

bild der wissenschaft plus



SIMULIERTE WELTEN

Superschnelle Rechner helfen Wissenschaft und Industrie

- Klima und Umwelt schützen
- Ressourcen schonen
- Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit erhalten

WENIGER APPETIT AUF SPRIT

VERKEHRSFLUGZEUGE VERBRAUCHEN ZU VIEL TREIBSTOFF.

Das gezielte Absaugen von Luft über den Tragflächen soll helfen, Sprit zu sparen. Die geeignete Gestaltung der Poren erfordert jedoch eine riesige Rechenleistung.



von Bernd Müller

DELFIN TUN ES, HAIE TUN ES – und Dr. Markus Kloker tut es auch. Alle wollen Energie sparen, indem sie die Strömung optimieren, aber jeder tut das auf seine Weise. Zum Beispiel der Delfin: Durch seine Stromlinienform entstehen an der Hautoberfläche des Wassersäugetiers kaum Energie fressende Wirbel. Strömungsphysiker sprechen von einer laminaren Grenzschichtströmung, in der sich die Wasser-Moleküle auf gleichmäßigen, parallelen Bahnen bewegen. Wo dennoch Turbulenzen zu entstehen drohen, gleicht der Delfin sie durch geschicktes Heben und Senken seiner Haut aus. Der Haifisch tut sich da schon schwerer: Sein Körper hat aufgrund des für das kraftvolle Zubeißen optimierten Kopfes nicht die Idealform und muss mit Strömungsturbulenzen zurechtkommen. Um diese Turbulenzen im Zaum zu halten, ist die Haifischhaut wie ein Reibeisen mit winzigen Kerben in Längsrichtung überzogen. „Turbulenzmanagement“ nennt Markus Kloker das.

