

forschung

Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft



4/2008 ▶ Abgeschaut von der Natur ▶ Günter M. Ziegler über
das Jahr der Mathematik ▶ Tagebuch eines Tausendsassas
▶ Expansion und Exzellenz ▶ Das Licht läuft
auf zwei Beinen ▶ Lateinamerika-Beilage

DFG

 WILEY-VCH

*Wovon Ingenieure träumen:
Die Eisformations-Methode optimiert
umströmte Körper – und erleichtert so
das Design neuer Maschinenbauteile*

Abgeschaut von der Natur

Von Bernhard Weigand, Sven Olaf Neumann,
Helga Steinbrück und Sebastian Zehner

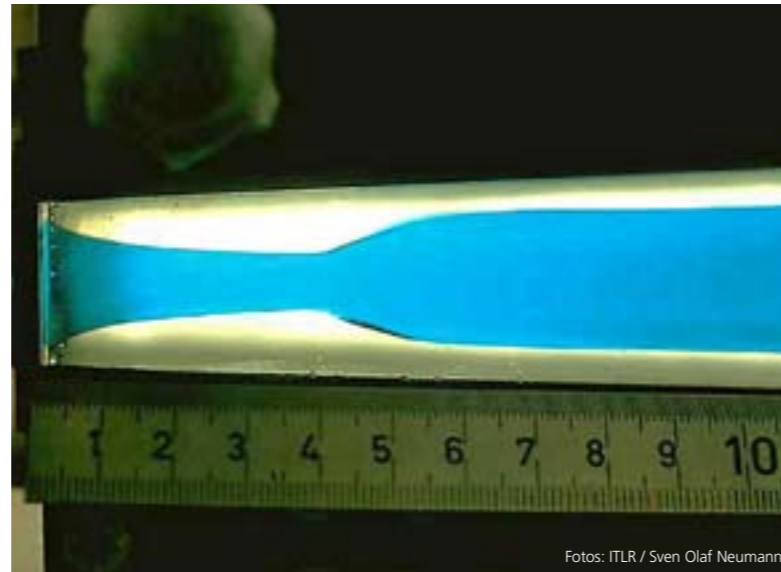
Wer im Winter nach einer verregneten und frostig kalten Nacht spazieren geht, entdeckt immer wieder geradezu malerische Konturen aus Eis, die sich an Bäumen, Masten, Leitungen oder anderen Körpern gebildet haben. Im Gebirge fallen dem Betrachter auch vereiste Flussläufe ins Auge, deren Randsäume durch das Eis ganz eigenwillige Formen zeigen. Bricht der Naturinteressierte im Winter gar eine Eisplatte aus der gefrorenen Oberfläche eines Sees heraus und sieht sich deren Unterseite an, wird er eine Überraschung erleben: Die Unterseite des Eisstücks ist nicht glatt wie die Oberseite, sondern weist eine markante Struktur mit kleinen Erhöhungen und Vertie-

wirkung zwischen der umgebenden Strömung, der Geometrie des Körpers und dem Eis. Dieses Wissen ließ Forscher in den USA bereits vor 30 Jahren fragen, ob die offenkundigen Optimierungsfähigkeiten der Natur nicht auch für eine effizienzsteigernde Gestaltung in technischen Anwendungen genutzt werden könnten. Aus diesem Ansatz entwickelte sich ein der Natur abgeschautes Verfahren, das der optimalen Form für umströmte Körper auf der Spur ist: die Eisformations-Methode.

Dabei wird in Versuchen ein beliebiger Körper, zum Beispiel ein Zylinder oder eine Turbinenschaufel, auf eine Temperatur unterhalb der Erstarrungstemperatur von Wasser gekühlt und dementsprechend mit

Zylinders –, die Eisschicht abgeschmolzen wird und dünn bleibt. Dieses Abschmelzen der Eisschicht formt aus der ursprünglich gleich dicken Eisschicht einen „neuen Körper“, der seinerseits wieder von der Strömung „umgeformt“ wird. Wenn sich die Form der Eisschicht nicht mehr verändert, wird die entstandene Körperkontur detailgenau vermessen.

