

Geophysik | Hotspots entfesselt
Osterinsel | Das Rätsel von Rapa Nui
Kartografie | Die Geisterinseln

HIER DOWNLOADEN

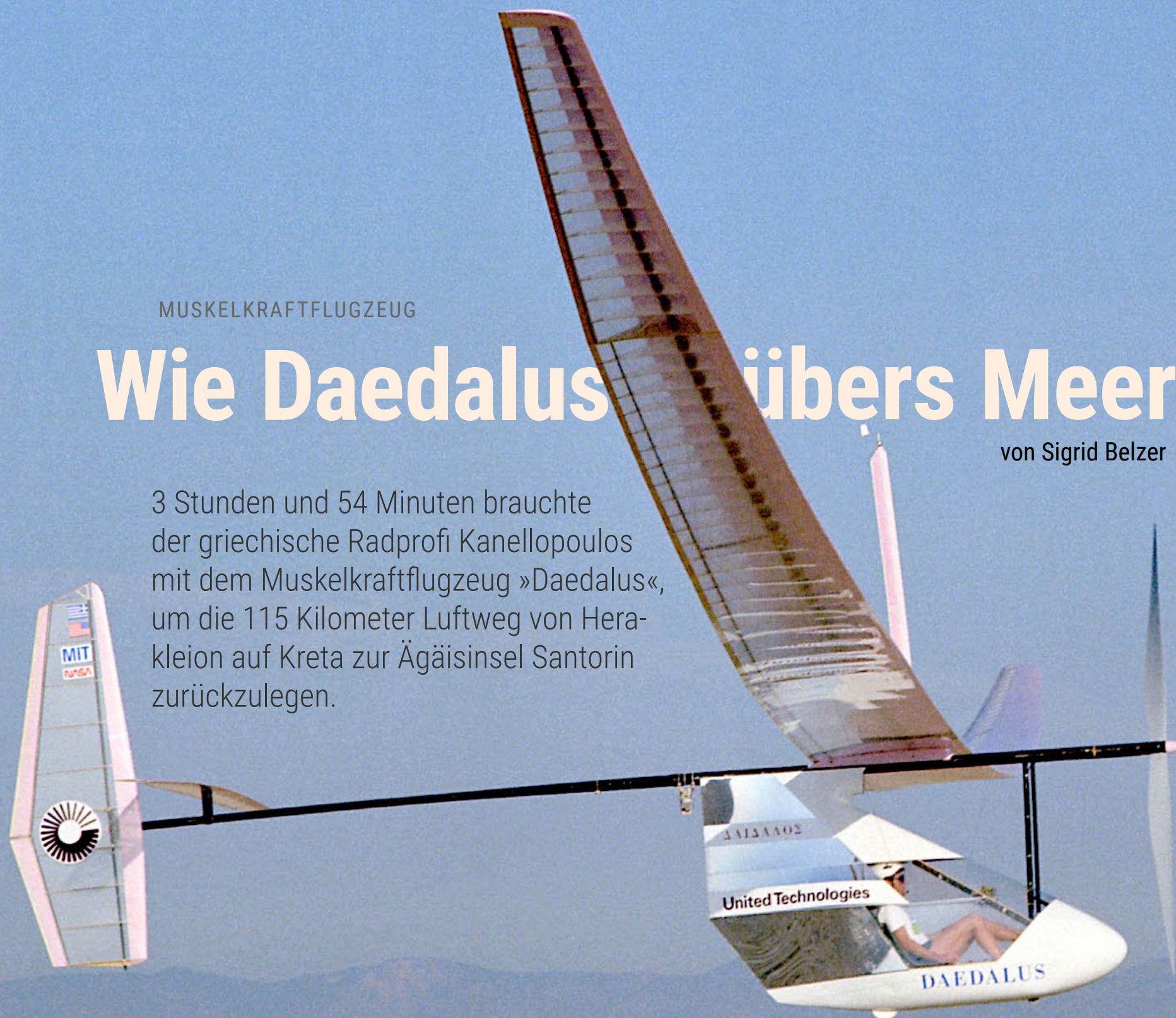
FÜR NUR
€ 4,99

MUSKELKRAFTFLUGZEUG

Wie Daedalus übers Meer

von Sigrid Belzer

3 Stunden und 54 Minuten brauchte der griechische Radprofi Kanellopoulos mit dem Muskelkraftflugzeug »Daedalus«, um die 115 Kilometer Luftweg von Herakleion auf Kreta zur Ägäisinsel Santorin zurückzulegen.



Der Traum vom Fliegen aus eigener Kraft ist alt – und welche Strecke würde sich zur Erfüllung dieses Traums besser eignen als der Flug von Kreta nach Santorin, auf den Spuren von Dädalus und Ikarus. Sie sollen auf genau diesem Weg vor über 3000 Jahren ihrem Gefangenenschicksal in Knossos entkommen sein, indem sie mit Flügeln aus Wachs und Federn eine luftige Flucht wagten.

Die Wissenschaftler am Massachusetts Institute of Technology wählten nicht Federn und Wachs, sondern ultraleichte Graphitmaterialien für den Bau ihres pedalgetriebenen Flugzeugs. Den ersten Flug im Prototyp Light Eagle absolvierte übrigens eine Frau, die Amateurtriathletin Lois McCallin: 1986 legte sie damit 16 Kilometer in 37 Minuten zurück.

1988 hatten die Forscher eine weiterentwickelte Variante vorgestellt, die nur noch 31 Kilogramm auf die Waage brachte – Daedalus 88. Mit ihm starteten sie im März des Jahres nach Herakleion, um vor Ort auf einen günstigen Flugzeitpunkt zu warten. Als »Piloten« trainierten vier Profiradsportler hart – zum Wochenpro-

gramm gehörten mindestens 640 Kilometer Radelstrecke.

Drei Wochen vergingen, denn Winde machten die Starthoffnungen immer wieder zunichte. Dann jedoch, am 22. April 1988, spielte das Wetter mit und Kanellos Kanellopoulos hob ab. Ausgestattet mit einem speziellen Glukose-Mineral-Mischgetränk strampelte er die knapp vier Stunden problemlos durch die Lüfte. kurz vor der Landung auf Santorin allerdings erwischte ihn eine Böe und brach das Heck mit dem Propeller ab, später brach sogar noch ein Flügel. So erreichte Kanellopoulos zwar nicht fliegend, sondern schwimmend die Insel – aber glücklich.

Auch der Ärmelkanal wurde bereits mit einem rein mit menschlicher Kraft betriebenen Ultraleichtflieger überquert: 1979 strampelte Bryan Allen mit dem Gossamer Albatross über die Meerenge und erreichte völlig erschöpft sein Ziel. Zusammen mit dem Leiter des kalifornischen Entwickler-teams, Paul MacCready, erhielt er dafür den Kremer Prize, der für menschgetriebene Fluggeräte erstmals 1959 ausgeschrieben worden war. ↩

(Spektrum.de, 28.01.2005)



gymglish
& **Spektrum.de**

**Verbessern Sie Ihr
Englisch online**

- ✓ Kostenloser Einstufungstest
- ✓ Bereits mehr als 3 Mio. Nutzer
- ✓ Individuell angepasste Kursinhalte

1 Monat kostenlos

PEDALGETRIEBENER HELIKOPTER

Die erstaunliche Geschichte **eines unmöglichen Flugs**

von David Noonan

Allein mit der Kraft eines Menschen kann ein Hubschrauber nicht fliegen, war die gängige Expertenmeinung. Zwei junge Ingenieure bewiesen das Gegenteil – und schrieben Luftfahrtgeschichte.



Im Jahr 2011 begannen zwei Ingenieure mit der Entwicklung eines Hubschraubers, der für 60 Sekunden in drei Meter Höhe schweben konnte – angetrieben allein von der Muskelkraft des Piloten. Größtes Hindernis dabei: Es war unmöglich.

So jedenfalls sahen es Experten, die sich 30 Jahre lang an dieser Aufgabe die Zähne ausgebissen hatten. Im Jahr 1980 hatte die American Helicopter Society AHS (inzwischen The Vertical Flight Society) den am Ende mit 250 000 Dollar dotierten Sikorsky-Preis ausgeschrieben für den Ersten, dem ein solcher Flug gelang. Zahlreiche Fehlschläge und Abstürze später kamen Forscher zu dem Schluss: Ein Mensch kann einfach nicht genug Energie erzeugen, um mit seinem Vehikel derart hoch und lange fliegen zu können. Der Aeronautik-Ingenieur Antonio Filippone von der University of Manchester in England veröffentlichte seine Berechnungen hierzu schon 2007 im »Journal of the American Helicopter Society«. Seiner Meinung nach könne ein sol-

ches Fluggerät nicht abheben. »Somit sind die Bedingungen der AHS aufs Ganze gesehen unter realistischen Bedingungen gar nicht erfüllbar.«

Von diesem Paper Filippones erfuhren Todd Reichert und sein Kollege Cameron Robertson erst, als sie Preis und Prämie bereits in den Händen hielten. Mit ihrem Atlas, einem riesigen, pedalbetriebenen Fluggerät mit vier Rotoren, hatten sie im Juni 2013 den Rekordflug geschafft.

Der Helikopter sieht aus, als hätte jemand mit einem riesigen Metallbaukasten gebastelt: Eine Rahmenkonstruktion aus Kohlefaserrohren ist mit Kabeln aus High-techfasern verspannt und bildet dabei ein ausladendes, gebogenes X mit einer Diagonalen von knapp 27 Metern. An jedem der Enden sitzt ein Rotor – jeweils etwa 20 Meter im Durchmesser mit einem Gerüst aus Balsaholz und einer Bespannung aus durchsichtiger Mylar-Folie.

3,60 Meter hoch wölbt sich der Atlas über den Boden, in dessen Mitte ein umgebautes Rennrad an Spanndrähten baumelt. Auf diesem sitzt Reichert, der menschliche Motor. Wenn er in die Pedale tritt, setzt dies ein komplexes System von Spulen und Schnüren und schließlich die vier Riesen-

AUF EINEN BLICK

Abheben mit Muskelkraft

- 1 Seit mehr als 30 Jahren arbeiten Luftfahrtingenieure nun schon an der Entwicklung eines Hubschraubers, der allein mit menschlicher Muskelkraft betrieben mindestens eine Minute schwebt. Doch alle mussten sich geschlagen geben. Der als Ansporn gedachte Sikorsky-Preis konnte nie vergeben werden.
- 2 Die zwei Ingenieure Todd Reichert und Cameron Robertson aus Toronto haben dank riesiger Rotoren die begrenzte Kraft des Menschen wettmachen können und dabei als sicher geltende Vorstellungen der Hubschrauberkonstruktion in Frage gestellt.
- 3 Schließlich konnten sie mit dem Preis abheben. Herkömmliche Materialien und ein kleines Team machen deutlich, dass fortschrittliche Innovationen nicht nur bei großen Hightechfirmen möglich sind.

David Noonan ist freiberuflicher Wissenschaftsjournalist und ehemaliger Senior-Editor von »Newsweek«.

rotoren in Gang. Es ist allein Reicherts Strampeln, das das 54,88 Kilogramm schwere Fluggerät in der Luft hält.

Der Erfolg zeigt: Unmögliches schaffen kleine Teams am besten

Auch Reichert und Robertson mussten viele Fehlschläge hinnehmen. Doch ihr 64-Sekunden-Flug zeigt, dass in einer Zeit, die von den Ingenieurtrupps großer Firmen wie Lockheed Martin und Northrop Grumman dominiert wird, auch kleine Teams selbst härteste Nüsse knacken können.

Benjamin Hein, der Chefsingenieur bei Sikorsky Aircraft und Vorsitzende des Sikorsky-Preiskomitees 2013, erklärt, vor welchen Aufgaben die jungen Entwickler standen. Sie hätten herausfinden müssen, welche Größe und welches Gewicht zu dem extrem leistungsschwachen Antrieb ihres Fluggeräts passt, wie das optimale Rotor-design aussieht und wie sich das Fluggerät in der Luft steuern lässt. Von ihrer Vorgehensweise könne die Industrie noch einiges lernen, sagt Hein. Vor allem die Bereitschaft der beiden, Fehlschläge in Kauf zu nehmen und schnell wichtige Konstruktionsänderungen vorzunehmen. »Das ist etwas, was große Firmen einfach nicht können.«



Wie leistungsfähig kleine Teams sein können, beweist die Software, die die beiden zur Konstruktion einsetzten und die sogar auf einem herkömmlichen Laptop läuft. Ihr Programm zur Optimierung des Designs ist inzwischen sogar Teil eines Soft-

TODD REICHERT (AUF DEM FAHRRAD) UND CAMERON ROBERTSON (GRAUES T-SHIRT)
Ein Lehrbuchstück unabhängigen Ingenieurdenkens: Mit ihrem Helikopter Atlas gelang den beiden Kanadiern ein Flug, der zuvor als unmöglich galt.

AEROVELO (PRESSEBILD)

ware-Toolkits der NASA geworden, mit dem Fahrzeuge konfiguriert werden, bei denen es auf mehr als nur einen kurzen Hopser ankommt. *(Anm. d. Red.: Im September 2013 hielt sich Teammitglied Alexis Reichert mit Atlas 53 Sekunden in der Luft und stellte damit einen neuen Weltrekord für Frauen auf.)*

Unweigerlich kommen einem dabei zwei andere unabhängige Tüftler in den Sinn: die Brüder Orville und Wilbur Wright. Mit ihnen teilen Reichert und Robertson – die sich beim Ingenieurstudium an der University of Toronto kennen gelernt haben und nun das »Entwicklungs- und Innovationslabor« AeroVelo betreiben – die Leidenschaft für den bemannten Flug.

