

An

Die erfolgreiche Zusammenarbeit des DLR mit seiner französischen Partnerorganisation ONERA auf dem Gebiet der Aeroelastik hat eine jahrzehntelange Tradition. Das betrifft einerseits Standschwingungsversuche an Prototypen von Großflugzeugen wie dem Airbus A380-800, die vom Department DDSS und dem Institut für Aeroelastik gemeinsam durchgeführt wurden.

Andererseits werden viele gemeinsame Fortschritte durch aeroelastische Windkanalexperimente in Modane oder Göttingen und Kooperationen im Bereich der numerischen Simulationen erzielt. Jüngstes Beispiel sind die hier beschriebenen Ergebnisse eines Windkanalexperiments und der dazu gehörenden numerischen Simulation, die die Flügel-Triebwerksinterferenz im Hinblick auf aeroelastische Effekte zum Thema haben.

Die ersten gemeinsamen Versuche an einem realitätsnahen schwingenden Einzeltriebwerk mit Strahlsimulation wurden im Jahre 1986 im Niedergeschwindigkeitswindkanal

in Göttingen und danach im transsonischen Windkanal der ONERA in Modane durchgeführt. Bereits damals bildete sich eine Arbeitsteilung heraus, die im Hinblick auf Synergieeffekte so angelegt war, dass sich die jeweiligen Fähigkeiten und Stärken ergänzten und damit auch Projekte von sehr hohem Komplexitätsgrad bearbeitet werden konnten.

Lange Tradition

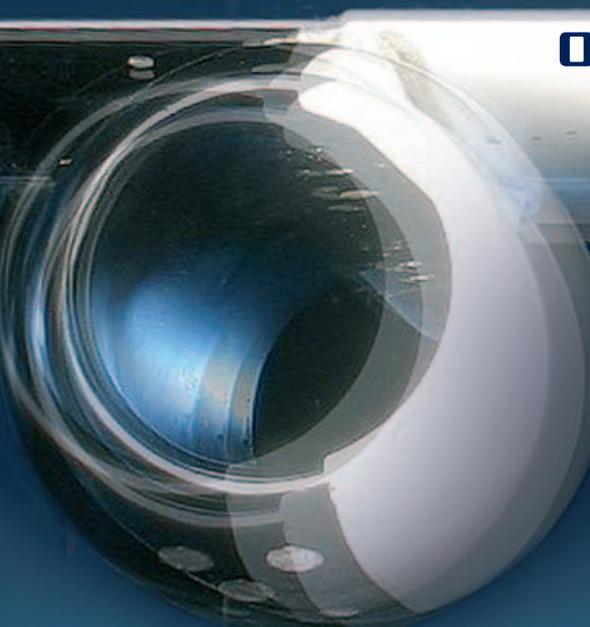
Die damalige Arbeitsteilung ist zum Teil jetzt noch sichtbar. So sind zum Beispiel die Schwingungserregung und deren Regelung bis heute eine Domäne der französischen Kollegen, während das Institut für Aeroelastik die damals sehr neue Piezokraftmesstechnik eingebracht hat. Diese und andere Aspekte der Kooperation werden hier am Beispiel des Projekts WIONA (Wing with Oscillating NAcelle) beschrieben. In WIONA wird eine generische Flügel-Triebwerkskombination experimentell und numerisch untersucht, bei der sowohl der Flügel selbst als auch das über einen Pylon angehängte Triebwerk zu Schwingungen angeregt werden können.

DLR/ONERA
Windkanalmodell WIONA
im DNW-RWG

gerech

ONERA und DLR studieren Flügel-Triebwerks-Schwingungen

Von Günter Schewe und Guido Dietz



In der ersten gemeinsamen Untersuchung 1986 wurden realitätsnahe Modelle untersucht. Diese waren ebenfalls im Fokus des Projekts „Aeroelastisches Modellprogramm“, das mit der ONERA und dem Industriepartner Airbus 1989-1991 durchgeführt wurde. Anfang der Neunzigerjahre kam es zu einem vom Institut bewusst vollzogenen Methodenwechsel hin zu generischen Experimenten. Die Versuche mit

