

Simulation eines getrimmten schnellen Vorwärtsflugs des Hubschraubers NH-90 mit elastischen Hauptrotorblättern

# Erstflug im Rechner

Numerische Simulation – das Handwerk der Ingenieure von heute

Von Prof. Dr. Jan Delfs und Prof. Dr. Norbert Kroll

Die Luftfahrt wandelt sich. Angesichts der vorhergesagten Verdopplung des Flugverkehrs innerhalb der kommenden 15 Jahre hat das „Advisory Council for Aeronautics Research in Europe“ (ACARE) äußerst anspruchsvolle Ziele für Flugzeugentwicklungen gesetzt. So sollen Lärm- und Abgasemissionen um mehr als 50 Prozent reduziert werden, die Unfallrate soll um 80 Prozent sinken und der Flugverkehr soll weitgehend wetterunabhängig werden. Das geht nur mit neuen Technologien zur Strömungskontrolle oder durch völlig neuartige Flugzeugkonfigurationen. Der numerischen Simulation fällt dabei eine Schlüsselrolle zu, denn sie ermöglicht den Entwurf und die Optimierung von Flugzeugen bei drastischer Reduktion der Entwicklungszeiten und -risiken. DLR-Forscher arbeiten daran. Ihre Vision: das virtuelle Flugzeug.

In den vergangenen Jahren hat sich dank der enormen Fortschritte in der Computertechnologie die numerische Strömungsmechanik, das heißt die rechnergestützte Simulation von Strömungen, immens weiterentwickelt. Sie hat sich neben Windkanal und Flugversuch als unverzichtbare dritte Säule für die aerodynamische und aeroakustische Auslegung von Flugzeugen erwiesen. Viele Phänomene, die im Experiment schwer oder gar nicht zu erfassen sind, werden durch die rechnergestützte Simulation überhaupt erst greifbar. Die numerischen

Verfahren erlauben sehr detaillierte Einblicke in die Strömungsvorgänge und eröffnen so die Möglichkeit, unter gegebenen Bedingungen aerodynamisch optimale Formen zu finden, die mit herkömmlichen Methoden nicht bestimmbar sind. Experimentelle Untersuchungen können dann gezielt zur Überprüfung der aerodynamischen Formen und Daten eingesetzt werden, die durch die Simulation gewonnen wurden.

Die im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik entwickelten

Strömungslöser FLOWer und TAU haben einen sehr hohen Reifegrad erreicht und werden sowohl in der Luftfahrtindustrie als auch in der Forschung als Standardwerkzeuge eingesetzt. Beim aerodynamischen Entwurf sind heute numerische Simulationsrechnungen für komplette Flugzeugkonfigurationen Bestandteil der täglichen Ingenieursarbeit. Neueste Entwicklungen in der physikalischen Modellierung und von numerischen Algorithmen erlauben eine Vorhersage der Flugleistungen für den Reiseflug unter realen Flugbedingungen.

Die Genauigkeit ist dabei mit der des Windkanalexperiments vergleichbar. Für Start- und Landebedingungen in dessen stellt sich die Entwurfsaufgabe aufgrund der höheren geometrischen Komplexität und der auftretenden komplexen Strömungsphänomene deutlich schwieriger dar. Denn hier sind beispielsweise ausgeführte Hochauftriebshilfen und Fahrwerke zu berücksichtigen.

Die genaue Berechnung von Strömungsablösung und Maximalauftrieb ist eine große Herausforderung für die numerische Simulation. In den vergangenen Jahren konnten aber erhebliche Fortschritte bei der Vorhersage von Hochauftriebsströmungen erzielt werden. Ein Meilenstein war die DLR-Entwicklung des hybriden Verfahrens TAU. Grundlage dieses Verfahrens sind die so genannten unstrukturierten Rechennetze, die auch bei hochkomplexen Konfigurationen einen hohen Automatisierungsgrad des Simulationsprozesses vom CAD-Modell bis zur Auswertung der Rechenergebnisse ermöglichen. Der TAU-Code wird unter anderem erfolgreich für die Bestimmung der aerodynamischen Beiwerte bis hin zum Maximalauftrieb, für die Vorhersage optimaler Klappenpositionen oder für die Untersuchung von Bodeneffekten eingesetzt.