Die Leute sollen verstehen, »wie viel man erreichen kann, wenn man auf Effizienz setzt«, sagt Reichert. Deshalb nutzen sie Materialien, die es schon seit Jahrzehnten gibt, wie Balsaholz, Styropor und Mylar; und deshalb begnügen sie sich bereitwillig mit der Begrenztheit menschlicher Muskelkraft. Dann könne man eben nicht einfach einen stärkeren Motor nachrüsten, sagt Robertson. »Die Probleme muss man lösen, ohne die Energiequelle zu ändern. Deren Leistung lässt sich nicht groß steigern.« Dass darum das Fahrrad eine so zen-

trale Rolle in den Konstruktionen der beiden einnimmt, hätte den Fahrradmechanikern Wilbur und Orville vermutlich gefallen. Reichert und Robertson konstruierten beispielsweise neben dem Atlas auch ein flugfähiges pedalbetriebenes Flugzeug mit flatternden Flügeln, den Ornithopter.

Erfindergeist und wissenschaftliche Stärke

Die größte Ähnlichkeit mit den Wright-Brüdern findet sich aber in ihrer Arbeitsweise. »Die beiden waren Mechanikertypen«, erklärt Reichert. »Sie haben viel geschraubt und getüftelt. Aber sie sind auch streng wissenschaftlich vorgegangen – das ist die Kombination, die man braucht.«

Die zwei kanadischen Ingenieure sind eigentlich keine Helikopter-Konstrukteure und wussten deshalb nicht, dass ihr Vorhaben – jedenfalls laut Fachliteratur – zum Scheitern verurteilt war. Sie wussten aber, dass die notwendigen Berechnungen endlose Stunden teurer Rechenzeit auf Supercomputern in Anspruch nehmen würden, die ihr Budget gesprengt hätten. Außerdem wollten sie eine Alternative zur üblichen Herangehensweise im Flugzeugbau schaffen, bei der strukturelle und aerodynami-

sche Bauteile in getrennten Teams entwickelt und erst anschließend zusammengeführt werden. Das Endergebnis sei dann weder aus aerodynamischer noch aus struktureller Sicht perfekt, sagt Robertson.

Was sie brauchten, war ein Programm, das die Auswirkungen beider Faktoren auf die speziellen Anforderungen eines mit Muskelkraft betriebenen Helikopters zusammenführte. Und auf billigen Computern lief. Und noch dazu schnell war.

In einem wahren Programmiermarathon schrieben sie innerhalb von nur fünf Monaten eine passende Software für ihren Laptop. Das neue Programm basierte auf früheren Arbeiten Reicherts für den Ornithopter, die ihm schon zu seinem PhD verholten hatten. Damit es auf dem Laptop lief, verzichteten sie auf höchste Genauigkeit. High-Fidelity-Modelle, die Parameter wie den Luftstrom bis ins letzte Detail modellieren, sind zwar Standard im kommerziellen Flugzeugbau und verraten präzise, was sich an Stellen mit sehr komplexer Aerodynamik, wie den Rotorspitzen, abspielt. Für ihren niedrig und langsam fliegenden und leicht zu modifizierenden Atlas war das aber gar nicht nötig. »Mit Medium-Fidelity kommt man auf etwa zwei Prozent

an die korrekte Lösung heran«, sagt Robertson. »Und das reichte uns.«

Dank ihrem selbst geschriebenen Programm konnten sie alle möglichen Helikopter-Konstruktionen schnell und einfach durchtesten. Sie mussten lediglich die Parameter einer Idee eingeben, also zum Beispiel die Geometrie des Rotors sowie Größe, Gewicht und Bruchverhalten des gewünschten Baumaterials, und innerhalb von Minuten spuckte die Software die optimale Version eines derartigen Fluggeräts aus. Außerdem berechnete sie ihnen, welche Kraft mindestens erforderlich ist, um das Fluggerät in die Luft zu heben. Diese Fähigkeit der Software, schon nach kurzer Zeit Antworten nahe an der korrekten Lösung zu liefern, hat die NASA davon überzeugt, das Programm in ihre eigene Softwarebibliothek aufzunehmen.

Think big!

Die erste Entscheidung beim Design des Atlas hieß: Größer ist besser! Lange Arme und große Rotorblätter sollten für maximalen Auftrieb sorgen. Im Video des Erfolgsflugs denkt man, die Rotoren mit nur zehn Umdrehungen pro Minute müssten doch viel zu langsam sein. Aber es ist ihre

riesige Größe, nicht ihre Geschwindigkeit, die den Auftrieb erzeugt.

Reichert und Robertson erkannten, dass andere Konstrukteure auf Grund einer folgeschweren Entscheidung gescheitert waren: Zum Schutz vor Windböen hatten sie ihre Flugversuche in Sporthallen oder ähnliche Gebäude verlegt und ihre Helikopter an die entsprechenden Größenverhältnisse angepasst. Nun tut man tatsächlich gut daran, im Innern eines Gebäudes zu starten – die Gebilde sind viel zu fragil für den Außeneinsatz –, aber eine normale Turnhalle reicht nicht. So kam es, dass eine riesige alte Scheune im Norden Torontos und später das Fußballzentrum in der Nähe der Stadt zu Zeugen der ersten mit Muskelkraft betriebenen Helikopterflüge wurden.

Das zweite Konstruktionsproblem beim Atlas waren Gewicht und Leistung seines Antriebs: Reichert, 1,77 Meter groß und knapp 82 Kilogramm schwer. Die Konstruktion erlaubte maximal 74,8 Kilogramm, so dass er etwa 7 Kilo abnehmen musste. An ihm war es außerdem, durch Treten der Pedale genügend Leistung zu erzeugen, um sich selbst samt dem knapp 55 Kilogramm schweren Fluggerät – also insgesamt zirka 130 Kilogramm – in die erfor-

»Das Unmögliche angehen ist nicht gerade einfach. Aber es ist befriedigender, motiviert stärker und ist letztendlich wichtiger«

[Todd Reichert]



GEWALTIGE AUSMASSE

Erst als sich die beiden Entwickler nicht mehr an künstliche Größenbeschränkungen hielten, gelang ihnen der Bau eines funktionierenden, mit Muskelkraft betriebenen Helikopters. Für den Start benötigten sie dann allerdings ein Fußballfeld in der Halle.

derliche Höhe von 10 Fuß (etwa 3 Metern) zu bringen und für die geforderte Zeit von einer Minute in der Luft zu halten. Das Leistungsziel, berechnet aus dem Gesamtgewicht des Fluggeräts und der Größe der vier Rotoren, ergab einen Anfangsschub von etwa 1000 Watt, um erst einmal in die Luft zu gelangen. Danach war ein konstanter Output von etwa 600 Watt für den Rest des Flugs nötig. Das war so viel wie ein 100-Meter-Sprint mit einem anschließenden, etwas langsameren 400-Meter-Lauf.

Spitzensport auf dem Pilotensitz

Reichert, der vermutlich fitteste Aeronautik-Ingenieur Nordamerikas, ist ein begeisterter Sportler. Als Eisschnellläufer ist er bereits in den höchsten Ligen Kanadas mitgelaufen, als Teil einer Maschine tat er nun der Leidenschaft beider Ingenieure fürs Messen Genüge: »Sobald du etwas messen kannst, kannst du es auch verbessern«, schwärmt Reichert. Während des monatelangen Trainings bestimmten er und Robertson mit zwei Ergometern seine Leistung. Und Reichert tat noch das Seine dazu, indem er mehr abnahm als geplant und ein Körpergewicht von 72,5 Kilogramm, also 2,2 Kilo unter dem Zielge-

wicht, erreichte. So reduzierte er die zum Fliegen nötige Energie ohne wesentlichen Verlust an Power.

Spitzensportler durchlaufen einen ausgeklügelten Trainingsplan, um kurz vor dem Wettkampf ihre maximale Fitness zu erreichen. Doch mehrere technische Verzögerungen zwangen Reichert dazu, sein Kraft- und Fitnessniveau über mehr als neun Monate aufrechtzuhalten. Da ist es nahezu unglaublich, dass er während des entscheidenden Flugs sogar über sein Ziel hinausschoss und in den ersten zwölf Sekunden 1100 Watt (fast 1,5 PS) schaffte, bevor er auf durchschnittliche 690 Watt zurückfiel, um den Atlas insgesamt 64 Sekunden in der Luft zu halten.

Reichert, Robertson und ihr Team aus acht Studenten der University of Toronto bauten den Atlas im Sommer 2012. Auch wenn sie mit ihrer »fliegenden Kiste« ein vermeintlich unmögliches Ziel erreichen wollten, verschwendeten sie weder Zeit noch Geld für unnötige Anstrengungen oder ausgefallene Materialien. Wo immer möglich, griffen sie auf Bekanntes zurück und nutzten Fertigelemente, das hielt die Kosten niedrig und ihnen den Kopf frei für größere Probleme. Anstatt selbst ein ultra-

leichtes Fahrrad zu bauen, modifizierten sie ein Cervélo R5ca, eines der leichtesten bekannten Straßenräder. Wie Robertson heute gerne Schülergruppen erzählt, sind die meisten ihrer Materialien im Heimwerker- und Bastelbedarf erhältlich. Das innovativste Material ihrer Konstruktion war Vectran, eine Flüssigkristall-Polymerfaser für Hightech-Spanndrähte mit extremer Festigkeit, die sich, einmal belastet, nicht weiter ausdehnt.

Der Intuition freien Lauf gelassen

In der Halle im Norden von Toronto ließen die beiden Forscher schließlich Mathematik und clevere Algorithmen hinter sich und gaben der Intuition freien Lauf. Nach der Trial-and-Error-Methode probierten sie vieles einfach aus. Dem fiel als Erstes das Steuerungssystem des Atlas zum Opfer, ein kompliziertes Arrangement von Schalthebeln und Kabeln, die an der Spitze der Rotoren mit kleinen L-förmigen Vorflügeln, so genannten Canards, verbunden waren. Sie sollten durch Ändern ihres Anstellwinkels verhindern, dass der Helikopter aus der zehn Quadratmeter großen Fläche herausdriftet, deren Verlassen das Reglement des Sikorsky-Preises untersagt hatte.



Wegen einer zu langen Verzögerungszeit zwischen der Aktion des Piloten und dem Ergebnis funktionierte das anfängliche System aber nicht. »Rein mechanisch gesehen war es richtig cool«, erinnert sich Robertson; nur konnte es das Abdriften nicht verhindern. Deshalb ersetzten sie es durch eine einfachere Konstruktion, indem sie ein paar Verbindungskabel zwischen dem unteren Teil des Fahrrads und den Achsen der vier Rotoren umleiteten. Nun konnte der Pilot die Drift des Gefährts durch seine eigene Bewegung steuern. Für die Bewegung nach vorne lehnte er sich selbst nach vorne, für die Bewegung nach links lehnte er sich nach links, und so weiter. »Irgendwie kann ich immer noch nicht glauben, dass es wirklich funktioniert«, wundert sich Reichert, der sich fast während des ganzen Flugs stark nach

64 SEKUNDEN IN DER LUFT

Die Vorgaben des Sikorsky-Preises sahen vor, dass ein Helikopter auf zehn Fuß Höhe kletterte und dort mindestens eine Minute in den Schwebeflug überging. Die sportlichen Anforderungen an den menschlichen Motor sind gewaltig.

rechts lehnte, wie auf dem Video zu sehen ist. Nicht nur das Fliegen war so einfacher, sondern auch das Gesamtgewicht des Fluggeräts war um 10 Prozent gesenkt. Zusammen mit dem verringerten Luftströmungswiderstand war nun der Leistungsbedarf um unglaubliche 20 Prozent niedriger.

Während der Tests brachen permanent Teile des fragilen Fluggeräts ab, und es kam zu zwei spektakulären Abstürzen nur wenige Wochen vor dem erfolgreichen Flug. Die Ursache war jedes Mal ein Eintritt ins so genannte Wirbelringstadium. Bei diesem aerodynamischen Phänomen dringen Rotoren in die Luftschicht ein, die sie bereits nach unten gedrückt haben. Damit geht Auftrieb verloren. Die zwei Ingenieure begaben sich an den Rotoren auf Fehlersuche. Schließlich stellte sich heraus, dass die Vorderkanten der Rotorblätter nicht glatt genug waren. Die Mylar-Folie, die sie in der Hektik der letzten Vorbereitungen aufgespannt hatten, offenbarte raue Stellen, die den Luftwiderstand erhöhten. Sie strichen die Haut vorsichtig glatt. Dann kürzten sie auch noch die Kohlefaserstreben und versteiften die Drahtverspannung auf den Rotorarmen.

Über drei Millionen Klicks auf YouTube

Die Reparaturen hielten. Acht Wochen nach dem zweiten Crash gewannen die zwei Ingenieure und ihr Team den Sikorsky-Preis. Das Video, das Reicherts Flug auf der verrückten Maschine zeigt, hat es bei YouTube auf über drei Millionen Klicks gebracht. Ziel des Wettbewerbs war es, die neue Generation von Ingenieuren anzu-spornen und die Fantasie der Öffentlichkeit anzuregen. Gemessen an den YouTube-Klicks war der Atlas auf jeden Fall ein Erfolg.