sehr flugzeugähnlichen Modellen lieferten zwar die gewünschte Datenbasis für eine konventionelle lineare Flutteranalyse. Es hatte sich aber auch gezeigt, dass der hohe Grad an Komplexität der gewünschten Verbesserung für das physikalische Verständnis der Flutterphänomene nicht zuträglich war. Ferner kam hinzu, dass in dieser Zeit die per se nichtlineare Natur der aeroelastischen Phänomene in das Zentrum

des wissenschaftlichen Interesses rückte. Deswegen wurden die folgenden Experimente als generische angelegt. Dies hat nicht nur den Vorteil größerer Allgemeingültigkeit, sondern auch zusätzlich den Vorteil, dass eine numerische Simulation durch eine weniger komplexe Konfiguration erleichtert wird. Generisches Experiment heißt: Reduktion der Komplexität des Problems auf

den „absolut“ notwendigen Kern, damit die fundamentalen physikalischen Prozesse in Reinkultur untersucht werden können. Der Hintergedanke bei dieser grundlagenorientierten Vorgehensweise besteht darin, dass auf der Basis eines verbesserten physikalischen Verständnisses strömungserregte Schwingungen von vornherein vermieden werden können. Mit anderen Worten, auftretende Probleme an Prototypen sollen an der Wurzel saniert werden, anstatt dass an Symptomen kuriert wird. In diesem Sinne wurde zum Thema „Nichtlineare Effekte beim transsonischen Flattern“ eine Serie von Experimenten mit schwingenden generischen Modellen wie zweidimensionalen Flügelsegmenten und einem Ringflügel im transsonischen Windkanal durchgeführt, die das Wissen über die Einzelkomponenten

Weniger ist mehr

Probleme an Prototypen

sollen an der Wurzel saniert werden, anstatt dass an Symptomen kuriert wird. In diesem Sinne wurde zum Thema „Nichtlineare Effekte beim transsonischen Flattern“ eine Serie von Experimenten mit schwingenden generischen Modellen wie zweidimensionalen Flügelsegmenten und einem Ringflügel im transsonischen Windkanal durchgeführt, die das Wissen über die Einzelkomponenten

besonders im Hinblick auf die nicht-linearen Effekte signifikant erweitert haben. Im letzten Schritt dieser Serie von Untersuchungen wurden die Komponenten Flügel und Ringflügel in Kombination untersucht. Dies geschah zusammen mit den französischen Kollegen von der ONERA im Projekt WIONA.

Warum kann überhaupt ein schwingendes Triebwerk einen signifikanten Einfluss auf die Flatterstabilität eines großen Flugzeugs haben? Um Kraftstoffverbrauch, Schadstoffausstoß und Lärmemissionen von Flugzeugtriebwerken zu senken, wurde in den letzten zwei Jahrzehnten das so genannte Bypass-Verhältnis der Triebwerke

Begrenzende Faktoren

schrittweise erhöht. Dieses Maß gibt das Verhältnis der Massenströme von Mantel- und Kernstrahl an und kann durch entsprechende Vergrößerung des Gebläsedurchmessers der Triebwerke erhöht werden. Damit ist, bezogen auf typische Ausmaße des Flügels, zwangsläufig eine Vergrößerung der gesamten Triebwerksgondel verbunden. Dies hat weit reichende Konsequenzen für das aerodynamische und aeroelastische Verhalten des Gesamtsystems Flügel-Triebwerk. Nicht nur der Luftwiderstand kann wachsen, sondern es können auch Interferenzeffekte entstehen, die zu selbsterregten Strömungssoszillationen führen. Es lässt sich allgemein feststellen, dass die Neigung zu aeroelastischen Instabilitäten, wie dem gefürchteten Flügel-flattern, in dem Maße steigt,

wie die Größe und damit die Elastizität der Flügel zunimmt. Diese negativen Tendenzen werden durch die größer und schwerer gewordenen Triebwerksgondeln zusätzlich verstärkt. Die vorgenannten Tendenzen machen deutlich, dass mögliche aeroelastische Instabilitäten als entscheidende begrenzende Faktoren beim Bau großer Flugzeuge angesehen werden. Bei Testflügen hat man beobachtet, dass es im Bereich zwischen Flügel, Triebwerk und seiner Aufhängung zu starken selbsterregten Strömungsschwingungen kommen kann. Die dadurch entstehenden aerodynamischen Wechselkräfte verursachen unzulässige Vibrationen der Struktur. Wenn solche Phänomene erst in einem späten Entwicklungsstadium entdeckt werden, sind Gegenmaßnahmen nicht nur zeitaufwändig, sondern auch teuer. Ein wichtiges Ziel der Forschung besteht darin, speziell dieses Phänomen besser zu verstehen, damit es bei zukünftigen Flugzeugentwürfen von vornherein vermieden wird.