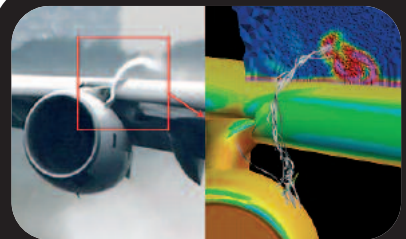
Ein wesentlicher Aspekt der numerischen Simulation bei Hochauftriebsströmungen ist die Fähigkeit, das komplexe Strömungsfeld im Detail aufzulösen, signifikante Strömungsphänomene, wie Ablösegebiete (Gebiete, in denen die Strömung der Kontur nicht mehr folgen kann) und Wirbelstrukturen zu identifizieren und deren Einfluss auf die aerodynamische Leistung zu analysieren. Um

den Einfluss der Flügeldeformation auf das aerodynamische Verhalten der Hochauftriebskonfigurationen zu berücksichtigen, wurde eine Strömung/Struktur-Kopplung auf Basis des Strömungslösers TAU und des kommerziell verfügbaren Strukturlösers ANSYS realisiert.

Eine weitere aktuelle Herausforderung für die numerische Simulation ist die Berechnung instationärer Strömungsvorgänge. Im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik werden entsprechende Weiterentwicklungen der numerischen Verfahren vorangetrieben. Dies betrifft sowohl die Entwicklung effizienter Algorithmen für parallele Rechnerarchitekturen als auch die Bereitstellung multidisziplinärer Simulationsprozesse. Verschiedene Problemstellungen konnten bereits erfolgreich bearbeitet werden, wie beispielsweise die Berechnung von installierten Propellern und des getrimmten Hubschraubers im Vorwärtsflug mit elastischen Rotor-