Verschiedene Randbedingungen wie die Wandunterkühlung und die Strömungsgeschwindigkeit führen zu unterschiedlichen Körperkonturen, die jedoch alle Ähnlichkeiten in ihrem „Bauplan“ (Topologie) aufweisen. Die Überströmung einer mit Eis gleichmäßig überzogenen



Fotos: ITLR / Sven Olaf Neumann

Ein kleiner Flusslauf mit charakteristischen Eisablagerungen am Rande. Daneben: Die Eisbildung (weiß) in einem durchströmten Kanal. Hier Natur, dort Technik – die Ähnlichkeit beider Strukturen ist unübersehbar.

ungen auf. Diese auf den ersten Blick ebenso erstaunlichen wie bemerkenswerten Phänomene sind auch für Forscher interessant und werfen besonders eine Frage auf: Wie haben diese Formationen eigentlich ihre natürliche Gestalt durch das Eis angenommen?

Seit langem ist in den Ingenieurwissenschaften bekannt: Die Oberflächengestaltung eines vereisten Körpers ist Folge einer Wechsel-

einer gleichmäßig dicken Eisschicht überzogen. Anschließend wird der vereiste Körper einer Umströmung ausgesetzt. Die Eisformations-Methode basiert nun, wissenschaftlich gesprochen, auf der Kopplung des sogenannten Impuls- und Wärmeaustausches und deren Interaktion mit der Wand, die aus der erstarrten Phase (also dem Eis) besteht und deren Kontur ihrerseits durch ein lokales Wärmegleichgewicht bestimmt wird.

Dies bedeutet, dass an der Stelle des Körpers, die der Strömung und der Wärmeübertragung sehr intensiv ausgesetzt war – man denke etwa an die Vorderkante eines

ebenen Platte lässt etwa Konturen entstehen, die monoton in Strömungsrichtung anwachsen. Die absolute Dicke dieser Schicht ist unterschiedlich, je nachdem wie stark die Strömung über den Körper hinwegging. Die Gestalt der Eisschicht bleibt aber ähnlich. Wer die so erhaltene Form analysiert, wird günstige Körperkonturen für die eingesetzte Umströmung entdecken. Dabei ist hervorzuheben, dass diese Konturen effektiv hinsichtlich einer möglichst geringen Umwandlung von Strömungsenergie in Reibungsverluste sind. Denn die Natur versucht immer, den energieärmsten Zustand zu er-

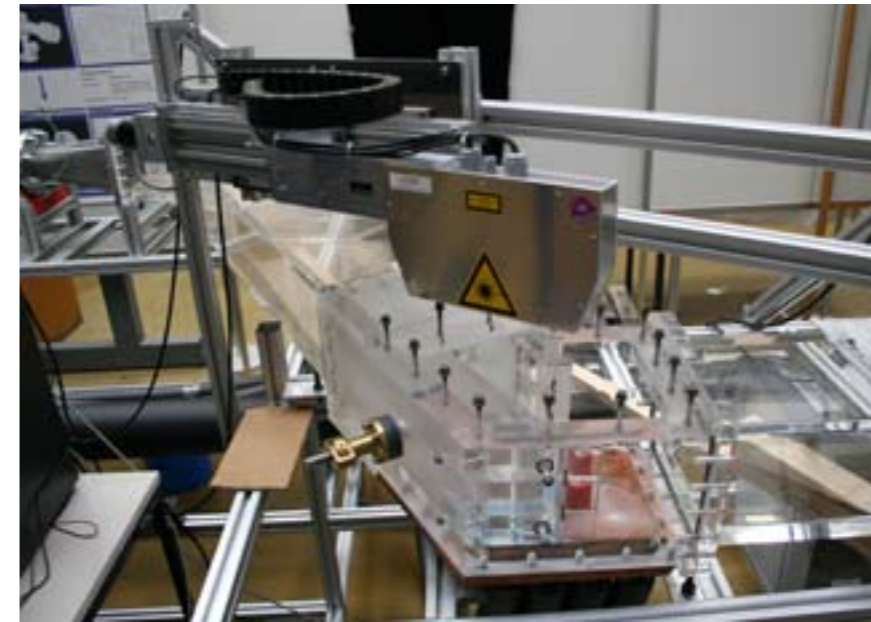


Foto: ITLR

Links: Anlage im Labor, die die Eisschichtdicke mithilfe eines Lichtschnittsensors hoch präzise vermessen kann. Unten: Gut zu erkennen ist die Laserlinie auf der Eisschichtkontur.

schließend einer klassischen numerischen Optimierung – zum Beispiel mithilfe von Algorithmen – unterzogen. Hierbei können dann die Zielforderungen wie minimaler Druckverlust oder niedriger Wärmeübergang in gewöhnlicher Weise berücksichtigt werden.