Basierend auf den Erfahrungen und Erkenntnissen aus den oben genannten reinen DLR-Aktivitäten zum Themenkomplex transsonisches Flattern wurde dann mit den Kollegen vom DDSS-Department ein generisches Experiment einer Flügel-Trieb-

werkskombination geplant und aufgebaut. Gemessen wurde dann an einem generischen Flügelmodell mit angehängter Triebwerksgondel in der adaptiven Messkammer des transsonischen Windkanals DNW-TWG. Außerhalb der Windkanalwände verbarg sich eine hochkomplexe Mess- und Versuchstechnik zur Schwingungserregung und zur Messung der Bewegungsgrößen, der aerodynamischen Kräfte, des Strömungsfeldes und des Oberflächendruckes. Die Messtechnik basierte zum größten Teil auf optischen Verfahren und war damit berührungslos. Der Gewinn durch Reduktion an Modellkomplexität ist offensichtlich. Die optische Zugänglichkeit ist besser als bei realitätsnahen Konfigurationen, was den Einsatz aller modernen Strömungsfeldmessverfahren wie Particle Image Velocimetry PIV und den Einsatz druckabhängiger Farben PSP erleichtert. Außerdem ist einleuchtend, dass eine solche



vereinfachte Geometrie auch wegen des hohen Grades an Symmetrie einer numerischen Simulation sehr entgegenkommt. In Flügel und Triebwerksgondel sind unter anderem 160 Miniaturdrucksensoren und 18 Beschleunigungsaufnehmer eingebaut. Das Modell wurde arbeitsteilig von ONERA und DLR ausgelegt, gebaut und ausgerüstet. Im

Einfach, aber kompliziert

Jahre 2003 wurde die erste Messkampagne in unserem Versuchsstand für schwingende Flügel im DNW-TWG Göttingen gemeinsam durchgeführt. Hierbei wurden zur Hauptsache die Funktionsfähigkeit aller Systemkomponenten und das Zusammenspiel der Messtechniken getestet. Nach einigen Modifikationen fand Ende 2005 die wesentliche Messung mit bewegtem Modell statt. In diesem Experiment wurden Kraft- und Druckverteilungsmessungen sowohl bei nickendem Gesamtmodell als auch bei verschiedenen Schwingungsformen der Gondel durchgeführt. Parallel

dazu erfolgten optische Strömungsfeldmessungen durch unsere Göttinger Kollegen aus der Messphysik vom DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik.