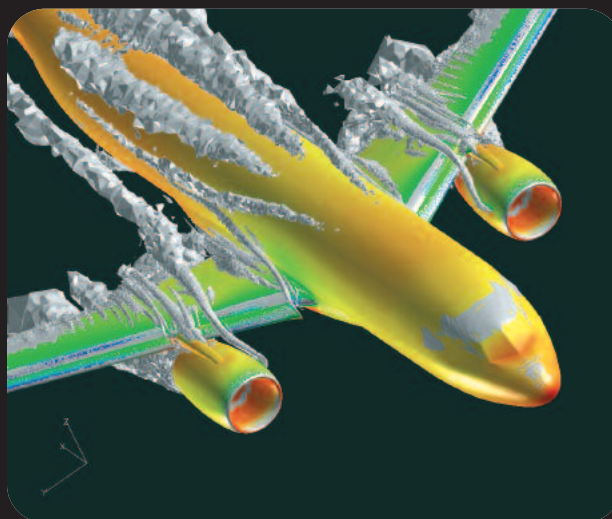


Megaliner A380

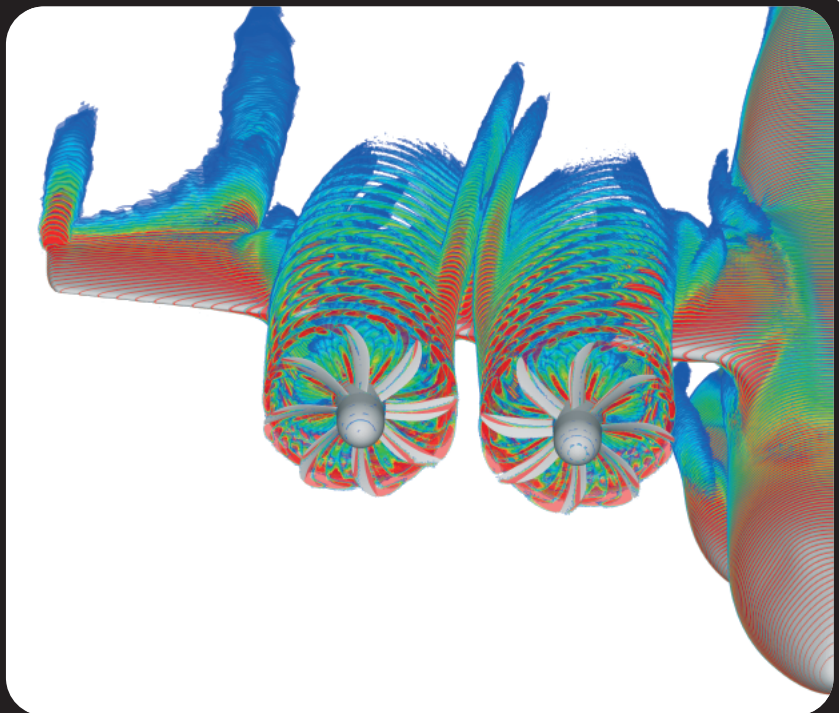


Vergleich von realem und simuliertem Wirbel an einem Wirbelgenerator

Numerische Simulation einer Hochauftriebskonfiguration der Oberflächendruckverteilung und von Wirbelstrukturen



Komplexes Wirbelsystem und Interaktion von installierten gegenläufig drehenden Propellern



blättern. Erste Schritte wurden auch zur Simulation manövrierender Militärflugzeuge unternommen. Aufgrund der enormen Anforderungen an Rechnerkapazitäten sind diese Berechnungen im industriellen Umfeld aber derzeit nur bedingt möglich.

### Optimale Strömung – weniger Lärm

Als Folge fast aller in der Flugphysik auftretenden Strömungen entsteht Schall. Das, was das Ohr als akustischen Reiz wahr nimmt, sind zeitlich veränderliche (instationäre) Schwankungen des Umgebungsdrucks. Diese wiederum haben ihren Ursprung letztlich in den instationären Strömungsvorgängen an den verschiedenen Flugzeugbauteilen. Das Entstehen von Schallwellen und deren Fortpflanzung in Strömungsfeldern zu unter-

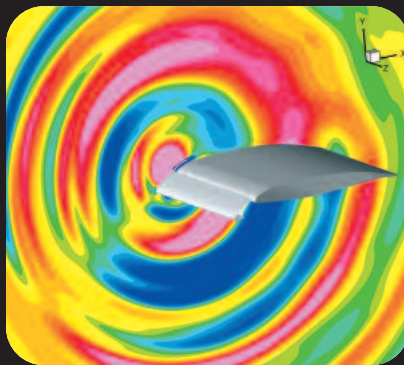
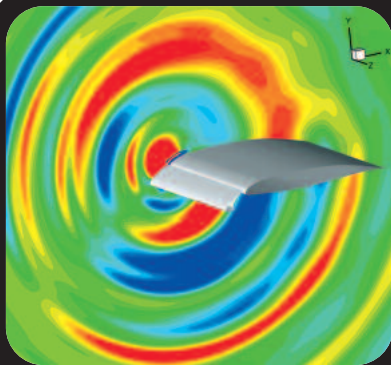
suchen, ist Aufgabe der Aeroakustik. Auch dieses Gebiet bedient sich in zunehmendem Maße der numerischen Simulation „CAA“ (Computational Aero Acoustics).

Am modernen Verkehrsflugzeug ist das Triebwerk bei weitem nicht mehr die einzige wesentliche Schallquelle des Fluglärms. Während der Landung machen die Umströmungsgeräusche der ausgefahrenen Klappensysteme und der Fahrwerke mindestens die Hälfte der Gesamtschallabstrahlung aus. Man müsste diese bei der Flugzeugentwicklung vorhersagen können. Doch das ist schwierig, denn ihre Ursache liegt in höchst komplexen instationären Strömungsverwirbelungen (Turbulenzen) in der Nähe der Flugzeugoberflächen. Die direkte numerische Simulation dieser Turbulenzen ist zwar grundsätzlich möglich, liegt aber zum Beispiel für die Strö-

mungsbedingungen am Flügel eines Verkehrsflugzeugs wegen derzeit unbeherrschbar hoher Rechenzeiten noch in ferner Zukunft.

DLR-Wissenschaftler gehen aus diesem Grund einen neuen Weg: Sie modellieren die Turbulenzdynamik. Das entsprechende, auf stochastischer Beschreibung basierende so genannte „Random Particle Mesh Modell“ (RPM) ermöglicht extrem effiziente CAA-Simulationen mit dem PIANO-Code des DLR. Verschiedenste Problemstellungen konnten so bereits erfolgreich gelöst werden, wie die Vorhersage von Vorflügel- und Klappenlärm, Strahlärm, Schallstreuung an Turbulenzen, bis hin zu Verbrennungslärm sowie Schallentstehung in durchströmten Rohrsystemen.