Die Eisformations-Methode wurde bislang am Institut für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt der Universität Stuttgart für einen durchströmten Kanal mit einer 180°-Umlenkung sowie für eine Turbinenschaufel angewandt. Beim durchströmten Kanal zeigte sich bald, dass es durch Kopplung der experimentellen mit der numerischen Vorgehensweise möglich ist, deutlich günstigere Strömungsformen zu erhalten. So hat die optimierte Geometrie im Vergleich zur Ausgangsgeometrie einen um 28 Prozent geringeren Druckverlust. Das zeigt eindrucksvoll die Stärke dieses Vorgehens.

Die bisherigen Ergebnisse machen den Unterschied zu einer standardmäßig optimierten Geometrie einer Umlenkung (Krümmer) im Kühlkanal einer Turbinenschaufel sichtbar. Im ersten Schritt, der experimentellen, natürlichen Optimierung, entsteht

reichen. So stellt die Kontur einen guten Kompromiss zwischen dem maximal aufzuwendenden Strömungswiderstand des Körpers und der minimalen Wärmeübertragung am Körper dar.

In der anwendungsorientierten Technik interessieren sich Ingenieure jedoch häufig für andere Optimierungskriterien. Bei vielen Komponenten in modernen Flugtriebwerken oder stationären Gasturbinen sind die Bauteile zum einen einer extrem hohen Temperatur ausgesetzt und zum anderen ist der maximale Überdruck zur Durchströmung dieser Bauteile durch die Maschine beschränkt. So ist es das vorrangige Anliegen, die Druckdifferenz oder den Wärmeübergang als Optimierungskriterium heranzuziehen und diese zu minimieren. Vor diesem Hintergrund sind die aus der Eisformations-Methode erhaltenen Körperkonturen nicht immer unmittelbar verwendbar. Die Eisformations-Methode ist früher zu Optimierungszwecken zwar vereinzelt eingesetzt worden, dann aber zunächst wieder in Vergessenheit geraten.

Gibt man die Idee auf, dass durch den Einsatz der Eisformations-Methode sofort und direkt „die“ optimale Körperkontur zu finden ist, sondern verwendet die dort auftretenden Körperkonturen als Aus-

gangspunkt für eine weitere numerische Optimierung, so gewinnt das Verfahren großen Nutzen und ungeahnte Kraft. Denn die mit der Eisformations-Methode gewonnenen Körper stellen neuartige Konturen dar, die ein hohes Entwicklungspotenzial auszeichnet. Solche Körperkonturen lassen sich mithilfe eines konventionellen Optimierungsverfahrens nicht erzielen.

Daher werden in der konkreten Anwendung die mit der Eisformations-Methode experimentell geschaffenen Körperkonturen zunächst analysiert, danach in einem zweiten Schritt durch Funktionen automatisch dargestellt und an-



Foto: ITLR

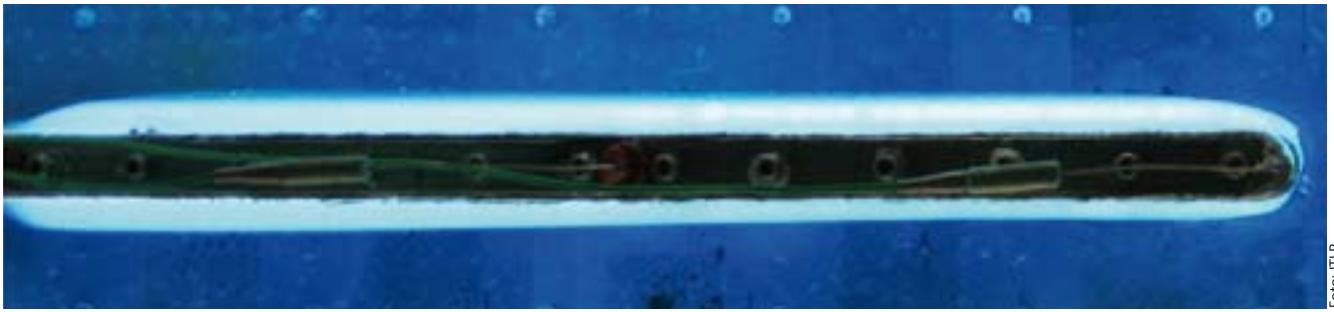


Foto: ITLR

zunächst an der Zwischenwand (Trennsteg) zwischen zwei Kanälen eine Eiskontur, deren Form sich recht einfach mit thermodynamischen und strömungsmechanischen Eigenschaften der Strömung erklären lässt. Die numerische Optimierung, die auf einen minimalen Druckverlust in der Umlenkung vom ersten Kanal in den zweiten Kanal zielt, bringt eine starke Veränderung der Geometrie der Zwischenwand im Auslauf des Kanals mit sich. Die Form im Einlauf ändert sich hingegen kaum.