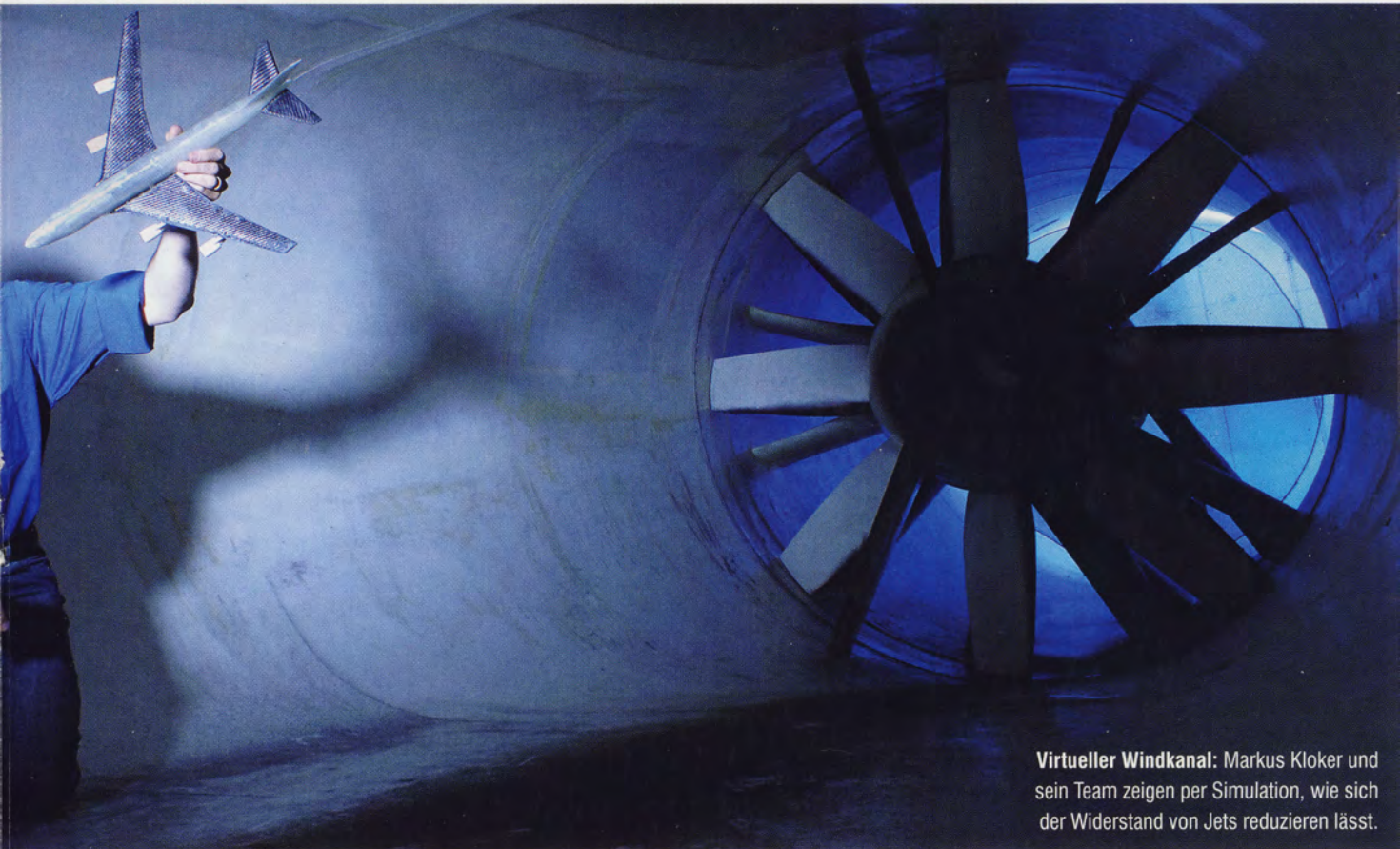
Der Ingenieur vom Institut für Aerodynamik und Gasdynamik (IAG) der Universität Stuttgart geht zusammen mit seinem ehemaligen Doktoranden Dr. Ralf Messing einen Mittelweg. Sie nutzen die Idee der gezielten Verwirbelung des Haifisches, um die Grenzschichtströmung möglichst lange laminar zu halten – wie beim Delfin. Allerdings entwerfen die Stuttgarter Ingenieure keine Anzüge für Weltrekordschwimmer, sondern die Tragflächen künftiger Verkehrsflugzeuge. Die sollen immer weniger Sprit fressen, um die Kassen der Fluggesellschaften und das Klima der Erde zu schonen.

Verglichen mit Hai und Delfin ist die Luftströmung auf den nach hinten spitz zulaufenden Tragflächen, die heute alle Düsenflugzeuge besitzen, eine Katastrophe. Die Grenzschichtströmung wird auf der Oberseite des Flügels so stark beschleunigt und umgelenkt, dass sie schon auf den ersten zehn Prozent des Weges von laminar in turbulent umschlägt und der Luftwiderstand dadurch deutlich zu-

nimmt. Auf diesen Tragflächen kommt es zu fiesen Querströmungen, weil die Moleküle der Luft unterschiedliche Wege nehmen, je nachdem, wie weit sie von der Oberfläche entfernt sind. Die Querströmungen verursachen das Anwachsen von festen Längswirbeln, die die Grenzschichtströmung stark verformen und dadurch sehr frühzeitig Turbulenz mit ihren charakteristischen Wuseln auslösen – viel früher als auf gerade geformten Tragflächen ohne Querströmungen.

AN GUTEN IDEEN FEHLT ES NICHT

Schon vor dem zweiten Weltkrieg hatten Flugzeugbauer eine brillante Idee, wie man Turbulenz verhindern kann: Durch winzige Schlitze in der Tragfläche sollte die Luft abgesaugt, das Anwachsen von Wuseln verzögert und das Umschlagen in die turbulente Strömung verhindert werden. In den Sechzigerjahren gab es ernsthafte Versuche, etwa mit dem amerikanischen Jet X-21, die jedoch abgebrochen wurden:



Virtueller Windkanal: Markus Kloker und sein Team zeigen per Simulation, wie sich der Widerstand von Jets reduzieren lässt.