Nach Reichert durften auch die anderen im Team den Atlas fliegen. Fast jeder schaffte es, ihn mindestens einen halben Meter in die Höhe zu hieven. »Vor uns hatten mehr Menschen einen Spaziergang auf dem Mond gemacht, als einen mit Muskelkraft betriebenen Helikopter geflogen. Wir haben ihre Zahl nun verdoppelt«, scherzt Robertson.

Wenn Reichert über die Gründe für ihren Erfolg spricht, geht er weit über die Technik hinaus. Es gehe darum, das Unmögliche möglich zu machen oder es zumindest zu versuchen: »Es braucht verrückte Ziele, um die Leute zu motivieren.«

So gäbe es Unmengen fantasieloser Ziele – sein Lieblingsbeispiel sind die



Standards beim Treibstoffverbrauch. Der an sich löbliche Versuch der damaligen US-Regierung, den durchschnittlichen Verbrauch aller Kraftfahrzeuge bis zum Jahr 2025 auf 4,3 Liter pro 100 Kilometer zu senken, war ihm nicht ambitioniert genug – auch wenn es eine Verbesserung von 88 Prozent gegenüber dem damaligen Stand bedeutet hätte. »Wenn die Regierung stattdessen eine 1000-prozenti-

DER FLUG DES ATLAS

Der entscheidende Flug, der dem Team den Sikorsky-Preis eintrug. Über 30 Jahre lang hatten sich Teams an dieser Aufgabe die Zähne ausgebissen.

ge Reduzierung des Treibstoffverbrauchs fordern würde, wäre jeder zum Umdenken gezwungen«, sagte er. Und das könnte seiner Meinung nach eine neue Ära eines supereffizienten Transportwesens einleiten.

Reichert und Robertson wissen natürlich, dass jedem Politiker eine solche Vorgabe um die Ohren flöge – aus naheliegenden Gründen. Trotzdem könnten hochfliegende Ideen dabei helfen, scheinbar unlösbare Probleme von einer neuen Seite her zu betrachten. »Das Unmögliche angehen ist nicht gerade einfach«, weiß Reichert. »Aber es ist befriedigender, motiviert stärker und ist letztendlich wichtiger.«

Im Herbst 2014 wollten die beiden in Battle Mountain in Nevada den Geschwindigkeitsweltrekord im Radrennen von 133,77 Stundenkilometern brechen. Doch sie verpassten ihn um etwas über 7,2 km/h. *(Anm. d. Red.: Mit dem vollverkleideten Liegerad Eta halten sie aktuell den 2016 von Todd Reichert aufgestellten Weltrekord von 144 km/h.)* ↩

(Spektrum – Die Woche, 3. KW 2015)

Spektrum
der Wissenschaft
KOMPACT

NAVIGATION

Der richtige Weg zum Ziel

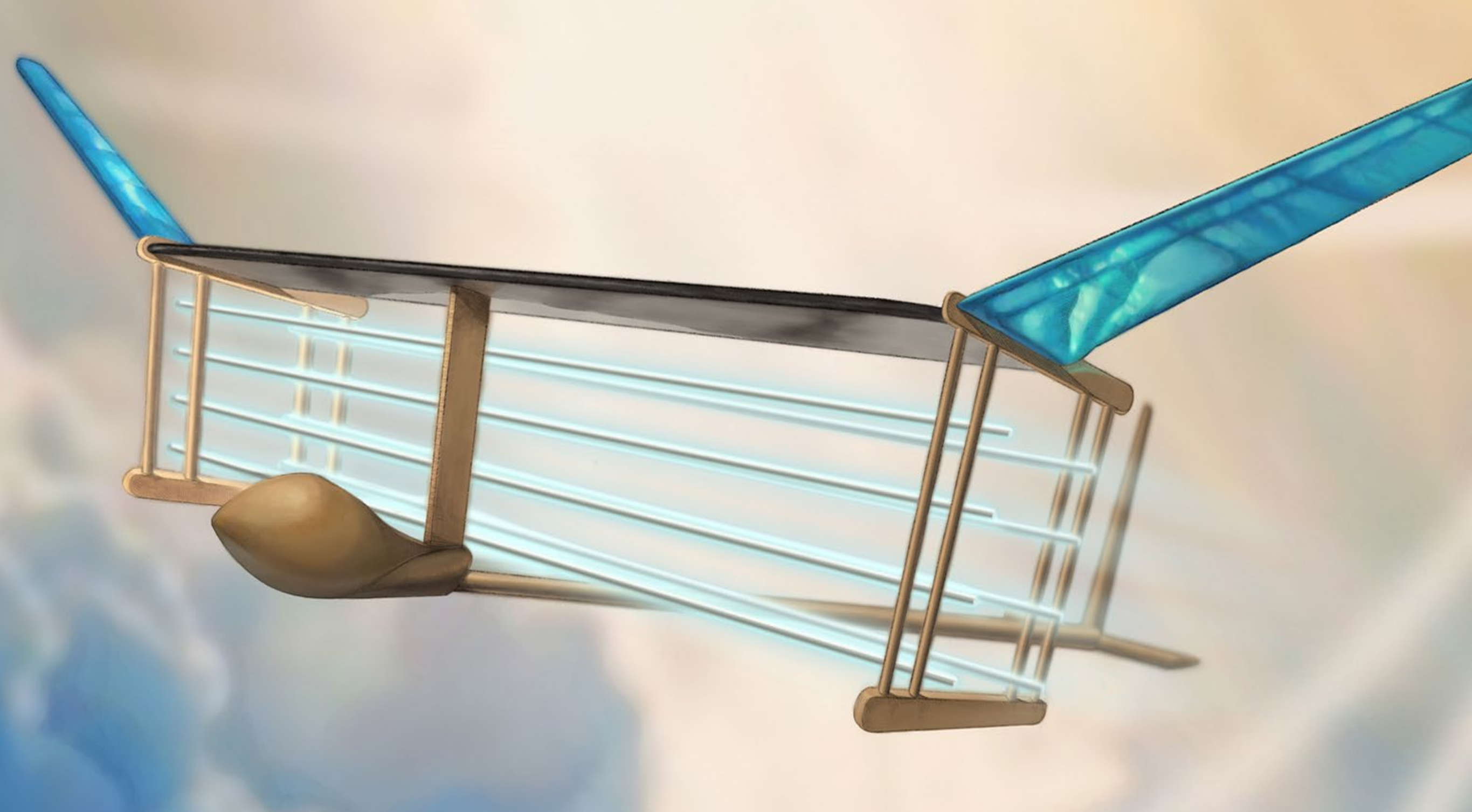
Zugvögel
10 rekordverdächtige Fernreisende

Wegfindung
Schaden Navigationssysteme unserem Orientierungssinn?

Kognition
Routenplanung im Rattenhirn

[HIER DOWNLOADEN](#)

ISTOCK / PINKBADGER



CHRISTINE Y. HE, MIT

PIONIERFLUG

Experimentalflugzeug mit Ionenantrieb hebt ab

von Angus Chen

Flüsterleise Flugzeuge ganz ohne bewegliche Teile verspricht ein Antrieb, der auf Elektrizität und Ionenwind setzt. Ein Experimentalflugzeug schaffte jetzt immerhin 60 Meter.

Nur ein dünner weißer Vorhang trennt Steven Barretts provisorisches Labor von der Indoor-Laufbahn am Massachusetts Institute of Technology. Genau hier flog der Luft- und Raumfahrtingenieur kürzlich das erste Flugzeug, das durch Ionenwind angetrieben wurde – das sich also dank eines elektrischen Triebwerks, das durch die Bewegung geladener Teilchen Vortrieb erzeugt, in der Luft halten konnte. Barretts »Motor« kommt folglich ganz ohne bewegliche Teile aus.

Das Prinzip des Ionenantriebs auf ein Flugzeug übertragen zu wollen, war lange Zeit, das räumt auch Barrett ein, eine »weit hergeholte Idee«. Eher Sciencefiction als harte Wissenschaft. Versuchen wollte er es trotzdem. »Bei Raumschiff Enterprise haben Sie diese Shuttles, die lautlos vorbeifliegen«, sagt er. »Ich dachte: So etwas sollte es auch in echt geben.«

Barrett setzte auf den Ionenwindan-

trieb. Acht Jahre verbrachte er damit, die Technologie zu studieren, dann wagte er sich an den Bau eines Prototyps: ein Miniaturflugzeug mit echtem Ionentriebwerk – und kleinen ästhetischen Defiziten, wie Barrett findet. Das »schmutzige Gelb« seines Prototyps habe aber einen tieferen Sinn. Schwarze Farbe enthalte oft Kohlenstoff, der Strom leitet. Das hat dazu geführt, dass frühere Varianten des Flugzeugs beim Anschalten regelrecht geröstet wurden.

Sonderlich groß war seine Hoffnung auf den neuesten Prototypen, leidenschaftslos Version 2 genannt, allerdings auch nicht. »Bevor wir mit den Testflügen begannen, dachte ich, es gebe vielleicht eine 50:50-Chance«, sagt er. »Mein Kollege am MIT schätzte die Chance, dass es funktioniert, eher auf ein Prozent.«

Aber im Gegensatz zu seinen Vorgängern, die sich alle nicht in der Luft halten konnten, segelte die Version 2 mit etwa 17 Kilometern pro Stunde rund 60 Meter durch die Luft. Ohne erkennbare Abgase

und ohne röhrendes Triebwerk oder Propellerbrummen – es wirkt, als wäre das Flugzeug von einer ätherischen Macht leise bewegt worden. »Es war sehr aufregend«, erinnert sich Barrett. »Dann prallte es gegen die Wand, was nicht ideal war.«

Dennoch hatte Version 2 funktioniert, und Barrett und seine Kollegen veröffentlichten ihre Ergebnisse im Fachmagazin »Nature«. Der Flug sei eine Leistung gewesen, an der schon einige gescheitert waren, sagt Mitchell Walker, ein Luft- und Raumfahrtingenieur am Georgia Institute of Technology, der nicht an dem neuen Flugzeug gearbeitet hat. Barrett habe »etwas wirklich Einzigartiges fertiggebracht«, ergänzt er.

Weltraumtechnologie in dicker Luft

Dabei sind Ionenstrahltriebwerke keine Neuerung an sich; man setzt sie bereits seit Längerem im Weltraum ein, wo sie beispielsweise Sonden sehr effizient antreiben. An die Leistung von Raketen oder Strahltrieb-



Die Entstehung des Ionenwindflugzeugs (englisch)

werken reichen sie nicht heran, dennoch eignen sie sich sogar für Reisen in die Tiefen des Sonnensystems. Die Sonde Dawn etwa wurde auf ihrer Mission zum Asteroidengürtel von einem Ionenstrahltriebwerk angetrieben. Da es im Weltraum keine Atmosphäre gibt, müssen sie einen Gasvorrat an Bord tragen, den sie ionisieren und mit Hilfe elektrischer Felder langsam ins All blasen. Im Weltraum, wo es keinen Luftwiderstand gibt, ist ihr geringer Schub ausreichend. Doch genügt er auch, um sich durch die dicke Luft der Erdatmosphäre zu bewe-

gen? Jedem sei klar gewesen, dass ein Ionentriebwerk dafür nicht ausreichen würde, meint Walker. »Und keiner hatte eine Idee, wie es weitergehen sollte.«

Aber Barrett und sein Team machten drei wesentliche Fortschritte, mit denen sie die Version 2 in die Luft brachten. Das Erste war das Design des Ionenwindantriebs. Die Aggregate der Version 2 bestehen aus zwei Reihen langer Metalldrähte, die unter den himmelblauen Tragflächen befestigt sind. Die erste Reihe führt etwa 40 000 Volt Strom – das ist ungefähr das

180-Fache der Spannung, die zu Hause aus der Steckdose kommt. Eine derart hohe Spannung trennt von den in der Umgebungsluft reichlich vorhandenen Stickstoffatomen einige Elektronen ab. Dadurch verwandeln sie sich in positiv geladene Ionen. Da die hintere Reihe von Metallfilamenten eine negative Ladung trägt, bewegen sich die Ionen wie magnetisierte Billardkugeln darauf zu. »Auf dem Weg dorthin gibt es Millionen von Kollisionen zwischen diesen Ionen und neutralen Luftmolekülen«, erläutert Barrett. Die Kollisionen schieben die Luftmoleküle Richtung Flugzeugheck, wodurch ein Wind entsteht, der das Flugzeug hinreichend stark nach vorne schiebt, damit es in der Luft bleibt. Die Schubkraft, die das 2,45 Kilogramm schwere, fünf Meter breite Flugzeug entwickelte, lag bei 3,2 Newton.

Eine weitere Innovation war laut Walker die Entwicklung eines leichten, aber leistungsstarken elektrischen Systems. Bevor dieses Flugzeug gebaut wurde, sagt er, habe es keine Systeme gegeben, die die Energie aus einer leichten Batterie effizient genug umwandeln konnten, um genügend Spannung für die Triebwerke zu erzeugen. »Die größte Herausforderung der Ionenstrahl-

triebwerke ist, dass sie 20 000 oder 30 000 Volt benötigen, um zu funktionieren. Hochspannung an einem Flugzeug ist nicht einfach«, sagt er. »Du willst mit 40 000 Volt an einem Flugzeug herumspielen? Dafür gab es gar keine Technologie. Steve hat einen cleveren Weg gefunden, um diese effiziente Umwandlung zu erreichen.«

Abstürze am Simulator

Und schließlich benutzte Barrett ein Computermodell, um das Beste aus jedem Designelement im Flugzeug herauszuholen, vom Aufbau des Triebwerks und des elektrischen Systems bis hin zu den Kabeln, die durch das Flugzeug führten. »Der Stromrichter, die Batterie, die Kondensatoren und der Rumpf – alles wurde optimiert«, sagt Barrett. »In den Simulationen gab es ständig Fehlschläge. Wir mussten Hunderte von Änderungen vornehmen.« Bis am Ende die erfolgreiche Version 2 stand.