Die Wirkung von Lärmminderungstechniken, wie gezahnte Düsenhinter-



CAA-Simulation von Vorflügelgeräuschen (Momentanverteilung des Schalldrucks)

## Glossar

<b>ACARE</b>	Advisory Council for Aeronautics Research in Europe
<b>ANSYS</b>	<i>Kommerziell verfügbare Software zur Strukturanalyse</i>
<b>C<sup>2</sup>A<sup>2</sup>S<sup>2</sup>E</b>	Center for Computer Applications in AeroSpace Science and Engineering
<b>CAA</b>	Computational Aero Acoustics
<b>CAD</b>	Computer Aided Design
<b>FLOWer</b>	<i>Verfahren zur Strömungssimulation auf strukturierten Rechnernetzen</i>
<b>PIANO</b>	Perturbation Investigation of Aerodynamic NOise ( <i>Verfahren zur Aeroakustiksimulation</i> )
<b>RPM</b>	Random Particle Mesh Method
<b>TAU</b>	<i>Verfahren zur Strömungssimulation auf hybriden Rechnernetzen</i>

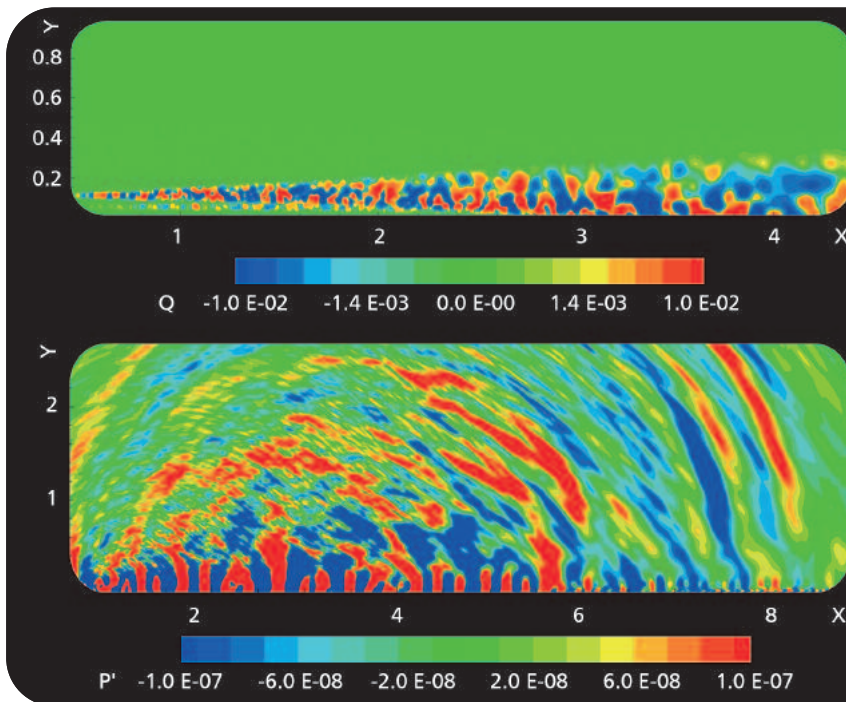
kanten oder Füllkörper am Vorflügel, wurde quantifiziert. Ideen zur Lärmreduzierung können so künftig vorher am Rechner bewertet und aufwändige aeroakustische Windkanalversuche gezielter eingesetzt werden. Besonders interessant wird das beschriebene hocheffiziente Simulationskonzept in PIANO für Entwurfsaufgaben. Mit Hilfe von PIANO-Simulationen wurde zum Beispiel demonstriert, dass auf rein rechnerischem Wege aeroakustisch optimale Vorflügelstellungen identifiziert werden können. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, um mit Hilfe der CAA den Entwurfsraum um eine Dimension – nämlich die akustische – zu erweitern. Es ist damit nicht mehr notwendig, einen aerodynamisch abgeschlossenen Entwurf noch akustisch nachzubessern. Ob eine Klappe lauter als eine andere ist, wird man sich künftig vorher am Rechner anhören können.

