

Von Claus Wagner und Andreas Dillmann

FRISCHER WIND FÜR DIE KABINE

Der Versuchsträger Do 728

Die Luftfahrtindustrie rechnet mit einer jährlichen Zunahme des Luftverkehrs von ca. fünf Prozent. Um der daraus resultierenden Nachfrage an Flugkapazitäten gerecht werden zu können, müssen die Fluggesellschaften in den nächsten 15 bis 20 Jahren ihren Bestand um ca. 15.000 neue Flugzeuge erweitern. Mit diesem Zuwachs sind hohe Investitionen verbunden, sowohl für die Fluggesellschaften als auch für die Flugzeughersteller. Die kommende Generation von Flugzeugen soll modern, leistungsfähig und umweltverträglich sein. Der deutsche Teil des europäischen Konzerns AIRBUS setzt dabei hauptsächlich auf neue Kabinentechnologien.



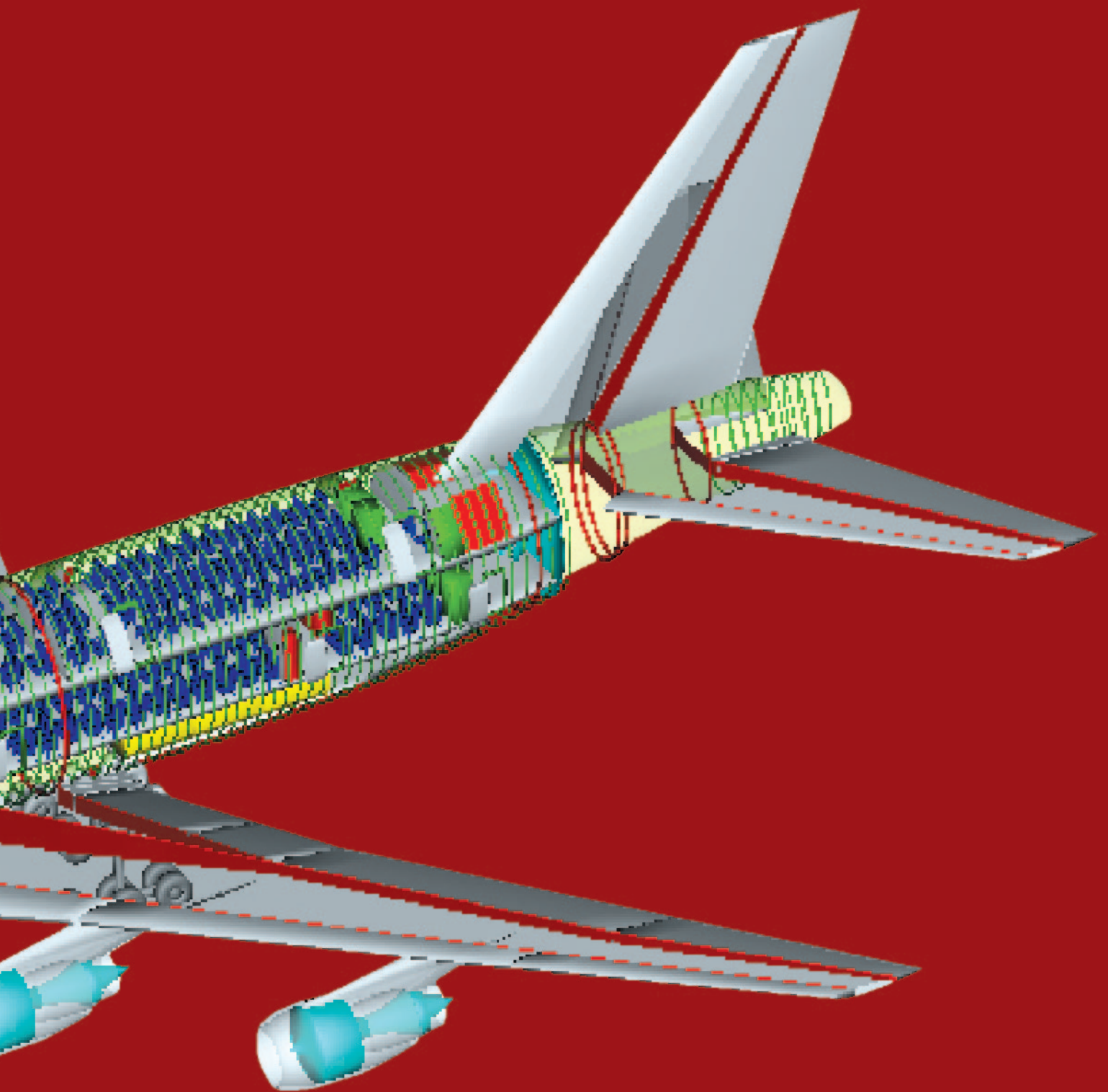


Abb.: Transparente CAD-Darstellung eines Passagierflugzeuges.

In der modernen Flugzeugentwicklung spielt der Komfort für den Passagier eine wesentliche Rolle. Neben der Luftqualität und den angenehmen Temperaturen wird die Behaglichkeit in der Kabine auch durch die Lärmeinwirkung auf die Flugpassagiere bestimmt. Ursache und Transportmechanismen des Schalls sind Druckschwankungen der turbulenten Grenzschicht auf der Außenhaut des Flugzeugs, Antriebsgeräusche und die Klimaanlage. Alle erzeugten Geräusche gelangen mittels Schwingungen über den Rumpf und den Kabinenboden in den Kabineninnenraum.

Es gibt zahlreiche neue Ansätze, um diese Schwingungen zu unterdrücken. Bisher war es allerdings kaum möglich die theoretische Forschung zur aktiven Schwingungsberuhigung und Schallunterdrückung anhand eines realen Flugzeuges im Originalmaßstab zu überprüfen. Das Gleiche gilt auch für numerische Verfahren zur Strömungsberechnung innerhalb eines Flugzeuges. Die eingesetzten Simulationsverfahren konnten bisher mittels realer Experimente nicht validiert werden.

Neue Wege beschreiten

