



Dornier Do 728

Ein Versuchsträger für die
Kabinenforschung im DLR



Komfortabel fliegen – Herausforderung für die Luftfahrtforschung

Das Fliegen soll für den Passagier so angenehm wie möglich sein, gerade in der nächsten Generation von Flugzeugen. Der Komfort spielt in der modernen Flugzeugentwicklung eine wesentliche Rolle. Psychologische Untersuchungen zeigen, dass die Bedingungen in der Kabine einen hohen Anteil am Gesamteindruck und am Wohlbefinden eines Passagiers an Bord eines Flugzeugs besitzt. Maßgeblich für die Behaglichkeit in der Kabine ist neben der Luftqualität die Lärmwirkung auf die Flugpassagiere. Die Kabineneinrichtung, die Temperaturbedingungen, der Lärmpegel und die Luftströmung in der Kabine sind deshalb wichtige Entscheidungskriterien für oder gegen eine Fluglinie.

Im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) arbeiten Experten für Strömungsmechanik, Thermodynamik, Akustik, Aeroelastik, Medizin, Psychologie und Strukturmechanik unter der Leitung des Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik in dem interdisziplinären Forschungsprojekt „Comfortable and Silent Cabin (CoSiCab)“ zusammen, um die gestiegenen Anforderungen für Kabinensysteme der zukünftigen Flugzeuggenerationen effizient zu realisieren. Die vielfältigen zu lösenden Aufgaben reichen von der effektiven Energieversorgung für das Unterhaltungsprogramm bis hin zu Sicherstellung von angenehmen Temperaturen in der Kabine.

Kompetenzen des DLR für die Kabinenforschung

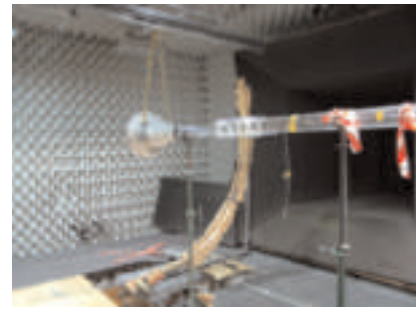
Das DLR ist in der Lage, mit seinen Kompetenzen in

- **Aeroakustik**
- **Aerodynamik für Kabineninnenströmung**
- **Messtechnik und Simulation**
- **Strukturdynamik**
- **Adaptronik und Faserverbundleichtbau**
- **Medizin und Psychologie**

die gesamten Pfade der Schallentstehung und der Schalltransmission in einer Flugzeugkabine zu erforschen und geeignete Maßnahmen der Schallreduktion zu entwickeln. Jede beteiligte Fachdisziplin verfügt über spezialisierte Versuchsanlagen, die sowohl grundlagen- als auch anwendungsorientierte Messungen unter Simulation der Verhältnisse im fliegenden System ermöglichen. Mit Forschungen an einer realen Flugzeugkabine kann das DLR wesentlich zur Erhöhung des Komforts hinsichtlich

- **Schallentstehung, Schalltransmission und dessen Bedämpfung**
- **Klima und Kabinenströmung und**
- **Physiologischer Wirkung der Kabinenumgebung**

beitragen.



Akustikmessungen



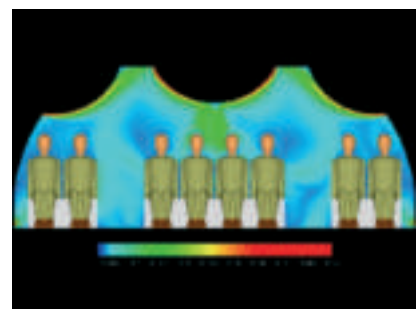
Demontage



Innenausbau



Probanden



Simulation



Ein Versuchsträger für die Kabinenforschung im DLR

Dornier Do 728 – ein Prototyp als Versuchsträger

Mit der Anschaffung des Passagierflugzeugs Dornier Do 728 steht dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Standort Göttingen ein Forschungsflugzeug zur Verfügung, in dem zukünftig wichtige Forschungsarbeiten zu Themen aus den Bereichen Kabinenklimatisierung und Kabinenakustik durchgeführt werden. Die DLR-Institute für

Strukturmechanik, Aerodynamik und Strömungstechnik, Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Luft- und Raumfahrtmedizin, Technische Thermodynamik sowie das Institut für Aeroelastik nutzen diese neuen Forschungsmöglichkeiten. An dem gemeinsamen Versuchsträger können eine Vielzahl von Untersuchungen sehr viel vollständiger simuliert werden als in anderen Versuchsanlagen.