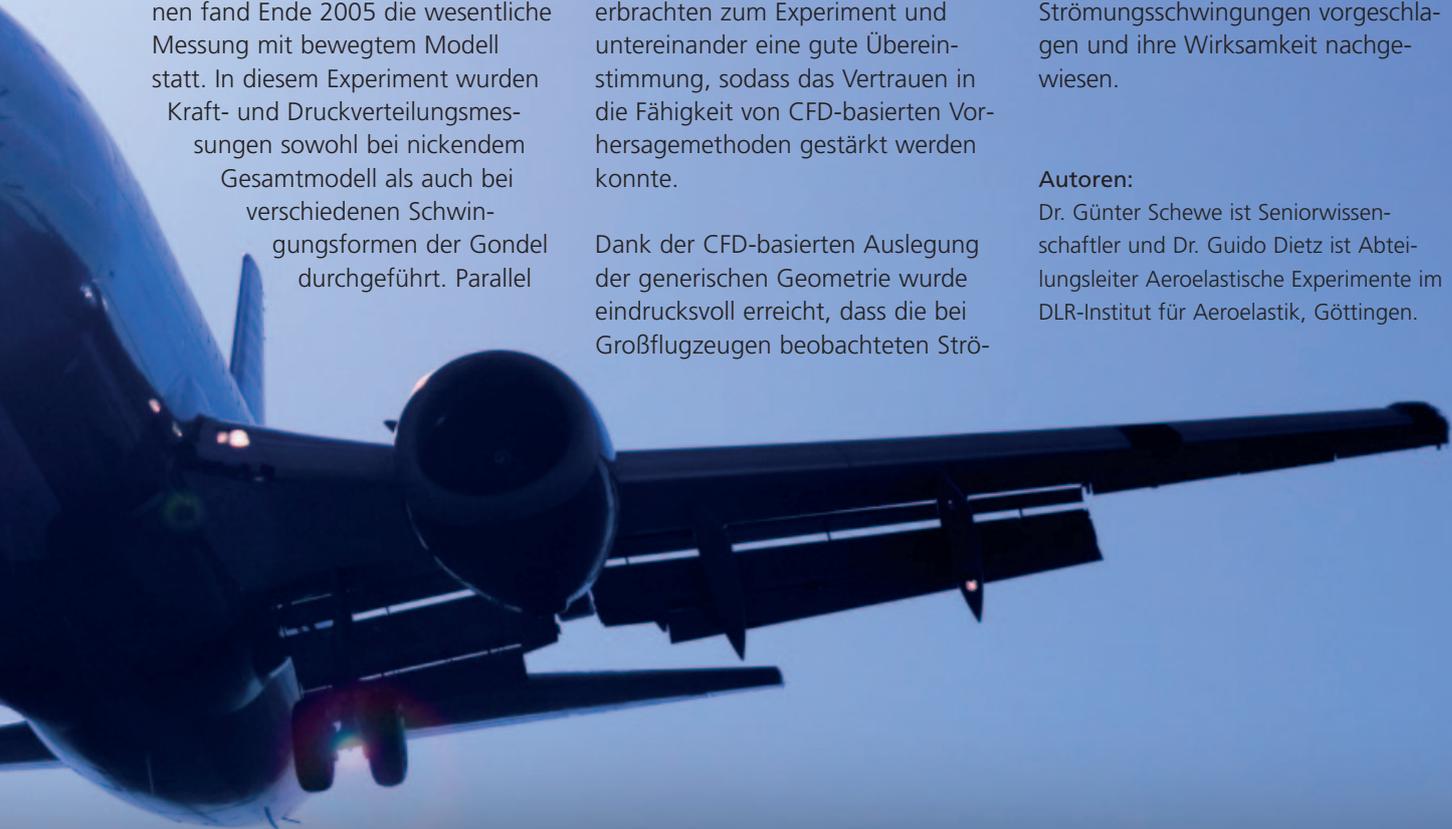
In WIONA wurde das Problem der Flügel-Triebwerksinterferenz in enger Zusammenarbeit von Experiment und Simulation angegangen, um sich aus dem Wechselspiel gegenseitig im Verständnis zu befruchten. Daher wurden von beiden Institutionen numerische Simulationen der entsprechenden Experimente mit ihren jeweiligen Simulationsverfahren DLR-Tau und ONERA-eLSA durchgeführt und dann miteinander verglichen. Die Simulationsergebnisse erbrachten zum Experiment und untereinander eine gute Übereinstimmung, sodass das Vertrauen in die Fähigkeit von CFD-basierten Vorhersagemethoden gestärkt werden konnte.

Dank der CFD-basierten Auslegung der generischen Geometrie wurde eindrucksvoll erreicht, dass die bei Großflugzeugen beobachteten Strö-

mungsschwingungen im Bereich Flügel, Triebwerksgondel und Aufhängung im Windkanalexperiment nachvollzogen werden konnten. Bei entsprechender Modellierung konnten diese Phänomene auch in den numerischen Simulationen wiedergefunden werden. Es ist damit gezeigt worden, dass bei der Reduktion an Komplexität der wesentliche physikalische Mechanismus für die bisher unbekannteren Schwingungsphänomene der Strömung erhalten geblieben war. Diese Phänomene wurden an der generischen Konfiguration systematisch und detailliert untersucht und verstanden. Als ein Ergebnis hieraus wurde eine einfache konstruktive Gegenmaßnahme zur Unterdrückung der unerwünschten Strömungsschwingungen vorgeschlagen und ihre Wirksamkeit nachgewiesen.

Autoren:

Dr. Günter Schewe ist Seniorwissenschaftler und Dr. Guido Dietz ist Abteilungsleiter Aeroelastische Experimente im DLR-Institut für Aeroelastik, Göttingen.



unerwünscht