Die Öffnungen verstopften schnell, der Wartungsaufwand schien, gemessen an den damaligen Treibstoffkosten, zu hoch und die Schlitze minderten die Stabilität der Außenhaut. Auch die großen Flugzeugbauer Airbus und Boeing haben immer wieder Anläufe unternommen, turbulente Strömungen in den Griff zu bekommen.

Die Absaugmethode ist auch deshalb bislang nicht in Serie gegangen, weil die Absaugung die Strömung auch verschlimmbessern kann. Um dem theoretischen Idealfall einer homogenen, flächig durchlässigen Haut näher zu kommen, wurden zunächst feine Absaugporen mit Laserlicht oder einem Elek-

herzustellen sind. Die Wissenschaftler am IAG haben deshalb eine völlig neue Strategie ausgetüftelt und aus der Not eine Tugend gemacht: Statt Längswirbel vermeiden zu wollen, werden diese gezielt angeregt. Dazu werden die Absaugporen so platziert, dass sie gutartige, in Richtung der Flügelspitzen enger beieinander liegende Längswirbel erzeugen. Sie schneiden den ungünstigen Längswirbeln mit größerem Querabstand sozusagen die Luft ab – und verhindern auf diese Weise die Entstehung von Turbulenzen durch instabile Wuselwirbel.

Auch eine Kombination mit kleinen Dellen oder das Ausblasen kann die Bildung von gutartigen Längswirbeln unterstützen. Ideal wären ohnehin „Nurflügel-Jets“ ohne separaten Rumpf. Berechnungen zeigen, dass sich der Umschlag von laminar zu turbulent durch die gezielte Verwirbelung mittels Absaugen etwa bis zur Hälfte des Abstands zur Flügelhinterkante verschieben lässt. „Man holt die schnell strömende Luft näher an die

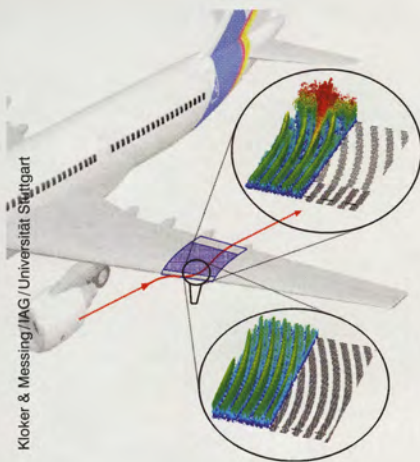


Verglichen mit Hai und Delfin ist die Strömung um Düsenjets eine Katastrophe.

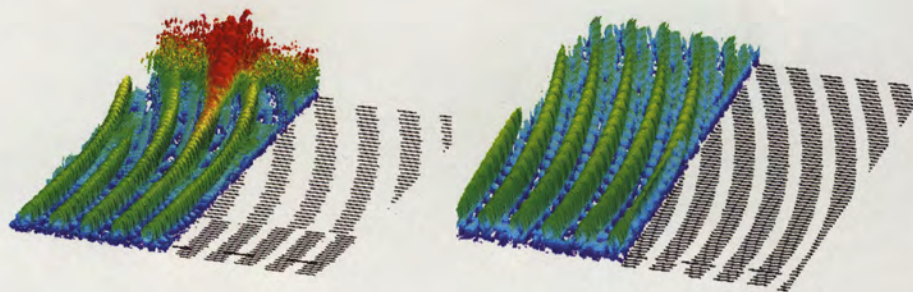
So flog ein Jet der amerikanischen Fluggesellschaft Cathay Pacific ein Jahr lang mit einer am Rumpf aufgeklebten Haifischhaut-Folie. In der Höhenstrahlung ging die Kunststoffolie aber schnell kaputt, zudem war die Treibstoffersparnis mit einem Prozent sehr bescheiden.

tronenstrahl gebohrt. Experimente und Computersimulationen zeigten aber, dass gerade diese Löcher unter Umständen noch stärkere feste Längswirbel erzeugen, obwohl die Löcher mit nur 50 Mikrometer Durchmesser und weniger als 500 Mikrometer Abstand extrem fein und schwer





Kloker & Messing / IAG / Universität Stuttgart



Treibstoff verzehrenden Wuseln haben die Stuttgarter Uni-Ingenieure den Kampf angesagt.