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) beschreitet auf diesem Gebiet neue Wege und erwarb deshalb im Februar 2005 den Prototyp des Regionalverkehrsflugzeugs Dornier Do 728.

Die intakte Flugzeugzelle der Do 728 bietet dem DLR die einmalige Möglichkeit herausragende Kompetenz auf den Gebieten der Kabinenaerodynamik und Kabinenakustik zu sichern. Dann kann das DLR Airbus Deutschland und die Ausrüstungsindustrie in ihrer Verantwortung für die Kabine unterstützen und den Komfort im Flugzeug der Zukunft signifikant verbessern.

Die Versuchshalle wird an den Flugzeugrumpf angepasst. Für die geplanten akustischen, thermodynamischen und strömungsmechanischen Untersuchungen, an denen zeitweise auch Probanden teilnehmen werden, sind besondere Baumaßnahmen notwendig. Doch der Aufwand lohnt sich, auch finanziell. Im Vergleich mit Studien in der Luft sind die Tests in der Versuchshalle ca. hundertmal kostengünstiger. Es werden Untersuchungen möglich, die zum besseren Verständnis der Strömungsvorgänge in der Kabine entlang der Flugzeuglängsachse, der Schallentstehung im Rohrsystem der Klimaanlage bzw. der Schallausbreitung in der Kabine und der Struktur-Akustik-Kopplung beitragen.

Nutzungsbedarf der Do 728

Die turbulente Grenzschicht auf der Außenhaut des Flugzeugs erzeugt Druckschwankungen, die über die Struktur in Form von Körperschall in die Kabine gelangen und dort abgestrahlt werden. Der Fan und der Freistrahle des Triebwerks stellen eine weitere Schallquelle dar. Diese Geräusche gelangen ebenfalls über die Struktur in den Kabineninnenraum. In dem Zuleitungssystem und an den Auslässen der Klimaanlage entstehen auf Grund von angeströmten Umlenkblechen und Blenden Umströmungsgeräusche, die über das Zuleitungssystem an die Auslässe und damit an den Passagier gelangen. Über den Boden der Kabine findet dabei ein zusätzlicher Schalleintrag statt.