Aufrüstzeiten und -reisen für fast alle Versuche, die üblicherweise beim Flugzeughersteller durchgeführt werden, können signifikant reduziert werden. Ein Novum für die Forschung stellt die Verfügbarkeit einer in allen technischen Funktionen intakten Flugzeugzelle dar. Die Möglichkeit des direkten Zugriffs auf diese intakte Flugzeugzelle der DO 728 bietet dem DLR die unvergleichliche Chance, herausragende Kompetenz für die Steigerung des Komforts der Passagiere zu erarbeiten. Auf Grundlage dieses Know-hows ist das DLR in der Lage, europäische Flugzeughersteller in der Entwicklung von Flugzeugkabinen entscheidend zu unterstützen.

Forschung an der Do 728

Ziele und Möglichkeiten

- Fokussierung der DLR Kabinenforschung auf großskalige Konfigurationen
- Bündelung verschiedenster Kompetenzfelder auf eine „echte Konfiguration“
- Zwang zur Integration durch Komplexität des Versuchsträgers Do 728
- Untersuchung der Kabinenströmung an der realen Konfiguration mit Interieurdetails
- Forschung mit direktem Bezug zum Passagier – kein Modellansatz, keine Skalierung
- Erhöhung der Sichtbarkeit der Kabinenforschung im DLR – kundenorientierte Auftragsforschung

Messungen in der Do 728 als Versuchsträger – das Kernstück der experimentellen Arbeiten im Projekt CoSiCab+

- Experimentelle Untersuchung der Mischkonvektion in der Do 728
- Validierung von numerischen Verfahren der CFD-Simulation von Raumluftströmungen
- Untersuchung der Temperaturverteilung und Entwicklung von Konzepten zu deren Steuerung in Kabinen



- Numerische Vorhersage des Raumklimas in Flugzeugkabinen, Klimakomfort Modell -> Subjektives Wohlbefinden als Messgröße
- Weiterentwicklung bildgebender Messverfahren der Flugmesstechnik
- Schallintensitätsmessung in der Flugzeugkabine
- Strömungakustische Verbesserung an Lüftungssystemen
- Integriertes Brennstoffzellensystem zur Maßgeschneiderten Energie- und Wasserversorgung des Kabinenmoduls
- Sitzkomfort, Thromboserisiko und Sauerstoffpartialdruck
- Telemedizin „inflight onboard“
- Aktive Struktur-Akustik-Regelung für den Versuchsträger Do 728

Schalldämpfungsmaßnahmen durch Adaptronik

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 Hz) 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)“, welches zum Ziel hat, die schallabstrahlenden strukturellen Schwingungen zu kontrollieren. ASAC ist geeignet für den tieffrequenten breitbandigen und tonalen Lärm strahl- und turbopropgetriebener Flugzeuge.

Entstehung von Grenzschichtlärm

Lärm in der Flugzeugkabine entstammt unterschiedlichen Quellen. Durch die Umströmung werden der Außenhaut Druckschwankungen aufgeprägt. Ferner induzieren Baugruppen wie die Triebwerke Vibrationen im hörbaren Frequenzbereich in die Flugzeugstruktur. Diese Vibrationen werden über Körperschall durch die Struktur übertragen bis hin zu Kabinenelementen wie der Verkleidung, wo sie Schall in den Passagierraum abstrahlen.