Ein Nachteil, den auch Barrett und Kollegen nicht ausmerzen konnten, ist die geringe Effizienz derartiger Antriebe. Wie der Luftfahrtexperte Franck Plouraboué von der Université de Toulouse in einem Begleitkommentar erläutert, werden von dem Antrieb nur 2,6 Prozent der eingesetz-

ten elektrischen Energie in Vortrieb umgesetzt. Rechnungen würden aber zeigen, dass diese Effizienz wächst – bei Geschwindigkeiten jenseits der 1000 Kilometer pro Stunde sogar auf Werte um die 50 Prozent.

Schätzungen zufolge könnte ein solcher Antrieb – nach einigen Verbesserungen – ausreichen, um extrem reduzierte Leichtgewichtsflieger wie das Solarflugzeug Solar Impulse 2 in der Luft zu halten. Wo jedoch nicht die Sonne die Energie liefert, stellt sich das Problem, an dem alle Elektroflugzeuge derzeit leiden: Die Energiedichte aktueller Batterien ist derart gering, dass ihr Gewicht empfindlich zu Buche schlägt, sobald hinreichende Energiemengen mitgeführt werden sollen. Dabei macht es keinen Unterschied, ob das Flugzeug mit konventionellem Elektroantrieb oder einem Ionentriebwerk fliegt.

Ähnlich äußert sich auch Alec Gallimore, ein Luft- und Raumfahrtingenieur von der University of Michigan. Der Durchbruch von Barrett und Kollegen liefere einen eindrucksvollen Beleg dafür, dass man mit Ionenstrahltriebwerken auf der Erde fliegen kann, sagt der Forscher, der nicht an den Arbeiten beteiligt war. Doch auch seiner Meinung nach dürfte ein prakti-

scher Einsatz der Technik auf wenige Gebiete beschränkt bleiben, denn Propeller und Jets seien um ein Vielfaches effizienter als Barretts Ionenwindtriebwerk. Ein bemanntes Flugzeug dürfte die Technik so bald nicht antreiben. Aber Barretts Innovation habe einen entscheidenden Vorteil: ihre Lautlosigkeit. Für Drohnen, die beispielsweise Gebäude inspizierten, könnte es sich als lohnend erweisen, diese Technologie weiterzuverfolgen, meint Gallimore.

Auch Barrett sieht Drohnen als plausiblen Anwendungsfall. Unbemannte Fluggeräte, die Pakete ausliefern sollen, Filmaufnahmen machen oder die Umwelt überwachen, würden von der Geräuscharmheit profitieren. »Man bedenke, dass wir in 10 oder 20 Jahren von Drohnen umgeben sein könnten«, sagt er. »Wenn jede davon Lärm macht, wird das unsere Lebensqualität deutlich verschlechtern. Aber das hier, das ist ganz leise.«

Dieser Artikel ist eine von »Spektrum der Wissenschaft« übersetzte, redigierte und ergänzte Fassung des Artikels Silent and Simple Ion Engine Powers a Plane with No Moving Parts von »Scientific American«. ↩

(Spektrum.de, 22.11.2018)

KOLLISION

Wenn eine **Drohne** ins Flugzeug **crasht**

von Jan Dönges

Die Zahl der Hobbydrohnen wächst rasant – es ist nur eine Frage der Zeit, bis eine davon ein Flugzeug trifft. Was dann passieren könnte, zeigen nun Hochgeschwindigkeitsaufnahmen.



Im Jahr 2017 rammte ein kleiner Quadcopter einen Helikopter der US-Armee – glücklicherweise ging das Aufeinandertreffen glimpflich aus: zumindest für den Hubschrauber, der leichten Schaden an einem Rotor erlitt. Die Drohne wurde bei dem Aufprall in ihre Einzelteile zerlegt. Was unter weniger günstigen Umständen passieren könnte, haben Wissenschaftler der University of Dayton im Labor simuliert. Der Crash-test zeigt: Schlimmstenfalls könnte eine solche Kollision zum Absturz des Flugzeugs führen.

Die Experten für Vogelschlag haben dazu ihre Testanlage verwendet, in der sie sonst die Auswirkungen von Unfällen zwischen Flugzeugen und Vögeln simulieren. Eine Kanone schießt dazu das Objekt – beispielsweise einen Vogeldummy – mit hoher Geschwindigkeit auf ein Flugzeugbauteil.

Um die Auswirkungen eines Drohnen-crashs zu ermitteln, nutzten sie eine verbreitete Amateurdrohne, die rund ein Kilogramm schwere DJI Phantom 2, und feuerten sie mit rund 380 Stundenkilometern auf die Tragfläche eines Mooney M20. Der Viersitzer ist ein typisches Leichtflugzeug, wie es von Privatleuten geflogen wird.



Der Aufprall verwandelte die Drohne in Sekundenbruchteilen in eine Schrapnellwolke, die tief in die Struktur der Tragfläche eindrang und dabei den Holm beschädigte. Diese Querstrebe ist entscheidend dafür, die beim Flug auftretenden Belastungen abzufangen. Ist der Holm beschädigt, kann das fatale Folgen für die Stabilität des Flugzeugs haben.

Zum Vergleich schossen die Forscher um Kevin Poormon noch einen Vogeldummy auf eine unbeschädigte Stelle derselben Tragfläche. Auch hier wurde das Blech aufgerissen, Schäden am Holm wollen die Forscher jedoch nicht beobachtet haben.

Es sei nur eine Frage der Zeit, bis es zu einem ersten Zusammenstoß zwischen Drohne und Flugzeug komme, meint Poormon in einer Mitteilung seiner Universität. Darum sei es dringend geboten, die Gefahr durch die unbemannten Fluggeräte genauer zu erforschen und den Drohnenverkehr den Ergebnissen entsprechend zu regulieren. In nächster Zeit will das Team vom University of Dayton Research Institute weitere Drohnenmodelle auf seinen Teststand bringen.

(Spektrum.de, 16.10.2018)

NEUROERGONOMIE

von Frédéric Dehais und Mickaël Causse

Entscheiden im **Flugmodus**

Die meisten Flugzeugabstürze sind auf menschliche Fehler zurückzuführen. Neue Alarmsysteme kontrollieren die Hirnaktivität sowie das Stressniveau der Piloten und könnten das Fliegen noch sicherer machen.

Das Flugzeug ist trotz jährlich rund 600 Toten – bei weltweit 30 Millionen Flügen – zweifellos das sicherste Verkehrsmittel überhaupt. Und doch gibt es bei der Flugsicherheit immer noch einiges zu verbessern. Die Ursache eines Absturzes ist meist nicht ein technischer Defekt, sondern menschliches Versagen. Untersuchungen weisen darauf hin, dass Piloten dem enormen Druck während gefährlicher Situationen oft nicht gewachsen sind und dann falsche Entscheidungen treffen. Auch die Vielzahl an Informationen, die sie im Cockpit empfangen, kann zu der Überforderung beitragen. Laut Angaben des Flugzeugherstellers Boeing waren zwischen 2005 und 2014 insgesamt 1656 Tote auf der ganzen Welt auf solche Kontrollverluste der Besatzung während des Flugs zurückzuführen. In vielen brenzligen Situationen könnte der Pilot das Problem eigentlich selbst beheben. Stattdes-

sen fällt er jedoch irrationale Urteile oder hält an falschen Handlungsmustern fest. Dies war zum Beispiel beim Absturz einer Continental-Airlines-Maschine im Jahr 2009 der Fall: Das Flugzeug stürzte beim Landeanflug auf den Flughafen in Buffalo im US-Bundesstaat New York in ein Wohngebiet, da der Kapitän die Kontrolle über seine Maschine verloren hatte. Nachdem sich der Autopilot plötzlich ausgeschaltet hatte, interpretierte er die unerwartete Situation vermutlich falsch und zog an der Steuersäule – ohne die Alarmmeldungen zu beachten, wonach das Flugzeug dadurch am Überziehen war. Dabei wird der Anstellwinkel des Tragflügels so weit vergrößert, dass nicht genug Luft unter und über die Tragflächen fließen kann. Die Maschine verliert an Auftrieb.

Fehlentscheidungen tragen auch zum zweithäufigsten Typ von Flugzeugunfällen bei: Abstürzen während eines kontrollierten Flugs. Hierbei rast ein Flugzeug auf den Boden oder das Meer zu, obwohl keine technischen Probleme bestehen und der Pilot die Maschine im Griff hat. Dazu kann es kommen, wenn er beispielsweise den Abstand zum Boden falsch einschätzt. 2010 verunglückte eine Tupolew

AUF EINEN BLICK

Cockpit nach menschlichem Maß

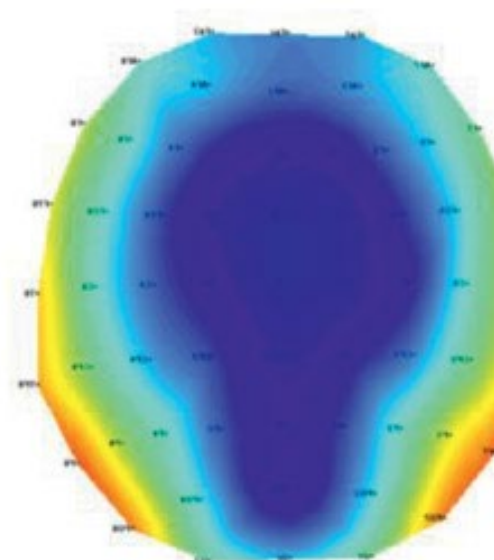
- 1 Pilotenfehler sind die häufigste Ursache von Flugzeugabstürzen. Oft nehmen Flugkapitäne in einer angespannten Situation wichtige Signale und entscheidende Alarmzeichen nicht wahr.
- 2 Neuroergonomen untersuchen mit Hilfe von Verfahren der Hirnforschung, wie es zu solchem Versagen kommt. Dafür erfassen sie etwa die neuronale Aktivität oder das Stressniveau von Piloten während eines Flugs.
- 3 Auf Grundlage ihrer Erkenntnisse entwickeln Forscher neue Systeme, die das Fliegen sicherer machen sollen – zum Beispiel Cockpits, die Eigenheiten in der menschlichen Wahrnehmung unter großer Gefahr berücksichtigen.

Frédéric Dehais bekleidet am Institut für Luft- und Raumfahrt in Toulouse den Lehrstuhl für Neuroergonomie in der Luftsicherheit. **Mickaël Causse** arbeitet am selben Institut in der Arbeitsgruppe »Menschliche Faktoren und Neuroergonomie«.

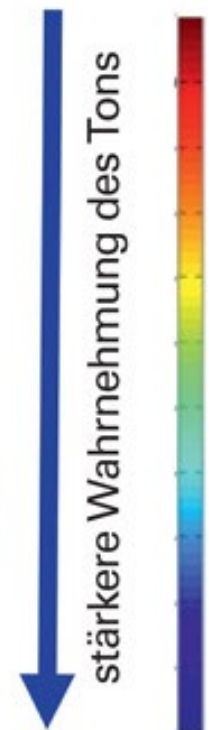
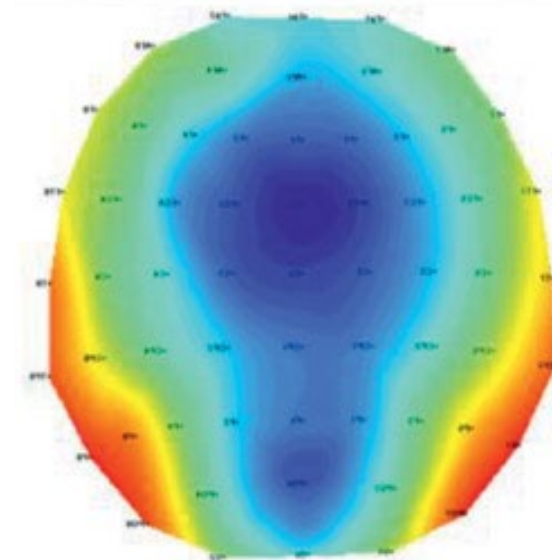
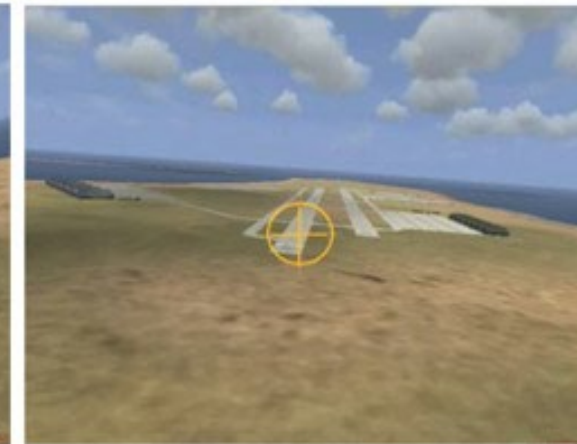
Selektive Taubheit: Das Sehen hat Vorrang vor dem Hören

