

Zeitschrift: Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin
Herausgeber: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung
Band: - (2001)
Heft: 50

Artikel: Die Farbe informiert
Autor: Bühner, Michel
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-967554>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Farbe

informiert

TEXT UND FOTOS MICHEL BÜHRER

Wie man weiss, wird in einem Düsentriebwerk Luft verdrängt. Weniger bekannt ist, wie dies genau geschieht. Denn der auf die Flügel des Triebwerks wirkende Druck ist nur sehr schwer zu messen. An der ETH Lausanne versucht eine Forschergruppe, mittels einer Farbe, mit der man den Luftdruck «ablesen» kann, mehr zu erfahren.

«Erfunden haben wir nichts», warnte uns Professor Albin Bölcs, Direktor des Labors für angewandte Thermik und Turbotriebwerke (LTT) an der ETH Lausanne, bereits vorab. «Wir haben ein bekanntes Produkt verwendet, nämlich druckempfindliche Farbe, haben diese Technik für den Bereich Turbotriebwerke angepasst und eine Software zur Datenauswertung entwickelt.» «Wir», das ist ausser dem Professor selbst hauptsächlich der Maschineningenieur Patrick Steiner, dessen Doktorarbeit zu diesem Thema Bölcs betreut.

Diese druckempfindliche Farbe (Pressure Sensitive Paint, PSP) ist bereits seit den 80er Jahren in der Sowjetunion bekannt. Sie wurde ursprünglich entwickelt, um Flugzeuge für Radar unsichtbar zu machen. Bald schon wurden ihre Eigenschaften in der Luftfahrt genutzt, um Luftströmungen zu untersuchen. Seit 1990, nach dem Zerfall der UdSSR, gehört sie zu den zahlreichen Erfindungen und Technologien, die in Westeuropa vertrieben werden. Ihr Hersteller, das Labor TsAGI in Moskau, arbeitet beim Vertrieb mit dem italienischen Unternehmen Inteco zusammen. In den USA werden seit 1989 ähnliche Forschungen betrieben. Die Arbeiten der ETHL wurden in Zusammen-

arbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Göttingen durchgeführt, lange Zeit allerdings mit der russischen Technologie.