Des Weiteren führt die zunehmende Nachfrage nach individuell gestalteter Kabinenausstattung von Verkehrsflugzeugen notwendigerweise zu kürzeren Entwicklungszeiten. Die eingesetzten und zu entwickelnden computergestützten Verfahren verlangen einen hohen numerischen Entwicklungsaufwand von Großforschungseinrichtungen und Softwareherstellern. Gleichzeitig ist aber die Qualität der Simulationsprogramme entscheidend von der Qualität verfügbarer individueller Testdaten abhängig. Neu entwickelte Methoden und Systeme der aktiven Schwingungsberuhigung und Schallunterdrückung müssen im Originalmaßstab überprüft, ihre Tauglichkeit nachgewiesen werden.

Dieser hohe Bedarf führt zu dem großen Interesse von unterschiedlichen DLR Instituten an einer Nutzung der Do 728 als Versuchsträger. Geplant sind Arbeiten auf den Gebieten der Innenraumakustik, der Schalldämpfung, Schallentstehung und Struktur-Akustik Kopplung und der Kabinenklimatisierung und des thermischen Komforts.

Innenraumakustik

Auf der Grundlage des bestehenden Know-Hows auf den Gebieten der Aeroakustik, Strukturmechanik und Adaptronik basieren die Forschungsansätze des DLR im Bereich Kabinenlärm. Dieses spiegelt sich wider in der aktuellen Beteiligung am LUFO-III Projekt „KATO-Passagier“ und dem internen DLR-Projekt CoSiCab (Comfortable and Silent Cabin). Ziel ist die Vermessung, Simulation und Minderung des Schalls im Kabineninnenraum.

Trotz der großen praktischen Bedeutung besteht zum Thema Kabinengeräusch aktuell ein erhebliches Wissensdefizit sowohl in der Anwendung bei Airbus, wie in der Forschung. Die beteiligten Schallquellen setzen sich zusammen aus externen Quellen wie dem Strahlärm, den Körperschallanteilen des Triebwerks und dem Rumpfgrenzschichtgeräusch. Als interne Schallquellen treten hydraulische Systeme und Klimaanlage auf. Während die externen Quellen über Schwingungen der Rumpfstruktur in das Innere übertragen werden, handelt es sich bei den Klimaanlagen um aeroakustische Quellmechanismen, die den Umströmungsgeräuschquellen sehr ähnlich sind. Komponenten von Klimaanlagenrohrsystemen werden im Akustischen Windkanal Braunschweig akustisch vermessen. Deren Ankopplung an eine generische Kabinenumgebung wird in den generischen Kabinenaufbauten am DLR in Göttingen durchgeführt, wobei Daten einerseits für die Validierung von Simulationsverfahren, andererseits zur Bewertung von Minderungsmaßnahmen ermittelt werden.

Die Do 728 eröffnet die Möglichkeit, die Bedeutung der Klimaanlage gegenüber externen Quellen für das Kabinengeräusch zu ermitteln. Dabei wird man auch den Lärmunterschied in Abhängigkeit zur Sitzposition innerhalb der Maschine herausfiltern können. Die aus den Ergebnissen entwickelten Lärmminderungsmaßnahmen für die Klimaanlage können im Anschluss realistisch erprobt und bewertet werden.