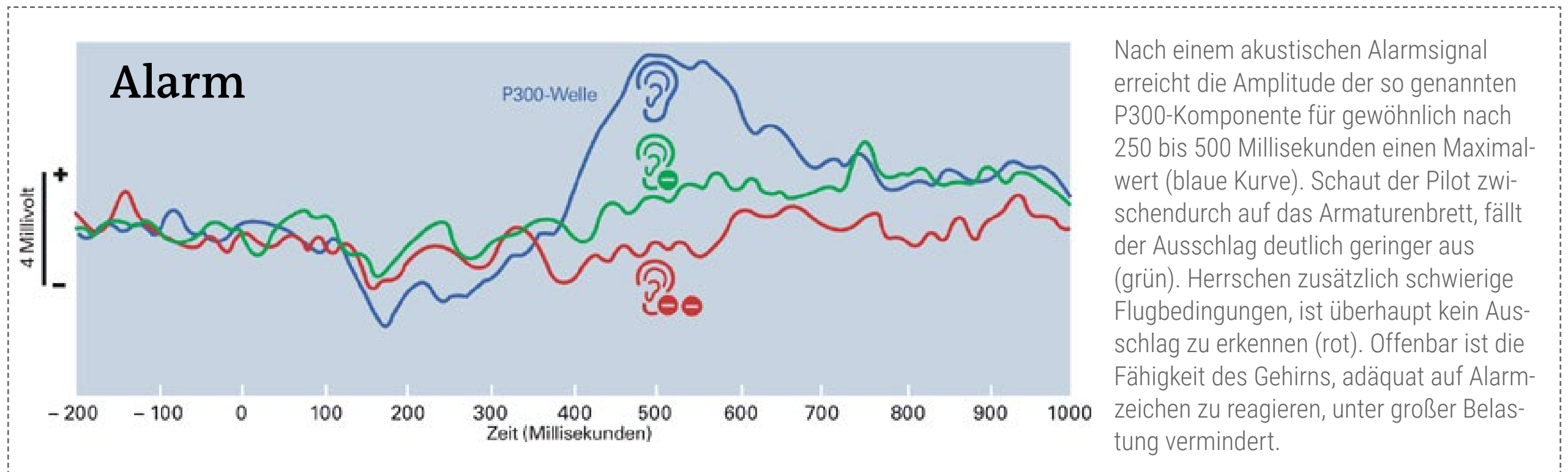
In der ersten Simulationsübung muss der Proband auf der rechten von zwei Landebahnen mit der gelben Zielscheibe landen (Bild links). Diese Bahn ist jedoch gesperrt, darauf weist das rote Licht hin. Wie eine Analyse der EEG-Daten zeigt (unten), hört der Pilot in diesem Fall den akustischen Alarm, der ihm signalisiert, dass er nicht landen darf. In einer zweiten Übung muss der Pilot auf der linken Landebahn landen (Bild rechts). Das grüne Licht zeigt ihm, dass die Landebahn frei ist. Weil er seine Aufmerksamkeit auf das visuelle Signal richtet, nimmt er ein akustisches nicht wahr, das ihm mitteilt, die Bahn sei doch nicht bereit.

KEIN KONFLIKT
Visueller und akustischer Alarm stimmen überein.



KONFLIKT
Visueller und akustischer Alarm stimmen nicht überein.





ISAE-SUPAÉRO; MIT FRDL. GEN. VON FRÉDÉRIC DEHAIS UND MICKAËL CAUSSE

TU-154 beim Landeanflug auf den russischen Militärflugplatz Smolensk-Nord, weil der Kapitän die Maschine bei dichtem Nebel zu sehr sinken ließ und Baumwipfel streifte. Er hatte sich trotz der schlechten Sicht für eine Landung entschieden. Alle 96 Insassen kamen ums Leben, darunter der damalige polnische Präsident Lech Kaczyński.

Wie lässt sich solches menschliches Versagen verhindern? In den 2000er Jahren entstand ein neues Forschungsfeld – die Neuroergonomie –, dessen Ergebnisse genau dabei helfen sollen. Die Hoffnung dahinter: Der Blick ins Gehirn eröffnet womög-

lich Einsichten in die Mechanismen, die menschlichen Fehlern zu Grunde liegen.

Unser Team am Institut für Luft- und Raumfahrt in Toulouse versucht zu verstehen, warum selbst erfahrene Flugkapitäne mitunter Alarme ignorieren, sich riskant verhalten oder falsche Entscheidungen treffen, obwohl sie theoretisch über genügend Informationen verfügen, um richtig zu handeln. Dafür führen wir Experimente im Labor, im Flugsimulator und während tatsächlicher Flüge durch.

In gefährlichen Situationen müssen Piloten schnell, besonnen und rational reagieren und sich auf die nötigen Schritte

konzentrieren. Eine Hirnstruktur, die hierbei eine essenziell wichtige Rolle spielt, ist der präfrontale Kortex (PFC) im Stirnhirn. Er hilft dabei, verschiedene Prioritäten zu berücksichtigen, Entscheidungen zu treffen und diese in die Tat umzusetzen. Unter Stress fallen uns diese Dinge allerdings schwerer, wie verschiedene Untersuchungen zeigen.

Landen um jeden Preis

Zum Stress der Piloten trägt der Druck bei, pünktlich ankommen zu müssen. Manche versuchen (wie etwa der Pilot der polnischen Präsidentenmaschine) zu lan-

den, obwohl die Wetterbedingungen eigentlich zu schlecht sind und es sinnvoll wäre, auf einen anderen Flughafen auszuweichen oder einen so genannten Durchstart auszuführen, bei dem der Landeanflug abgebrochen wird. Auch der Kerosinpreis spielt eine Rolle. Beim Durchstart müssen die Motoren beispielsweise wieder mit voller Kraft laufen, wodurch sehr viel Treibstoff verbraucht wird. Das alles kann Piloten dazu verleiten, um jeden Preis zu landen.

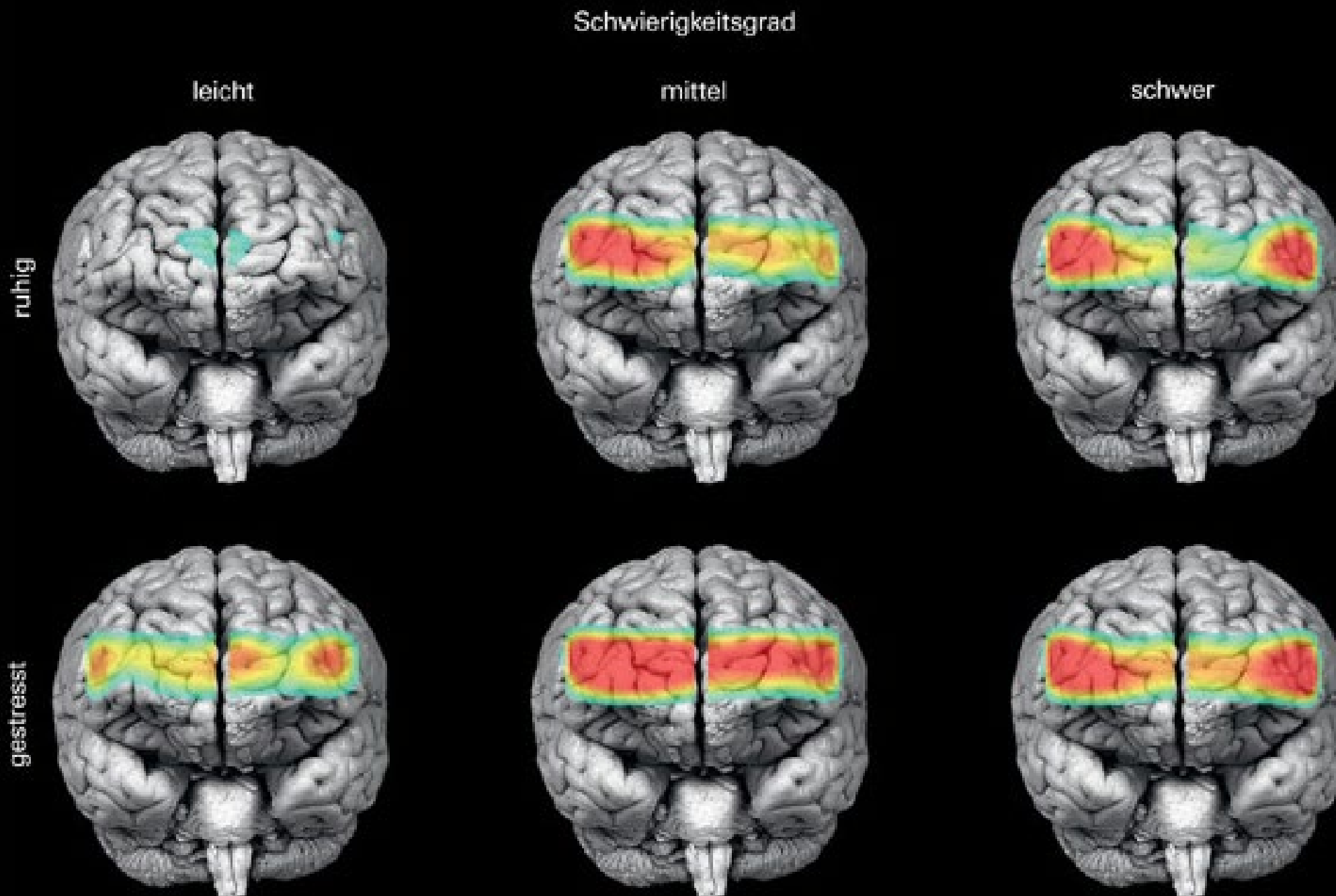
Um besser zu verstehen, welchem Druck Flugkapitäne während eines Flugs ausgesetzt sind, baten wir zunächst 15 junge Probanden in unser Labor und erfassten ihre Hirnaktivität mit Hilfe eines Magnetresonanztomografen. Anhand eines Armaturenbretts im Cockpit mussten die Versuchspersonen entscheiden, ob sie landen konnten oder nicht. In bestimmten Fällen erinnerten wir sie daran, wie viel ein Durchstart kosten würde. Das Ergebnis: Wenn sich der Testpilot während der Landung keine Sorgen um die Ausgaben machen musste, traten präfrontale Hirnregionen in Aktion, die für rationales Denken zuständig sind. Sorgten sie sich jedoch um die Kosten, waren diese Gebiete weniger

aktiv, tiefer liegende Hirnstrukturen dagegen mehr. Zudem scheint die Aktivität des rechten dorsolateralen präfrontalen Kortex eng mit der Qualität einer Entscheidung zusammenzuhängen: Je stärker diese Region aktiv war, desto eher lehnten die Probanden eine gewagte Landung ab.

Piloten nehmen mitunter auch Alarmzeichen im Cockpit schlicht nicht wahr. Als 1993 eine Maschine der Lufthansa vom Typ Dash 8 während der Landung in der Nähe eines Pariser Flughafens abstürzte, hatte der Pilot das Signal »zu dicht am Boden« nicht gehört. Vor dem Absturz einer Boeing 737 im Jahr 2005 bei Athen meldeten Alarmsysteme, der Kabinendruck würde abfallen – der Pilot bemerkte dies aber nicht. Psychologen bezeichnen solche Phänomene als selektive Taubheit. Wie lässt es sich erklären?

Einer Theorie zufolge hat das Sehen beim Menschen Vorrang vor dem Hören. Und tatsächlich belegen mehrere Studien die Übermacht unseres visuellen Systems. Ist es also möglich, dass ein Pilot bei der Landung, während der er ständig auf die Geschwindigkeits-, Höhen- und Flugstreckenanzeigen schaut, einen Alarm schlichtweg nicht hört?

In anspruchsvollen
Situationen überhören
30 Prozent der Probanden
einen Alarm



Stress

Ein Experiment von Wissenschaftlern der Universität in Toulouse weist darauf hin, dass Stress selbst dann die kognitive Verarbeitung stört, wenn keine Leistungseinbußen erkennbar sind. Je schwieriger die Aufgabe war, desto schlechter schnitten die Probanden ab und desto stärker war ihr präfrontaler Kortex aktiv. Kam Stress hinzu, erhöhte sich die Aktivität noch mehr – ohne dass sich die Leistung der Teilnehmer jedoch verschlechterte. Möglicherweise ist der präfrontale Kortex unter Stress stärker aktiv, um Leistungseinbußen zu kompensieren.

Dieser Frage gingen wir in einem Experiment mit Hilfe der Elektroenzephalografie (EEG) nach. Dabei werden Elektroden an der Kopfhaut des Probanden befestigt. Während wir so die elektrischen Impulse des Gehirns maßen, schauten sich die Teilnehmer eine automatische Landung an und sollten sowohl auf Hinweise auf den Monitoren als auch auf akustische Warnungen achten. In einer Bedingung stimmte das, was man sah, mit dem Gehörten überein; in einer anderen waren die Signale hingegen unvereinbar. Während auf dem Bildschirm beispielsweise kein Hinweis auf ein Problem erschien, verlangte ein akustischer Warnton einen Durchstart.

Stimmten die Informationen aus beiden Quellen überein, zeigte das EEG-Signal etwa 90 bis 130 Millisekunden nach der hörbaren Warnung einen starken negativen Ausschlag. Widersprachen sie sich jedoch, war diese so genannte N100-Komponente abgeschwächt. Ähnlich ist es, wenn Sie hinter dem Lenkrad Ihres Autos sitzen und abrupt auf die Bremse treten müssen: In dem Moment hören Sie das Radio oder Ihre Mitfahrer auch nicht mehr. Sie konzentrieren sich auf das, was Sie sehen. Das ist das einzig Relevante, um

einen Aufprall zu verhindern. Ein solches Verhalten mag im Straßenverkehr tatsächlich nützlich sein – im Cockpit ist es lebensgefährlich.