Die auf diesem Wege numerisch optimierte Gestalt nähert sich zwar der in der Technik üblicherweise verwendeten Konstruktion an, weist aber dennoch eine eigenständige Form mit vielen Eigenarten

Unten: Schnittansicht eines GP 7000 Triebwerks, das auch im Airbus A 380 eingesetzt wird. Daneben: Eine gekühlte Niederdruckturbinenschaufel aus einer hochtemperaturfesten Legierung.

auf. Fazit: Die natürlich optimierte Trennstegkontur aus den Experimenten liefert bereits einen guten Ansatz zur weiteren numerischen Optimierung. Die ursprüngliche Kontur dieser natürlich gefundenen „Steggeometrie“ ist auch nach der Optimierung des Druckverlustes noch deutlich erkennbar.

Bilanzierend gesagt: Auch wenn Bauteile technisch bereits ausgereift sind, so kann die Eisformations-Methode besonders bei neuen und unbekanntem Designproblemen sowie technischen Anwendungen von großem Nutzen sein. Mithilfe dieses Verfahrens wird es möglich, schnell einen ersten Eindruck über die mögliche Gestalt eines Bauteils zu erlangen und anschließend schneller und kostengünstiger an seine Umsetzung zu gehen.

So steht nach den bisherigen Untersuchungen und Anwendungen außer Frage: Das fortentwickelte Verfahren kann für beliebige Maschinenkomponenten und mit ge-

Eisschicht im Kanal. Mit Unterstützung der weiter entwickelten Eis-Formationsmethode können Ingenieure eine optimierte Kontur finden.

ringem Aufwand durch einfaches Vereisen eines Versuchsmodells angewandt werden. Es ist daher zu erwarten, dass die Eisformations-Methode künftig für unterschiedliche und komplexe Optimierungsfragen erfolgreich eingesetzt und gewinnbringend genutzt werden kann.

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weigand, Dr.-Ing. Sven Olaf Neumann, Dipl.-Ing. Helga Steinbrück und Dipl.-Ing. Sebastian Zehner forschen an der Universität Stuttgart.

Adresse: Institut für Thermodynamik der Luft- und Raumfahrt (ITLR), Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 31, 70569 Stuttgart

Die Untersuchungen werden von der DFG und der Forschungsvereinigung Verbrennungsmaschinen e.V. unterstützt.

► www.uni-stuttgart.de/itlr

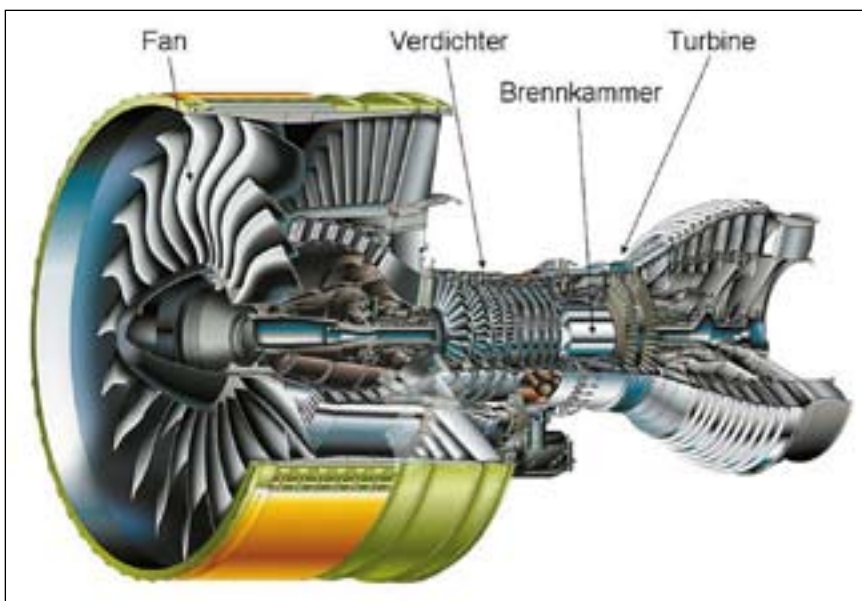


Foto: MTU Aero Engines



Foto: MTU Aero Engines