Um den zukünftigen technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen in der Luftfahrt gerecht werden zu können, wird es unverzichtbar sein, ein reales Flugzeug einschließlich aller multidis-

ziplinären Wechselwirkungen „im Rechner zu fliegen“ oder / und sämtliche entwicklungs- und zulassungsrelevanten Daten innerhalb kürzester Zeit mit garantierter Genauigkeit zu erstellen. Auf diesem Weg sind allerdings noch einige Hürden zu nehmen. Das betrifft die Entwicklung numerischer Verfahren, die Verbesserung der physikalischen Modellierung und das Zusammenführen der verschiedenen Flugzeugdisziplinen ebenso wie die Verfügbarkeit und Nutzbarmachung von adäquater Rechnerhardware sowie die Einführung der numerischen Simulation in industrielle Prozesse. Will man dabei erfolgreich vorankommen, ist ein konzentriertes, gemeinsames Vorgehen von Industrie, Großforschung und Universitäten notwendig.

### **C<sup>2</sup>A<sup>2</sup>S<sup>2</sup>E – das Kompetenzzentrum**

Mitte des Jahres 2007 haben daher Airbus, das DLR und das Land Niedersachsen am Forschungsflughafen in Braunschweig eine Innovationspartnerschaft zur Luftfahrtforschung in Niedersachsen initiiert. Im Rahmen



Strahlärmsimulation: oben Quellverteilung entlang der Strahlerschicht, unten abgestrahlter Schalldruck (obere Hälfte des Strahls)

eines Projektes mit einem Umfang von 30 Millionen Euro, die von den Partnern zu gleichen Teilen aufgebracht werden, wurde im DLR unter dem Namen C<sup>2</sup>A<sup>2</sup>S<sup>2</sup>E (Center for Computer Applications in AeroSpace Science and Engineering) ein Kompetenzzentrum für numerische flugphysikalische Simulation eingerichtet. Aufgabe dieses Zentrums ist es, Prozesse, Methoden und numerische Verfahren so weit zu entwickeln, dass sie die genaue Simulation eines fliegenden Flugzeugs im gesamten Flugbereich unter Berücksichtigung aller beteiligten Kerndisziplinen im industriellen Entwicklungsalltag ermöglichen.

Außerdem sollen Strategien zur numerischen Bestimmung der Lasten und Flugleistungen bereits vor dem Erstflug erarbeitet und Wege zur Zertifizierung noch vor der Flugzeugherstellung aufgezeigt werden. Fernziel des Vorhabens ist also ein „virtuelles Flugzeug“, das vor dem realen Erst-

flug bereits im Rechner erprobt wurde. Unterstützt werden die Forschungsarbeiten durch den derzeit europaweit für die Luftfahrtforschung leistungsstärksten Rechner im DLR in Braunschweig. Zudem wurde ein Campus für international renommierte Experten und Wissenschaftler eingerichtet.

Mit den im DLR geplanten Forschungsarbeiten, speziell der Initiative C<sup>2</sup>A<sup>2</sup>S<sup>2</sup>E, werden die Weichen gestellt, um die europäische Kompetenz auf dem Gebiet flugphysikalischer Simulationen zu bündeln und die Technologie „Virtueller Produktentwurf“ am Luftfahrtstandort Deutschland nachhaltig zu etablieren.

**Autoren**

Prof. Dr. Jan Delfs und Prof. Dr. Norbert Kroll leiten im DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik die Abteilungen Technische Akustik bzw. C<sup>2</sup>A<sup>2</sup>S<sup>2</sup>E.

„Die Numerische Simulation ist im Bereich der flugphysikalischen Entwicklung von Airbus-Flugzeugen von essentieller Bedeutung. Seit mehr als zwei Jahrzehnten vertraut die Airbus-Aerodynamik hier auf die Kompetenz des DLR. In enger, nachhaltiger und zielgerichteter Zusammenarbeit sind z. B. aerodynamische Werkzeuge hervorragender Qualität entstanden, die in allen Airbus-Ländern im täglichen Einsatz sind.“

Dr. Klaus Becker, Airbus Bremen, Senior Manager, Aerodynamic Strategies