Eine andere Hypothese besagt, dass kritische Situationen vom Piloten bereits so viel Aufmerksamkeit verlangen, dass keine Kapazitäten mehr dafür übrig sind, zusätzliche Informationen wie einen Alarm zu berücksichtigen. Wer gerade hoch konzentriert in eine Sache vertieft ist, hört mitunter auch nicht, dass jemand mit ihm redet.

Unsere Arbeitsgruppe testete diese Hypothese bei 15 Probanden, bei denen die Hirnaktivität mit einem Elektroenzephalogramm erfasst wurde. Sie sahen Monitoranzeigen eines Cockpits und mussten entscheiden, ob eine Landung möglich war oder nicht. Zusätzlich sollten sie mit einem Tastendruck auf ungewöhnlich hohe Töne reagieren. In einer Kontrollbedingung konnten sie ihre volle Konzentration auf die Geräusche richten. Das Ergebnis: Unter erschwerten Bedingungen, wenn sich viele Flugparameter auf dem Display im roten Bereich befanden, überhörten die »Piloten« 30 Prozent der Alarme und unter normalen Bedingungen noch 20 Prozent. In

der Kontrollsituation nahmen sie dagegen nur 3 Prozent der akustischen Warnungen nicht wahr.

Anhand der EEG-Signale war zu erkennen, dass eine Komponente namens P300 in der schwierigen Bedingung deutlich kleiner ausfiel. Die P300 tritt für gewöhnlich etwa 250 bis 500 Millisekunden nach einem ungewöhnlichen Hörreiz auf. Das Gehirn von Piloten, die sich sehr stark konzentrieren müssen, nimmt Geräusche also offenbar tatsächlich nicht mehr wahr. Mittlerweile haben wir ähnliche Experimente sowohl in einem Flugsimulator als auch mit Piloten während echter Flüge durchgeführt. Auch hier zeigte sich: Wer sich zu sehr konzentriert, blendet akustische Signale aus.

Neue Lösungen fürs Cockpit

Da wir die Ursache der häufigsten Fehler inzwischen besser verstehen, testet unsere Arbeitsgruppe momentan diverse Verbesserungsvorschläge. Bei einer ersten Idee haben wir uns von Aufmerksamkeitsmodellen aus der Neuropsychologie inspirieren lassen. Laut Michael Posner von der University of Oregon und Stanislas Dehaene vom Collège de France sind mehrere

So funktioniert Nahinfrarotspektroskopie



ISAE-SUPAÉRO, MIT FRDL. GEN. VON FRÉDÉRIC DEHAIS UND MICKAËL CAUSSE

Die Nahinfrarotspektroskopie ist ein Verfahren, das Veränderungen im Sauerstoffgehalt des Bluts misst, um daraus die neuronale Aktivität verschiedener Hirnregionen abzuschätzen. Der Apparat besteht aus Lichtquellen sowie Fotorezeptoren und sendet zwei unterschiedliche Signale im Nahinfrarotspektrum aus. Je nachdem, wie stark das Hirngewebe durchblutet ist, werden die Strahlen anders reflektiert. So lässt sich anhand des zurückgeworfenen Lichts die Aktivität der Nervenzellen ableiten.

Die Technik ist kostengünstig und unkompliziert anzuwenden, da das Gerät einfach an der Stirn getragen werden kann. Verglichen mit der Elektroenzephalografie (EEG) erlaubt sie einen tieferen Blick ins Gehirn, und die Probanden können sich während der Messung bewegen, ohne dass das Signal dadurch gestört wird. Daher eignet sich die Technik gut, um die neuronale Aktivität von Piloten zu erfassen.

neuronale Netzwerke für die verschiedenen Aufmerksamkeitsprozesse entscheidend. Soll die Aufmerksamkeit auf eine neue Sache gelenkt werden, ist das so genannte Orientierungsnetzwerk gefragt, bei dem vor allem frontale und parietale Areale beteiligt sind. Menschen mit Schäden in diesen Hirnregionen haben besondere Probleme damit, ihre Aufmerksamkeit auf einen visuellen Reiz zu richten.

Das Orientierungsnetzwerk arbeitet in drei Schritten: Erst lenkt es Aufmerksamkeit von einem Reiz ab, um sie dann auf etwas Neues zu richten und schließlich dort fest zu verankern. Experimente unserer Arbeitseinheit in einem Flugsimulator deuten darauf hin, dass Flugkapitäne auf Signale deswegen nicht reagieren, weil es ihnen nicht möglich ist, sich auf etwas Neues zu konzentrieren, wenn ihre Aufmerksamkeit erst einmal beansprucht ist.

Flugzeughersteller neigen dazu, immer mehr Warnsysteme in Cockpits einzubauen oder die Alarmsignale noch auffällender zu machen. Das klingt vernünftig, aber es funktioniert nicht. Denn auf diese Weise kann die Aufmerksamkeit des Piloten nicht von anderen Objekten oder Reizen gelöst werden.

Stattdessen versuchen wir die Information, die der Flugkapitän im Blick hat, kurzzeitig auszublenden und durch einen Alarm zu ersetzen, um so seine Aufmerksamkeit zu erhaschen. Mehrere Untersuchungen stützen diese Strategie. So sollten Versuchspersonen in einem unserer Experimente anhand von Kamerabildern von einer Drohne eine vorgegebene Zielscheibe identifizieren. Die Probanden waren dabei so sehr in ihre Aufgabe vertieft, dass sie eine Batteriestörung nicht bemerkten – trotz drei optischer Warnungen. Schalten wir die Aufnahmen jedoch für eine Sekunde ab und zeigten den Teilnehmern auf dem Bildschirm stattdessen ein leeres Batteriezeichen, fiel ihnen das Problem sofort auf.

Eine zweite Lösung, die wir in unserem Labor entwickeln, zielt darauf ab, die Reaktionszeit des Piloten auf eine unmittelbare Bedrohung zu verkürzen. Der Hintergrund: So genannte Spiegelneurone im Gehirn werden nicht nur aktiv, wenn wir eine Handlung ausführen, sondern auch, wenn wir an sie denken oder sie bei jemandem beobachten. Bei Flugzeugen, die während eines kontrollierten Flugs abstürzten, hatte die Besatzung in der Regel nur wenige

Sekunden Zeit, um den Crash zu verhindern. Meist ist die Lösung simpel: Der Pilot muss den Steuerknüppel vollständig nach hinten ziehen, also »Vollgas« geben, um an Höhe zu gewinnen. In ersten Experimenten unserer Arbeitsgruppe sahen Probanden auf einem zusätzlichen Bildschirm die Darstellung einer Hand, die an einem Steuerknüppel zieht. Dadurch sollen die Nervenzellen, die den Befehl für die Handlung geben, automatisch aktiviert werden. So eine Warnung verringerte die Reaktionszeit um rund 60 Prozent.

Sensoren, die den mentalen Zustand des Piloten überwachen

Noch sicherer könnte das Fliegen werden, wenn diese Art der Vorkehrungen mit Systemen gekoppelt werden, die den kognitiven Zustand des Piloten erfassen, beispielsweise messen, ob er übermüdet oder angespannt ist. Der Pilot trägt dafür eine Haube mit Elektroden auf dem Kopf, die etwa »selektive Taubheit« erkennen können und dann statt eines auditiven einen visuellen Alarm auslösen. Momentan testen wir solche Systeme in unserem Flugsimulator sowie bei tatsächlichen Flügen mit kleineren Maschinen an unserem Institut.

Um solche Technologien flächendeckend im Cockpit anwenden und vermarkten zu können, bedarf es allerdings noch einiger Verbesserungen. Auch andere Messsensoren könnten sich als nützlich erweisen, um das Verhalten des Kapitäns während eines Flugs zu erfassen. Infrarotkameras könnten registrieren, wohin er schaut, und dadurch feststellen, wann er nicht mehr auf die entscheidenden Anzeigen achtet. Ebenso lassen erste Ergebnisse unserer Arbeitsgruppe vermuten, dass sich auch per Eyetracking, das die Blickbewegungen aufzeichnet, vorhersagen lässt, ob ein Flugkapitän auditive Alarme hört. Wenn er zum Beispiel lange auf eine kritische Anzeige starrt, wird er Warnsignale weniger gut hören, weil sein Gehirn die visuellen den akustischen Reizen vorzieht.

Letztendlich kann man auch erfassen, wie konzentriert der Pilot gerade ist. Denn zu hohe Konzentration kann gefährlich sein. Hierfür haben wir eine Gehirn-Computer-Schnittstelle entwickelt, die auf Nahinfrarotspektroskopie basiert. Der Pilot trägt dabei an der Stirn einen Sensor, welcher die neuronale Aktivität registriert. Wir testeten das System, indem wir Versuchspersonen in verschiedene Flugsituationen

brachten. Zunächst trainierten wir das System darauf, starke und schwache Hirnaktivität durch eine Schätzung der präfrontalen Durchblutung zu erkennen. Anschließend gelang es in mehr als 80 Prozent der Fälle korrekt zu identifizieren, ob die Piloten eine leichte oder schwierige Aufgabe bearbeitet hatten.

Doch bevor man solche Hilfsmittel in Flugzeugen installieren kann, müssen noch einige technische Hindernisse überwunden werden. Die elektromagnetische Strahlung des Radios an Bord verzerrt beispielsweise das EEG-Signal, und das Eyetracking-System wird von Tageslicht gestört. Sobald dafür eine Lösung gefunden ist, wird der Pilot der Zukunft wahrscheinlich mit solch intelligenten Systemen ausgerüstet sein. Sie könnten berechnen, wann eine riskante Entscheidung droht – und frühzeitig intervenieren. ↩

(Gehirn&Geist, 11/2017)

Causse, M. et al.: Affective Decision Making under Uncertainty during a Plausible Aviation Task: An fMRI Study. In: *NeuroImage* 71, S. 19–29, 2013

Dehais, F. et al.: EEG-Engagement Index and Auditory Alarm Misperception: An Inattentional Deafness Study in Actual Flight Condition. In: *Advances in Neuroergonomics and*

Cognitive Engineering, Proceedings of the AHFE 2017 International Conference on Neuroergonomics and Cognitive Engineering, July 17–21, 2017, The Westin Bonaventure Hotel, Los Angeles, California, USA. Springer, Cham 2018, S. 227–234

Gateau, T. et al.: Real-Time State Estimation in a Flight Simulator Using fNIRS. In: *PloS One* 10, e0121279, 2015

Giraudet, L. et al.: P300 Event-Related Potential as an Indicator of Inattentional Deafness? In: *PLoS One* 10, e0118556, 2015



LOGISTIK

Boarden große Gruppen Flugzeuge schneller als kleine?

von Lars Fischer

Wenn Passagiere ein Flugzeug besteigen, ist Gedränge meist unvermeidlich: Fluggäste und Gepäck blockieren den engen Mittelgang, während dahinter Dutzende Leute in der Schlange darauf warten, zu ihren reservierten Plätzen zu gelangen. Um diese Prozedur zu beschleunigen, teilen Fluggesellschaften die Passagiere gerne in Gruppen auf, die den Flieger nacheinander betreten. Das aber könnte die falsche Strategie sein, behaupten jetzt die norwegischen Physiker Vidar Frette und Per Hemmer – sie zeigen anhand statistischer Überlegungen, dass es aus mathematischer Sicht sehr wohl sinnvoll ist, alle Passagiere gleichzeitig ins Flugzeug stürmen zu lassen.

Die Forscher betrachten in ihrer Veröffentlichung den Fall eines idealen Flugzeugs mit genau einem Sitz pro Reihe. In dem verwendeten Modell braucht ein Passagier eine Zeiteinheit, um sich zu setzen. In dieser Zeit staut sich hinter ihm die Schlange der anderen Passagiere. Die Einsteigeprozedur geht am schnellsten, wenn die Passagiere beim Einsteigen in der Reihenfolge angeordnet sind, in der sie auch

sitzen. Für alle denkbaren Anordnungen gilt deshalb, dass das Einsteigen umso schneller geht, je mehr Passagiere beim Einsteigen in der richtigen Reihenfolge sortiert sind – sie nämlich müssen sich nicht mehr zeitraubend umsortieren und setzen sich alle innerhalb eines einzelnen Zeitschrittes hin.

Die Autoren demonstrieren, dass in diesem Modell wider Erwarten kleinere Gruppen einen Nachteil haben – mit steigender Gruppengröße wächst der Anteil der ideal aufgestellten Passagiere in der Gruppe überproportional. Demnach brauchen zwei kleine Gruppen im Mittel länger, ihre Plätze einzunehmen, als eine einzelne doppelt so große Gruppe. Die Forscher verweisen auf Studien, nach denen die Gruppenstrategie in der Realität tatsächlich keinen Effizienzgewinn bringt – ob ihr Modell allerdings auch für reale Passagiere und Flugzeuge mit mehr als einem Sitz pro Reihe gilt, bleibt vorerst offen. ↩

(Spektrum.de, 01.02.2012)

Physical Review E 85, 011130, 2012

SPEKTRUM KOMPAKT APP



Lesen Sie Spektrum KOMPAKT optimiert für Smartphone und Tablet in unserer neuen App! Die ausgewählten Ausgaben erwerben Sie direkt im App Store oder Play Store.





ERNÄHRUNG

WARUM ESSEN IM FLUGZEUG HÄUFIG **UNGENIESSBAR** IST

von Lydwin van Rooyen / NEMO Kennislink

Die Verpflegung in Flugzeugen ist berüchtigt: Die Speisen schmecken oft trocken und fade. Wieso? Und lässt sich das ändern? Zwei Fluggesellschaften wollen es wissen.