Farbiger Druck

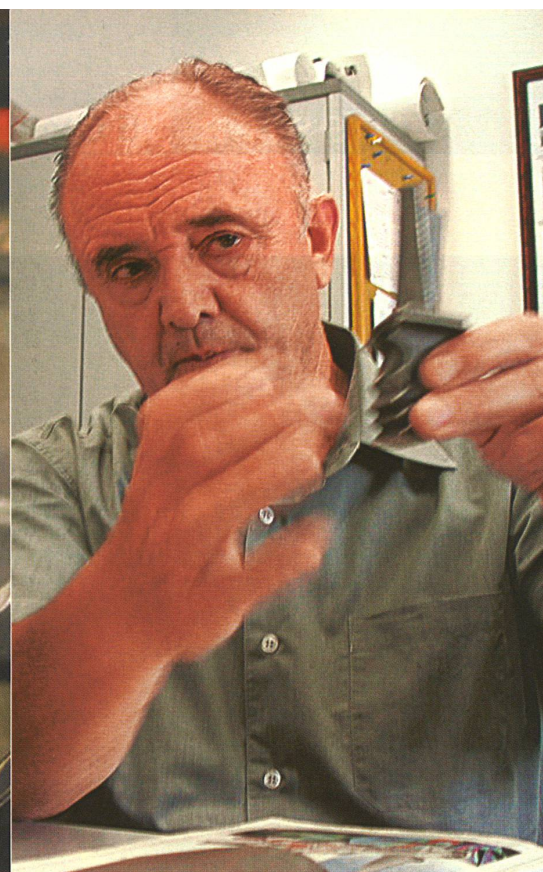
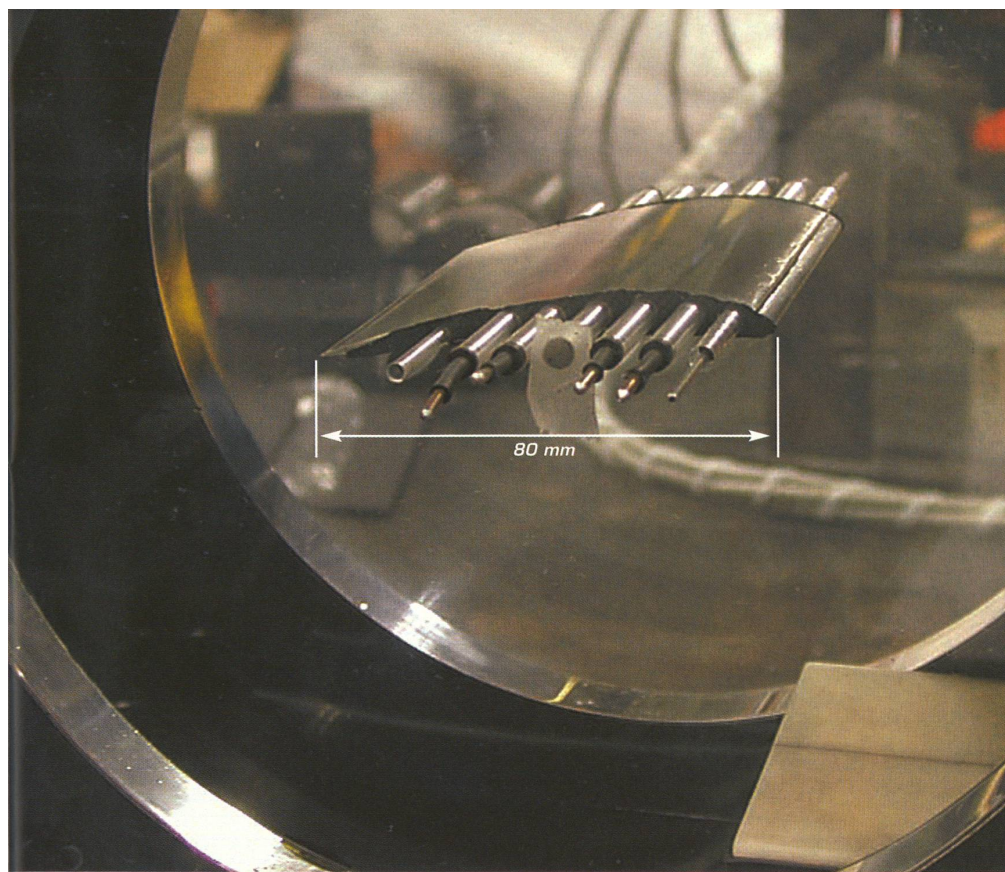
Das Prinzip ist relativ einfach: Die Versuche werden mit einem mit der Farbe gestrichenen Modell im Windkanal durchgeführt. Die Farbe enthält lumineszierende oder fluoreszierende Moleküle, die in Abhängigkeit vom Druck Sauerstoff binden. Werden sie einer bestimmten Beleuchtung ausgesetzt, beispielsweise Laser oder auch einer Xenon-Lampe, strahlt die Farbe Licht ab. Dessen Leuchtintensität ist abhängig von ihrem Sauerstoffgehalt, der wiederum proportional zum Druck ist. Die Lumineszenz wird mit einer Digitalkamera aufgezeichnet. Nachdem das System bei bekannter Temperatur und bekanntem Druck kalibriert wurde, muss man den verschiedenen Werten für die Lichtintensität nur noch eine Farbskala zuordnen, um das Ergebnis per Computer darstellen und untersuchen zu können.

Die PSP-Technik bietet immense Vorteile: Bisher musste man winzige Löcher in die Modelle bohren, die im Windkanal getestet wurden. Diese Löcher waren über Luft-

kanäle und Leitungen mit Druckmessinstrumenten verbunden. Dabei muss man zum einen die Messpunkte vorab definieren, und die Messung erfolgt nur an den gewählten Punkten. Zum anderen lässt sich die Methode nur bei ausreichend dicken Objekten anwenden. «Die Flügel eines Turbotriebwerks sind jedoch bisweilen nur einige Millimeter dick», erläutert Professor Bölcs. «Die Farbe liefert uns Informationen über die gesamte gestrichene Fläche, unabhängig davon, welche Teile man untersucht. Und sie ist deutlich billiger.»