Schalldämpfungsmaßnahmen

Das Ziel der Forschungsarbeiten im Bereich Adaptronik ist die Entwicklung kostengünstiger und leistungsfähiger aktiver Systeme zur aktiven Lärmunterdrückung, die komplementär zu passiven Maßnahmen insbesondere im tieffrequenten Bereich (bis 500 Hertz) eingesetzt werden können. Voraussetzung ist die Verwendung von Sensoren und Aktuatoren basierend auf Multifunktionswerkstoffen, wie z.B. die Piezokeramiken. Kombiniert mit Reglersystemen wird solch ein aktives System in die Lage versetzt, trotz variierender operationeller Bedingungen den Lärm zu unterdrücken. Das Wirkprinzip basiert auf dem des „Active Structural Acoustic Control (ASAC)“, das zum Ziel hat, die Schall abstrahlenden strukturellen Schwingungen zu kontrollieren. ASAC ist insbesondere für den tieffre-



Abb.: Skizze einer Ausstattungsvariante des A380, mit Passagierkabinen auf zwei Decks und Ruheräume fuer die Besatzung im unteren Deck.



Abb. oben: Das Regionalflugzeug Do 728 vor dem Abtransport zum DLR Göttingen.

Abb. unten: Aufbau eines Multi-Kamerasystems zur Beobachtung von Spaltbreiten an Klappen.

quenten tonalen Lärm von Turboprop-Triebwerken geeignet.

Bisher konnten anhand von „kleineren“ Strukturen wie PKW-Dachblechen oder Magnetresonanztomografen Fortschritte mit ASAC-Systemen erzielt werden. Mit der Verfügbarkeit einer Flugzeugkabine wird es erstmalig möglich, die Leistungsfähigkeit von adaptiven Maßnahmen in großem Maßstab an einer realen Struktur zu untersuchen, zu verifizieren und zu demonstrieren. Innerhalb der Kabine wird eine Reduzierung des tonalen Lärms um fünf bis zehn Dezibel durch ASAC erwartet.

Bisher wird im DLR-Projekt CoSiCab in einem rechnergestützten integrativen Entwurfsprozess ausschließlich die strukturelle und akustische Modellierung/Simulation in Kombination mit dem Reglerentwurf durchgeführt.

Durch die Verfügbarkeit einer Rumpfstuktur, kann dieser Entwurfsprozess durch die Integration einer Systemidentifikation in den Entwurfsprozess deutlich verbessert werden, da die Rechenmodelle mit den experimentellen Daten verifiziert werden können. Basierend auf den Ergebnissen einer rechnergestützten Auslegung werden die piezokeramischen Flächenaktuatoren und adaptive Tilger entwickelt und schließlich gefertigt. Von zentraler Bedeutung ist die Systemintegration aller adaptiven Komponenten (Flächenaktuatoren, adaptive Tilger, Reglerhardware, Leistungselektronik, etc.) in die Rumpfstuktur und die nachfolgende experimentelle Erprobung der Leistungsfähigkeit des ASAC-Systems.

Entstehung von Grenzschichtlärm

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik können durch äußere akustische Beschallung oder gezielte Krafterregung Vibrationen in die Flugzeugzelle eingeleitet werden, die etwa Grenzschicht- und Triebwerkslärm oder Triebwerksvibrationen simulieren. Als Antwort der Flugzeugzelle auf diese externe Erregung werden deren Schwingungsverhalten sowie der Lärm in der Flugzeugkabine gemessen. Ziel ist die experimentelle Systemidentifikation. Auf Basis der so gewonnenen Messdaten kann die Strukturmodellierung für den Bereich akustischer Frequenzen angepasst werden. Im engen Zusammenspiel von Experiment und Simulation können so typische

Übertragungswege und deren Beitrag zum Kabinenlärm identifiziert werden.

Kabinenklimatisierung und thermischer Komfort

Eine der vielfältigen Aufgaben und Anforderungen an Kabinensysteme ist es wohl, temperierte Luft aus der Flugzeugklimaanlage zur Verfügung zu stellen. Bei der Auslegung der Luftsysteme greifen die Ingenieure bisher hauptsächlich auf empirisch gewonnene Erkenntnisse über Wechselwirkungen an einzelnen Bauteilen zurück, die heute vermehrt durch modernste Berechnungs- und Diagnosemethoden ergänzt werden. So werden für die Berechnungen von Strömungsvorgängen, die das Raumklima und die Lärmbelastung in Flugzeugkabinen wesentlich beeinflussen, verstärkt Computational Fluid Dynamics (CFD) Methoden eingesetzt. Allerdings sind die hierfür benötigten Turbulenzmodelle noch nicht für Vorhersagen von derart dreidimensionaler und stark Drall behafteter Strömung optimiert. Daher werden gleichzeitig modernste Lasermesstechniken verwendet, um im Vergleich mit Experimenten die bestmöglichen Simulationstechniken identifizieren zu können.