GROVEB / GETTY IMAGES / ISTOCK

Eine Flugreise mag man angenehm finden oder auch nicht, aber in einem sind sich praktisch alle einig: Das Essen an Bord ist oft ungenießbar. Natürlich lässt sich das teils durch den langen Weg zu erklären, den die Mahlzeit zwischen Küche und Ausklapptischchen zurücklegen muss. Sie kühlt erst ab, dann wird sie im Flugzeug wieder aufgewärmt; allein das genügt, um als schlaffes Gemüse und verkochte Kartoffeln zu enden. Aber es steckt mehr dahinter: Über den Wolken schmeckt das Essen anders. Es scheint, als wäre der Geschmackssinn verkümmert, was man am deutlichsten daran sieht, dass viele Menschen in der Luft plötzlich Lust auf Tomatensaft bekommen.

Mit den faden Speisen soll endlich Schluss sein, fanden die Fluggesellschaften Lufthansa und Singapore Airlines sowie der Nahrungsproduzent Unilever. Unabhängig voneinander setzten sie Wissenschaftler darauf an, das Bordproblem zu lö-

Lydwin van Rooyen hat einen Master in Physik von der Universität Amsterdam und veröffentlichte diesen Beitrag auf dem niederländischen Wissenschaftsportal NEMO Kennislink.

sen, warben Freiwillige für ausgiebige Geschmackstests an – und identifizierten gleich mehrere Ursachen des Phänomens.

Was passiert mit unseren Sinnen, wenn wir im Flieger sitzen? Um das zu beantworten, müssen wir uns zuerst den Bedingungen in der Atmosphäre in 10 000 Meter Höhe widmen, denn dort bewegt sich ein Flugzeug meist auf längeren Strecken. Etwa einen Kilometer über dem Gipfel des Mount Everest ist die Luft nicht zu vergleichen mit dem, was wir hier zu Lande gewohnt sind. Es ist eiskalt, und der Luftdruck ist sehr niedrig, weshalb wir nicht genug Sauerstoff zum Atmen haben. Darum wird der Druck in der Kabine künstlich hoch gehalten und sinkt nicht unter jene Druckverhältnisse, die auf einer Skipiste in 2450 Meter Höhe in den Alpen herrschen.

Überirdische Umstände

Die Temperatur wird auf behagliche Zimmertemperatur gebracht, aber das bringt einen Nachteil mit sich: Wenn nämlich frische, eiskalte Luft von außen eingeführt wird, sinkt die Luftfeuchtigkeit beim Aufwärmen enorm, oft bis auf maximal zehn Prozent. Wegen der niedrigen Luftfeuchtigkeit ist es wichtig, viel zu trinken. Koh-

lensäurehaltige oder alkoholische Getränke sind dafür nicht geeignet. Aber selbst wenn man genug trinkt, kann die Trockenheit noch unangenehm sein. Haut und Nasenschleimhaut trocknen aus, mit Folgen: Wenn man nun etwas isst oder trinkt, dauert es länger, bis die Geruchs- und Geschmacksrezeptoren darauf ansprechen. Wie bei einer starken Erkältung kommen Gerüche und Geschmäcker also schwächer an. Deshalb schmeckt das Essen so fad.

Die erschwerenden Umstände wollte die Deutsche Lufthansa nicht als Grund für schlechtes Essen gelten lassen. In einem Labor des Fraunhofer Instituts für Bauphysik lud die Fluggesellschaft darum ein kleines Heer an Freiwilligen zu Kostproben in ein nachgebautes Flugzeug ein. Die Versuchspersonen bekamen die ganze Bandbreite von Speis und Trank aufgetafelt.

Das Ergebnis: Süßes und Salziges schmeckte um 30 Prozent weniger intensiv als unter normalen Bedingungen. Saure, würzige und bittere Geschmacksstoffe hingegen hinterließen einen unveränderten Eindruck. Und ein eigentlich schwerer Wein wiederum erschien plötzlich frisch und spritzig. Die deutsche Fluggesellschaft beschloss, den Testergebnissen gemäß ein paar



TESTESSEN IM NACHGEBAUTEN FLIEGER
Die Deutsche Lufthansa simuliert in einem Labor des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik die Druckverhältnisse in Flugzeugen.

Veränderungen an der Bordverpflegung vorzunehmen. Brote enthalten deshalb heute mehr Salz, weiße Saucen mehr Kräuter.

Lärm dämpft den Geschmack

Das niederländisch-britische Unternehmen Unilever verfolgte einen anderen Ansatz: Gemeinsam mit der University of Manchester untersuchte der Nahrungsmittelhersteller, wie Hintergrundgeräusche das Geschmacksempfinden beeinflussen. Tatsächlich entdeckten sie einen Zusammenhang: Je mehr sich jemand

während des Essens von Geräuschen belästigt fühlte, desto schlechter urteilte er über den Geschmack. Erneut waren davon lediglich süße und salzige Speisen betroffen – jene Geschmackseindrücke also, die auch unter der Höhe gelitten hatten.

Manche Fluggesellschaften versorgen ihre Passagiere in der ersten Klasse deshalb schon seit einiger Zeit mit Kopfhörern, die Umgebungsgeräusche filtern. Das scheint einfacher zu sein, als für Ruhe zu sorgen. Geräusche beeinträchtigen den Geschmack übrigens nur dann, wenn sich jemand da-

von gestört fühlt. Handelt es sich um laute Musik, die aber den eigenen Vorlieben entspricht, stört sie den kulinarischen Genuss nicht. Auch das Stimmengewirr in einem belebten Restaurant empfinden die Gäste meist nicht als unangenehm.

Eine Mahlzeit zuzubereiten, die im Flugzeug schmeckt, stellt Köche also gleich vor mehrere Probleme. Auch die Singapore Airlines gehen deshalb neue Wege. In ihrem Hauptquartier haben sie eine Kammer eingerichtet, in der sie Druck und Feuchtigkeit der Luft im Flugzeug simulieren können.

Küchenpersonal und Weinkenner verkosten dort neue Rezepte und Weine, bevor diese an Bord serviert werden. Unter der Leitung des deutschen Chefkochs Hermann Freidanck entwirft die Airline alle vier Monate ein neues Menü. Eine Gruppe von neun Chefköchen, darunter der britische Küchenvirtuose Gordon Ramsay, überlegt sich, was die oberen Klassen aufgetischt bekommen. Vorab werden die Mahlzeiten in der speziellen Druckkabine getestet.

Die größte Herausforderung steht dann noch bevor: das Aufwärmen an Bord. Denn die Sternegerichte kommen nicht einfach in die Mikrowelle. Jeder Gang wird gesondert behandelt, um dabei die nötige Wassermenge überwachen zu können. Das ist wichtig für den Geschmack, denn beim Erhitzen werden manche Teile des Mahls pappig, während andere austrocknen. Für die Passagiere in der Economy Class wird weniger Aufwand betrieben: Zwischen die feuchteren und die trockeneren Bestandteile platzieren die Köche zum Beispiel eine Lage Gemüse.

Die Sache mit dem Tomatensaft

Fades Flugzeugfutter muss demnach nicht sein. Mit etwas mehr Salz und Zucker sowie



TOMATENSAFT

Wieso trinken auffällig viele Menschen im Flugzeug Tomatensaft? Vermutlich weil er sich würzen lässt und so einige Probleme des Essens im Flugzeug umgeht. Und weil es der Sitznachbar auch tut.

BHOFACK2 / GETTY IMAGES / ISTOCK

einem Hightech-Kopfhörer schmeckt es in der Luft ebenso gut wie am Boden. Eine zunehmende Zahl von Fluggesellschaften bietet denn auch gutes Essen an, wenn auch nur den Passagieren der ersten Klasse. Bleibt noch eine Frage offen: Warum bestellen Menschen im Flieger auffällig oft Tomatensaft? Die naturwissenschaftliche Antwort lautet: Das liegt daran, dass dessen herzhaftes Aroma besser erhalten bleibt als süßes, und noch dazu kann man kein anderes Getränk so einfach mit Salz und Pfeffer aufpeppen. Aber eine mindestens ebenso gute Erklärung ist rein psychologischer Natur: Zu Hause trinkt man meist keinen Tomatensaft, und im Übrigen bestellen die anderen Passagiere auch welchen! Geschmack ist eben vor allem Kopfsache.

Die Physikerin Lydwin van Rooyen veröffentlichte diesen Text im Original unter dem Titel »De wetenschap van de vliegtuighap« beim niederländischen Onlinemagazin »Nemo Kennislink«.



(Spektrum – Die Woche, 01/2018)

GESUND ESSEN

Ein medizinischer Blick auf den Teller

Herzkrankheiten | Helfen Vitaminpillen und Co?

Clean Eating | Ernährungstipps mit Fragezeichen

Orthorexie | Am Rand zur Essstörung

HIER DOWNLOADEN

FÜR NUR
€ 4,99



SOZIALPSYCHOLOGIE

Die erste Klasse bringt **Flugreisende auf die Palme**

von Daniela Zeibig



Sorgen Klassenunterschiede für dicke Luft im Flieger? Eine Studie zeigt zumindest: Gibt es neben der Economy auch eine First Class, rasten Passagiere an Bord häufiger aus.

Immer wieder berichten Medien von Vorfällen auf Linienflügen, bei denen sich einzelne Passagiere derart heftig mit der Crew oder anderen Mitreisenden anlegen, dass im schlimmsten Fall sogar die Flugsicherheit gefährdet ist. Herkömmliche Erklärungsansätze für einen solchen »Flugkoller« reichen meist von engen Kabinen über frustrierende Verspätungen bis hin zu lauten Maschinengeräuschen. Wie eine Untersuchung von Katherine DeCelles von der University of Toronto und Michael Norton von der Harvard Business School nun zeigt, scheint aber auch die erste Klasse im Zusammenhang mit Unruhen im Flugzeug zu stehen: Auf Flügen, bei denen es neben der Economy-Class auch eine First Class gibt, kommt es häufiger zu Rangeleien und Wutausbrüchen – und zwar bei allen Passagieren!

Die Wissenschaftler analysierten alle Fälle von Flugkoller, die eine große inter-

ationale Airline im Lauf der vergangenen Jahre in ihrer Datenbank verzeichnet hatte. Insgesamt sichteten sie dabei Informationen zu mehr als einer Million Flüge. Mit einer separaten ersten Klasse kam es insgesamt viermal so häufig zu Ausschreitungen bei Passagieren der Economy-Class – das entspricht etwa dem Effekt, den auch eine rund 9,5-stündige Verspätung auf die Moral im Flieger hat. Wurden diese Reisenden beim Boarding auch noch demonstrativ an der ersten Klasse und den Passagieren, die dort bereits Platz genommen hatten, vorbeigeführt (alternativ könnte man sie auch hinten oder in der Mitte einsteigen lassen), verdoppelte das die Streitwahrscheinlichkeit für sich genommen ebenfalls. Und auch den Erste-Klasse-Reisenden tat dieses Prozedere offenbar nicht gut: Bei ihnen kam es sogar elfmal so häufig zum Flugkoller, wenn man ihnen zuvor noch einmal vor Augen geführt hatte, dass

am anderen Ende des Fliegers auch Passagiere mit schlechterem Service und weniger Beinfreiheit reisten. Den Einfluss von anderen Faktoren auf das Sozialverhalten der Passagiere, wie etwa Fluglänge, Verspätung, Lärm, Passagierzahl oder Sitzkomfort, rechneten die Forscher entsprechend heraus.

Für DeCelles und Norton sind die Ergebnisse ein Hinweis darauf, dass sich auch vorübergehende Ungleichheiten negativ auf unser Sozialverhalten auswirken können – egal, ob wir sie nur physisch zu spüren oder in einer speziellen Situation vorgeführt bekommen. Sie plädieren daher dafür, die Schere zwischen erster und zweiter Klasse nicht zu groß werden zu lassen – im Flieger wie im übrigen Leben. ↩

(Spektrum.de, 02.05.2016)



STRAHLUNGSWOLKEN
IN DER ATMOSPHÄRE

Deutlich mehr **Strahlenbelastung** in Flugzeugen

von Lars Fischer

Strahlungswolken in der Stratosphäre bombardieren Flugpassagiere mit mehr ionisierender Strahlung als bisher vermutet.

Flugreisende sind vermutlich bei manchen Flügen deutlich höheren Strahlungsdosen ausgesetzt als bisher gedacht. Zu diesem Ergebnis kommt ein von der US-Raumfahrtbehörde NASA finanziertes Messprogramm in Verkehrsflugzeugen, das die tatsächliche Belastung durch kosmische Strahlung bestimmen sollte. Bereits 2016 veröffentlichte die Arbeitsgruppe fünf Beispiele von verschiedenen Flügen, auf denen ein solches Phänomen auftrat. Bekannt ist, dass wir bei Flügen einer deutlich höheren Strahlendosis ausgesetzt sind als am Boden – je höher und je näher an den Polen, desto mehr. Wie das sogenannte ARMAS-Programm (Automated Radiation Measurements for Aerospace Safety) zeigen konnte, schwankt die Strahlendosis auf Flügen jedoch stark. Regelrechte Strahlungsausbrüche lassen die Dosis, der man ausgesetzt ist, auf das Doppelte steigen, so der Studienleiter W. Kent Tobiska vom Unternehmen Space Environment Technologies.