Adaptation für Turbotriebwerke

Die PSP-Methode ist daher überall dort in der Luftfahrt verbreitet, wo Strömungsuntersuchungen im Windkanal von grundlegender Bedeutung sind – beispielsweise, um den Auftrieb von Flugzeugtragflächen zu testen. Ziel der ETHL ist es, diese Methode auf Turbotriebwerke zu übertragen, einen wesentlich komplexeren Bereich. Dies wurde noch nie gemacht, so Bölcs: «In einem Turbotriebwerk ist jeder Flügel dem Einfluss seiner Nachbarn ausgesetzt, das Ganze befindet sich in Bewegung, unter wechselndem Druck. Die Erfassung von Luftströmungen ist äusserst schwierig. Man muss dazu wissen, dass die relative



Prof. Albin Bölcs (rechts) testet die Druckverhältnisse eines Modells im Windkanal mit Hilfe der PSP-Methode.

Luftgeschwindigkeit am Flügelkopf im Triebwerk einer DC-10 der anderthalbfachen Schallgeschwindigkeit entspricht.»

Anders ausgedrückt, verursachen die meisten Flüssigkeitsströmungen in einem Turbotriebwerk sogenannte instationäre Druckverhältnisse, die sich mit der Zeit verändern. Auch wenn sich dank PSP-Technik die Physik der Luftströmungen besser verstehen lässt, so ergibt sie in diesem Bereich nur annähernde, wenn auch ausreichend zuverlässige Erkenntnisse, da man diese auf stationären Druck anwendet. «Bei instationärem Druck setzt man heute Membransensoren ein, die pro Stück 1500 US-Dollar kosten – und für einen Test benötigt man in der Regel etwa zwanzig Stück. Wenn man diese durch Farbe ersetzen könnte, wäre das wunderbar», sinniert der Direktor des LTT. «Die Farbe müsste äusserst hitzebeständig sein, hervorragend haften, aber vor allem eine sehr viel schnellere Reaktionszeit aufweisen als das heutige Material. Ein solches Produkt gibt es noch nicht. Hier kommt uns jedoch das digitale Modelling zu Hilfe, das zwar sehr leistungsfähig, aber nicht immer zuverlässig ist. Eingehende Tests mit der Farbe helfen uns, die Gültigkeit der Berechnungen zu überprüfen.»

Bei Turbotriebwerken bieten die Forschungen zum PSP-Verfahren also sozusagen Vorteile auf Umwegen. Alle Tests im Windkanal wurden an dem selben Prüfkörper durchgeführt, einmal anhand der Druckbohrungen, einmal mit der PSP-Messung. Auf diese Weise bestätigte sich die Präzision und die Überlegenheit der Farbe. Denn sie lieferte Ergebnisse, die man allein mit Druckbohrungen nicht gewonnen hätte. Sobald die PSP-Technik freigegeben ist, kann man sie mit digitalen Berechnungen vergleichen, um die Zuverlässigkeit zu erhöhen. Thema der erwähnten Doktorarbeit war es, eigens eine Software zu entwickeln, die – unabhängig von den russischen Quellen – die Messergebnisse auswertet. Sämtliche Apparaturen für Kalibrierung, Aufzeichnung und Auswertung der Informationen wurden auf einem Gestell montiert, das ein rationelles Vorgehen ermöglicht.

Sicherheit im Fokus

Auch wenn es nicht gleich zur Katastrophe kommen muss – theoretisch kann das «Flattern» der Flügel schlimmstenfall zu einem Bruch führen –, so beeinflussen die Vibrationen, die durch unkontrollierte Luftströmungen in einem Turbotriebwerk verursacht werden, dessen Funktion und Haltbarkeit

negativ. «Das Hauptgewicht beim Start einer Boeing ist das Kerosin», weiss Bölcs. «Indem man Effizienz und Lebensdauer der Triebwerke erhöht, verbessert man auch Verbrauch, Geräuschemissionen und Sicherheit. Durch neue Triebwerke in Verbindung mit besseren Erkenntnissen über Luftströmungen konnte der Verbrauch der Flugzeuge bereits um 30 Prozent gesenkt werden.» Der Wirkungsgrad der besten Gasturbinen liegt übrigens bei etwa 38 Prozent, der Rest geht durch Wärme und Reibung verloren.

Man ist sich allgemein einig, dass diese Leistungen verbessert werden müssen. Und so unterhält das LTT regelmässigen Kontakt mit einem weltweiten Netzwerk an Forschungszentren und Unternehmen. Die PSP-Technologie ist übrigens nur ein Bereich der Forschungen, die an der ETHL über instationäre Druckverhältnisse durchgeführt werden. Und jeder Bereich kann die Ergebnisse der anderen überprüfen. ■