In den Arbeiten am Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik befassen sich DLR-Wissenschaftler mit vielen Themenkomplexen, wie beispielsweise der Verteilung der Raumluft, die einerseits die gesetzlichen Vorschriften, andererseits die rein subjektiven Empfindungen der Passagiere berücksichtigen muss. Um letzteres zu messen sollen in Zukunft in Zusammenarbeit mit der Abteilung Flugpsychologie in Hamburg Untersuchungen mit Probanden durchgeführt werden.

Die komplexen Strömungsformen in der Flugzeugkabine führen zu anspruchsvollen thermischen Anforderungen an die Klimaanlage. So müssen für jeden Passagier 150 Watt Wärmeleistung aus der Flugzeugkabine abgeführt werden, im Flugdeckbereich sind es aufgrund der umfangreichen Avionikanlagen sogar vier bis fünf Kilowatt. Nicht zu vergessen, dass die Luft ursprünglich aus dem Triebwerkssekundärluftsystem stammt und daher die Temperatur der etwa 1,7 kg/s Luft vor Eintritt in die Kabine von 200 Grad Celsius auf erträglichere 21 bis 27 Grad Celsius gesenkt werden muss. Entsprechend komplex gestaltet sich die Kühlanlage. Bei der Strömungsführung

sind aufgrund der geringen Geschwindigkeiten von ca. 20 bis 27 Metern in der Sekunde auch Einflüsse der thermischen Konvektion und der solaren Wärmestrahlung nicht zu vernachlässigen, was auch zu entsprechenden Schwierigkeiten bei der Berechnung der Strömung mit CFD Methoden führt.

Auch in diesem Zusammenhang bietet der Versuchsträger Do 728 die einzigartige Möglichkeit, neue Kabinensysteme zu testen und Neuentwicklungen im Bereich der Simulationsverfahren zu überprüfen.

Flugmesstechnik

Mit dem Ziel, die Deformationen von Flugzeugteilen, die Oberflächendruckverteilungen und Geschwindigkeitsfelder vermessen zu können, müssen bildgebende Messverfahren, die bereits im Windkanal erfolgreich angewendet sind, weiterentwickelt werden.

Für die bildgebenden Messverfahren werden hochauflösende CCD-Kameras verwendet. Für jede Messaufgabe müssen der Platzbedarf der Kameras, die Sichtbarkeit des Gebietes bzw. Flugzeugteiles, das beobachtet werden soll, und die optische Qualität der Fenster (Schlierenfreiheit, Polarisierung des Lichtes etc.) sichergestellt werden. Diese Fragestellungen können exemplarisch mit Versuchsaufbauten im Do 728 Rumpf verfolgt werden, ohne dass hohe Bereitstellungskosten für ein Flugzeug des DLR anfallen.

Mobile bildgebende Messtechniksysteme lassen sich nur unter besonderen Voraussetzungen erfolgreich im Flugzeug integrieren. Durch konsequente Durchführung von Mock-up-Untersuchungen und Anwendungs-Checks vor dem eigentlichen Test im Flug können die wissenschaftliche und technische Aussagekraft von Messungen erheblich gesteigert und gleichzeitig der Kostenaufwand reduziert werden. Das Training und die Umsetzung der Erfahrungen bei der Installation der Komponenten im Flugzeugrumpf sind notwendige Schritte bei der Weiterentwicklung von Flugmesstechnik.

Dr. Claus Wagner ist Leiter des Fachgebiets „Numerische Simulation technischer Strömungen und Kabinenaerodynamik“, Prof. Dillmann ist Leiter des Institutes für Aerodynamik und Strömungstechnik, DLR Göttingen. ◀