Seine Gruppe interpretiert die Messdaten dahingehend, dass veritable »Wolken« aus hochenergetischen Teilchen durch die Stratosphäre treiben – allerdings sucht sie

bisher noch nach möglichen alternativen Erklärungen. Doch die Strahlungslawinen scheinen mit geomagnetischen Stürmen zusammenzuhängen, so der Wissenschaftler. Es sei deswegen naheliegend, dass solche Stürme unter bestimmten Umständen Teilchen aus den Van-Allen-Gürteln befreien – andere Strahlungsquellen wie der Sonnenwind könnten die höhere Belastung nicht erklären.

Obwohl das Risiko für Krebs und Erbgutschäden während eines einzelnen Flugs durch die neu entdeckten Wolken nur minimal steigt, ist der Effekt für regelmäßige Fluggäste, Pilotinnen und Piloten sowie das Bordpersonal wohl nicht unerheblich. Der Forscher geht deshalb davon aus, dass die Wolken in Zukunft mit bodengestützten Messmethoden aufgespürt werden und Flugzeuge sie gezielt vermeiden. ↩

(Spektrum.de, 07.02.2017)

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT

THEMEN AUF DEN PUNKT GEBRACHT



UND ÜBER 200 WEITERE AUSGABEN

ZUR ÜBERSICHT

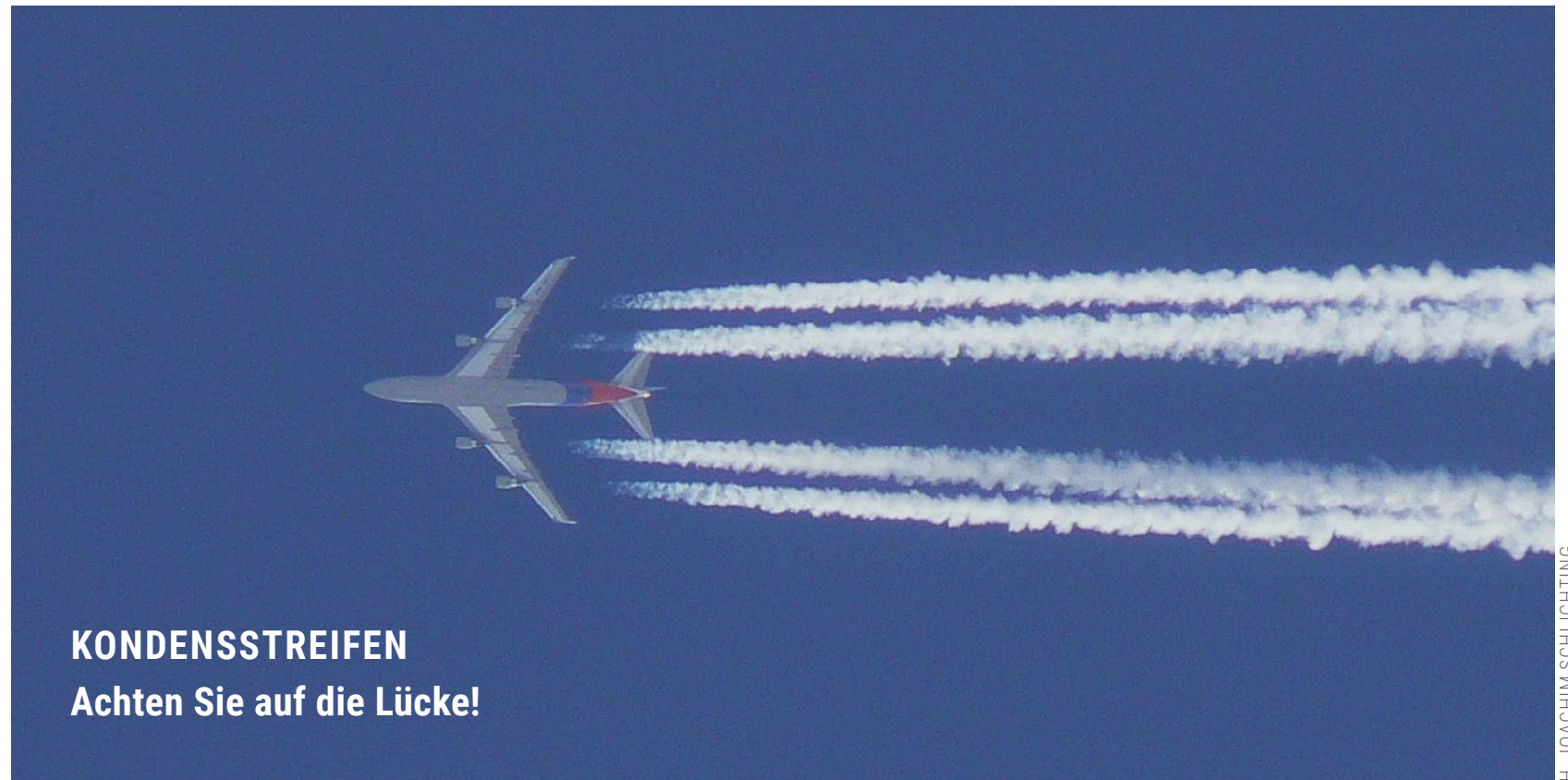
EMISSIONEN

Fährtenuche am Himmel

von H. Joachim Schlichting

Von Kondensstreifen, Nebelfäden und Wirbelschleppen:
warum nicht nur heiße Abgase kalte Spuren hinterlassen.

Manchmal überziehen sie den Himmel kreuz und quer: weithin sichtbare Kondensstreifen, die noch mehr oder weniger lange, nachdem hochfliegende Jets über unsere Köpfe hinweggezogen sind, von deren Routen zeugen. Doch was genau ist da eigentlich zu sehen? Der Blick auf das Foto oben offenbart eine physikalisch aufschlussreiche Auffälligkeit – die Lücken zwischen Triebwerk und Kondensstreifen. Was geschieht mit den heißen Verbrennungsgasen, dass sie kurz nach dem Verlassen der Düsen aus der Unsichtbarkeit heraustreten und sich als meist schneeweiße Streifen zu erkennen geben? Sie enthalten Wasserdampf, der nun ganz plötzlich Temperaturen von minus 40 bis minus 50 Grad Celsius ausgesetzt ist. Ist die Luft nur feucht genug, kondensiert der Wasserdampf an den Rußteilchen zu Tröpfchen beziehungsweise resublimiert zu Eiskristallen, an denen sich weitere Wasserteilchen anlagern. Dadurch werden die Kristalle so groß, dass sie das Licht unabhängig von dessen Wellenlänge streuen und als weiße Nebelspuren sichtbar werden – nach einer sehr kur-



KONDENSSTREIFEN
Achten Sie auf die Lücke!

H. JOACHIM SCHLICHTING



STRÖMUNGSFÄDEN
Zopfartig aufgewickelte Strömungsfäden
beim Start

H. JOACHIM SCHLICHTING

zen, aber doch endlich langen Zeit nach dem Austritt aus den Düsen.

Den Fluggästen selbst bleibt dieses Phänomen beim Blick aus dem Fenster zwar verborgen. Was jedoch, wenn ein aufmerksamer Passagier etwas ganz Ähnliches plötzlich an den Enden einer Tragfläche bemerkt? Mit Verbrennungsgasen können diese Nebelfäden nichts zu tun haben, und eigentlich auch nichts mit der Umgebungstemperatur, denn die hellen Spuren zeigen sich nur kurz nach dem Start oder vor der Landung. Dann fährt der Jet die Landeklappen aus den Tragflächen (die korrekter als »Auftriebshilfen« bezeichnet werden), wodurch sich deren Anstellwinkel vergrößert und damit die aerodynamische Auftriebskraft auf eine größere Fläche wirkt. So gelingt das Abheben auch bei niedrigeren Geschwindigkeiten, weil nun ein enormer Druckunterschied zwischen Ober- und Unterseite der Tragflächen entsteht.

Dieser wiederum führt an ihren Seiten zu Ausgleichsströmungen von unten nach oben. Weil gleichzeitig die Luft von vorn nach hinten strömt, kommt es zu einer zopfartigen Aufwicklung der Strömungsfäden. Und weil der Druck in der Luftströmung stark abnimmt, sinkt die Tempera-

STRÖMUNGSFÄDEN

Zopfartig aufgewickelte Strömungsfäden beim Start



H. JOACHIM SCHLICHTING

tur schlagartig, nicht anders als nahe dem gerade geöffneten Ventil eines Autoreifens. Denn für eine mit Druckabnahme verbundene Ausdehnung benötigt die Luft Energie, die sie aus dem Reservoir ihrer inneren Energie abzapft, weil sie schlicht nicht »warten« kann, bis durch Wärmeleitung genug davon aus der Umgebung herangeschafft wird. Auch hier wird nun infolge

des Temperatursturzes der Taupunkt unterschritten, und es kommt – bei ausreichender Luftfeuchte – zur Nebelbildung. Von normalen Kondensstreifen unterscheiden sich die Wirbelschleppen auch noch durch einen interessanten Nebeneffekt: Sie treten immer paarweise mit gegenläufigem Drehsinn auf, so dass sich ihr Gesamtdrehimpuls zu null summiert. Ne-

belfäden über den Tragflächen lassen sich bei genügender Luftfeuchte aber auch auf voller Reiseflughöhe beobachten. Sie verdanken sich ebenfalls starkem Druckabfall und führen bei den ohnehin schon sehr tiefen Temperaturen, die Kondensation überspringend, zur Resublimation des Wasserdampfs zu feinen Eiskristallen.

Kondensstreifen können die Flugpassagiere übrigens doch selbst beobachten, zumindest indirekt: Beim Blick von einem guten Fensterplatz nach draußen tauchen sie mit ein wenig Glück als Schatten auf dem Land, dem Meer oder sogar auf den Wolken auf. Aber dazu später, denn hier sind wieder ganz andere physikalische Phänomene im Spiel. ↩

(Spektrum der Wissenschaft, April 2010)

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT

ELEKTRO- MOBILITÄT

Mit Strom von A nach B

Ökobilanz | Ein kritischer Blick
Ressourcen | Reichen die Rohstoffe?
Güterverkehr | Elektroantrieb für Lkw

FÜR NUR
€ 4,99

HIER DOWNLOADEN

SCHLIERENFOTOGRAFIE

Hinter der **Schallmauer**

von Daniel Lingenhöhl

Es knallt, wenn ein Flugzeug die Schallmauer durchbricht:
Wie die Atmosphäre dahinter reagiert, haben Wissenschaftler
mit der Schlierenfotografie sichtbar gemacht.



Was passiert mit der Atmosphäre, wenn Jets mit Überschallgeschwindigkeit über den Himmel rasen?

Das hat ein NASA-Team nun mit der modernen Version einer alten Fotografiertechnik sichtbar gemacht: mit der Schlierenfotografie, die der deutsche Chemiker und Physiker August Toepler 1864 erfunden hat. Mit ihr kann man Schwankungen in der optischen Dichte von Gasen und Flüssigkeiten sichtbar machen – und damit auch Stoßwellen im Umfeld der Flugzeuge ablichten. Wenn diese Jets schneller als 1236 Kilometer pro Stunde fliegen, pressen sie die Luft vor sich extrem zusammen: Es entstehen die Stoßwellen, in denen sich der Luftdruck, die Temperatur und Dichte deutlich von der umgebenden Atmosphäre unterscheiden. Gleichzeitig verändert sich dadurch auch die Lichtbrechung, was am Boden stationierte Kameras mit der entsprechenden Ausrüstung ablichten können. Die Stoßwellen wirken dabei dunkler als ihr »normales« Umfeld. Die Violettfräbung der Sonne entsteht durch einen speziellen optischen Filter; auf der Oberfläche des Sterns sind auch mehrere Sonnenflecken erkennbar. ↩

(Spektrum – Die Woche, 40/2015)

ATMOSPHERE

Schutzhülle unserer Erde

Wolken | Vom lokalen zum globalen Bild
Rayleigh-Streuung | Warum ist der Himmel blau?
Klimazonen | Die Tropen machen sich breit

HIER DOWNLOADEN

FÜR NUR
€ 4,99

Spektrum
der Wissenschaft
DIE WOCHE

NR

12

21.03.
2019

- > Mysteriöser Stern meldet sich nach zehn Jahren wieder
- > Schlange mit Reißzahn entdeckt
- > Haben auch Menschen einen Magnetsinn?

TITELTHEMA: MEERWASSERENTSALZUNG

Trinkwasser mit schmutzigem Geheimnis

Wenn man Salzwasser in Trinkwasser verwandelt, bleiben Milliarden Tonnen konzentrierte Lauge zurück – sie enthält neben Salz auch problematische Chemikalien. Was tun?



NATURKATASTROPHEN

Trifft der nächste Tsunami China?



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Wie viel verrät ein Gesicht wirklich?



MATHE-»NOBELPREIS«

Abelpreis für Karen Uhlenbeck

Mit ausgewählten Inhalten aus **nature**

Im Abo nur
0,92 €
pro Ausgabe

Jetzt bestellen!
**Das wöchentliche
Wissenschaftsmagazin**
als Kombipaket im Abo:
Als App und PDF

HIER ABONNIEREN!



Jeden Donnerstag neu! Mit News, Hintergründen, Kommentaren und Bildern aus der Forschung sowie exklusiven Artikeln aus »nature« in deutscher Übersetzung. Im Abonnement nur 0,92 € pro Ausgabe (monatlich kündbar), für Schüler, Studenten und Abonnenten unserer Magazine sogar nur 0,69 €.