Sie nutzen dazu zahlreiche feine Mikroschlitzes, die in dem – virtuellen – Flugzeugflügel angebracht werden (graue Streifen in den Detailausschnitten der Strömungssimulation). Ist das Schlitzmuster nicht richtig an die Gestalt der Tragfläche angepasst, entsteht an deren hinterem Ende Turbulenz (rote „Fransen“ im mittleren Bild). Ein korrekt optimiertes Schlitzmuster dagegen sorgt für eine reibungsarme Laminarströmung mit eng nebeneinander liegenden Längswirbeln (Bild oben rechts).

Durch die Schlitzes wird die Luft abgesaugt. Die Mittelpunkte der Mikroschlitzes werden so angeordnet, dass sie etwa dem Verlauf der Stromlinien um die Tragflächen ohne Absaugung der Luft folgen.

Flügel heran, verringert somit die schädlichen Querströmungen und gibt Laminar-Störern mit gutartigen Längswirbeln den Rest“, beschreibt es Kloker. Man nutzt die natürliche Instabilität der Strömung aus und bekommt dadurch geringere Störungen quasi umsonst.

Umsonst könnten auch die Erbauer von Windkraftanlagen von den Ergebnissen der Stuttgarter Strömungsforscher profitieren. Denn von der Absaugung an Tragflächen von Flugzeugen zur Absaugung an den Rotorblättern von Windrädern ist es nur ein kleiner Schritt, der jedoch den Wirkungsgrad merklich steigern würde. Durch die Zentrifugenwirkung der Rotorblätter wären möglicherweise nicht einmal Absaugpumpen erforderlich.

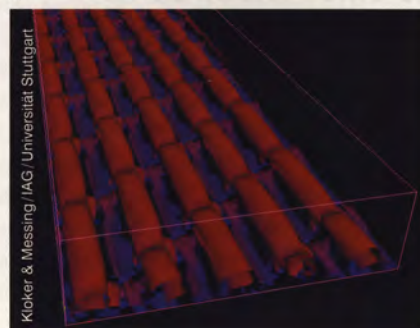
MINUS 15 PROZENT TREIBSTOFF

Kloker und Messing sind sicher, dass einer der beiden großen Hersteller von Verkehrsflugzeugen irgendwann vorpreschen wird. Denn das gezielte Absaugen verspricht eine Verbrauchsreduzierung von bis zu

15 Prozent Treibstoff, was einer jährlichen Kerosin-Einsparung von rund 18 Milliarden Euro und einer Reduzierung des Kohlendioxid-Austoßes von etwa 100 Millionen Tonnen weltweit entspricht. Allein die Lufthansa, die jährlich etwa drei Milliarden Euro für Kerosin ausgibt, könnte die Treibstoffkosten um einige hundert Millionen Euro senken.

Feintuning der Simulation:

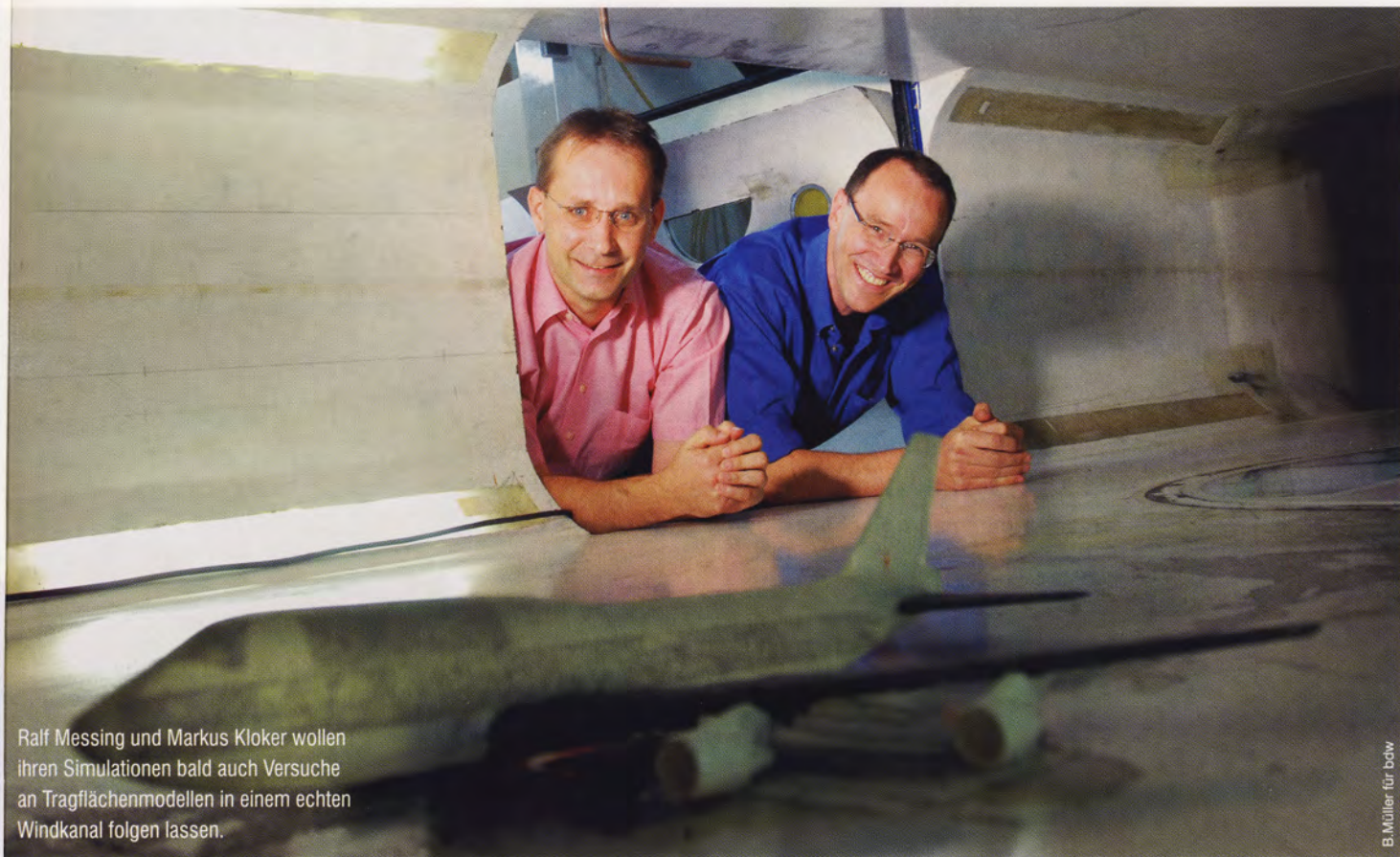
Die vergrößerte Detaildarstellung zeigt den Erfolg von Mikroschlitzes und Luftabsaugung – sehr gleichmäßige Längswirbel.



Kloker & Messing / IAG / Universität Stuttgart

Um dafür gerüstet zu sein, lechzt das IAG nach noch mehr Rechenleistung. Schon heute ist es das Institut mit dem höchsten Rechenbedarf an der Universität Stuttgart. Pro Kalkulation simulieren die selbst geschriebenen Programme bis zu 500 Millionen Gitterpunkte im Raum. Selbst wenn alle 576 Prozessoren des NEC-Rechners mit vereinten Kräften die Datenmassen bearbeiten, würde ein Lauf mehrere Tage und Nächte dauern. Weil auch andere Institute Anspruch auf Rechenzeit haben, werden die Rechenjobs flexibel geschachtelt, sodass die Arbeit insgesamt einige Wochen beansprucht.

Immerhin: Durch eine Kooperation mit dem HLRS und der Firma NEC wurde die Effizienz der Software um 40 Prozent gesteigert. Kloker ist froh, dass sich das HLRS für einen parallelen Vektorcomputer und gegen einen reinen Massivparallelrechner, der auf Tausenden von Skalarprozessoren basiert, entschieden hat: „So riesige Berechnungen laufen auf



B. Müller für bdbw

Ralf Messing und Markus Kloker wollen ihren Simulationen bald auch Versuche an Tragflächenmodellen in einem echten Windkanal folgen lassen.

einem Vektorcomputer mit einem großen und direkt ansprechbaren Speicher pro Knoteneinheit viel effizienter und zuverlässiger.“

OHNE SUPERCOMPUTER GEHT ES NICHT

Dennoch träumen die IAG-Forscher von noch viel schnelleren Computern. Auch wenn der Stuttgarter Superrechner mehrere Tage lang über komplizierten Formeln brütet, liefert er am Ende doch nur die Strömungsverhältnisse in einem schmalen Streifen eines Flügels, wenn auch in der Detailliertheit der mikrofeinen Löcher. Für die Simulation einer ganzen Tragfläche mit derselben Auflösung oder gar für das komplette Flugzeug wäre der Rechner des HLRS trotz seiner immensen Leistungsfähigkeit für mindestens ein Jahr vollständig belegt. Den früher vereinzelt vorgetragenen Vorwurf von Kollegen, die Forscher am IAG trügen zum „Verfall der Rechenmoral“ bei, indem sie theoretisches Wissen durch geballte Rechenpower ersetzen, lässt Kloker nicht gelten. „Die

besten Wissenschaftler der Welt bescheiden unseren internationalen Publikationen, dass wir Wissen und Rechner richtig kombinieren“, betont er. Die Aufsehen erregenden Forschungsergebnisse seines Instituts wären ohne den Supercomputer des HLRS nicht möglich gewesen. „Forschung an solchen komplexen Problemen auf diesem Niveau geht nur mit Supercomputern“, sagt Kloker.

Selbst wenn die IAG-Forscher eines Tages die Strömung eines ganzen Flugzeugs simulieren könnten, würden die Begehrlichkeiten nach noch weitaus mehr Rechenpower nicht enden. Denn in Zukunft könnten Flugzeuge mit adaptiven Flügeln ausgerüstet werden, die sich wie der Delfin gezielt verbiegen. Dadurch würden sich die Strömungs- und Oberflächenverhältnisse laufend verändern – und das möglicherweise über einen größeren Zeitmaßstab, als bisher betrachtet. Kloker: „Das zu berechnen ist noch viel aufwendiger.“ ■

Infos: www.iag.uni-stuttgart.de

MYTHOS GOLFBALL



Auch Golfspieler profitieren vom Know-how der Aerodynamik-Experten. Warum hat der Golfball kleine Vertiefungen?

Weil das gezielte Wirbel erzeugt und Reibung reduziert und der Golfball folglich weiter fliegt, antwortet jeder Golfspieler wie aus der Pistole geschossen. Das klingt gut, ist aber leider falsch.

Die Strömungsphysiker haben genauer hingeschaut und festgestellt, dass sich die Reibung durch die Kerben sogar erhöht, weil die Grenzschichtströmung früher turbulent wird.

Doch dank der Turbulenz schmiegt sich die Strömung hinter dem Ball enger an und verringert die tote Zone, die der Ball im Flug hinter sich her schleppt – und ihn, als würde er durch einen Staubsauger angesaugt, von hinten bremst.