In Zusammenarbeit der Institute für Aerodynamik und Strömungstechnik, Faserverbundleichtbau und Adaptronik und Aeroelastik können durch äußere akustische Beschallung oder gezielte Kräfteerregung Vibrationen in die Flugzeugzelle eingeleitet werden, die etwa Grenzschicht- und Triebwerkslärm oder Triebwerksvibrationen simulieren. Als Reaktion der Flugzeugzelle auf diese externe Erregung werden deren Schwingungsverhalten sowie der Lärm in der Flugzeugkabine gemessen. Im engen Zusammenspiel von Experiment und Simulation können so typische Übertragungswege und deren Beitrag zum Kabinenlärm identifizieren 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 drallbehafteter Strömung optimiert. Daher werden gleichzeitig modernste Lasermesstechniken verwendet, um im Vergleich mit Experimenten die bestmöglichen Simulationstechniken identifizieren zu können.

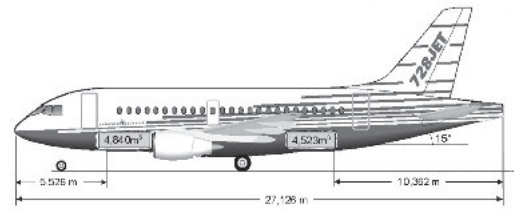
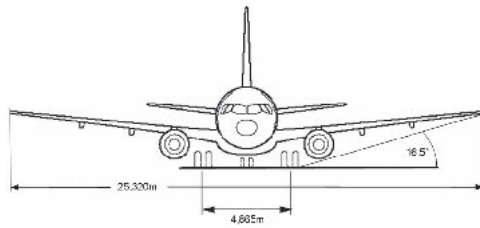
In den Arbeiten des Instituts für Aerodynamik und Strömungstechnik befassen sich DLR Wissenschaftler mit vielen Themenkomplexen, wie beispielsweise der Verteilung der Raumluft, die einerseits die gesetzlichen Vorschriften, andererseits das rein subjektive Empfinden der Passagiere berücksichtigen muss. Um letzteres zu messen, werden in Zusammenarbeit mit der Abteilung Flugpsychologie des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin in Hamburg Untersuchungen mit Probanden durchgeführt.

Die komplexen Strömungsformen in der Flugzeugkabine führen zu anspruchsvollen thermischen Anforderungen an die Klimaanlage. So müssen für jeden Passagier 150 W Wärmeleistung aus der Flugzeugkabine abgeführt werden, im Flugdeckbereich sind es aufgrund der umfangreichen Avionikanlagen sogar 4 bis 5 kW. Dazu wird im Flugbetrieb die ca. -55° C kalte Umgebungsluft zur Kühlung und zur Frischluftversorgung genutzt. Diese sehr trockene Luft wird mit aufbereiteter Kabinenluft gemischt und mit 14 bis 18° C der Kabine zugeführt, so dass sich in der Kabine angenehme 21 bis 27° C einstellen. Entsprechend komplex gestaltet sich die Klimaanlage.

Bei der Strömungsführung innerhalb der Kabine sind aufgrund der geringen Geschwindigkeiten von ca. 0,1 m/s bis max. 1,24 m/s 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.

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





Flugmesstechnik

Flugmesstechnik

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

Für die bildgebenden Messverfahren werden hochauflösende CCD-Kameras verwendet. Für jede Messaufgabe muss 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 Problemstellungen 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 der eigentlichen Messung 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.

Realisierung des Projektes Do 728

Das Projekt unterteilt sich in zwei Teilabschnitte

1. Bau einer Halle zur Unterbringung der Dornier Do 728

- Abriss
- Nordanbau (Öllager)
 - Schornstein

- Sanierung
- Hallendach
 - Fenster
 - Fußboden
 - Außenwandisolation

- Neubau
- Hallenerweiterung
 - Galerie

2. Demontage, Transport und Montage des Versuchsträgers

- Demontage
- Bodyfairing, Klappen
 - Leitwerk
 - Druckleitungen, Flügel

- Transport
- Transportvorbereitung
 - Transport nach Göttingen
 - Unterbringung in Haus 15

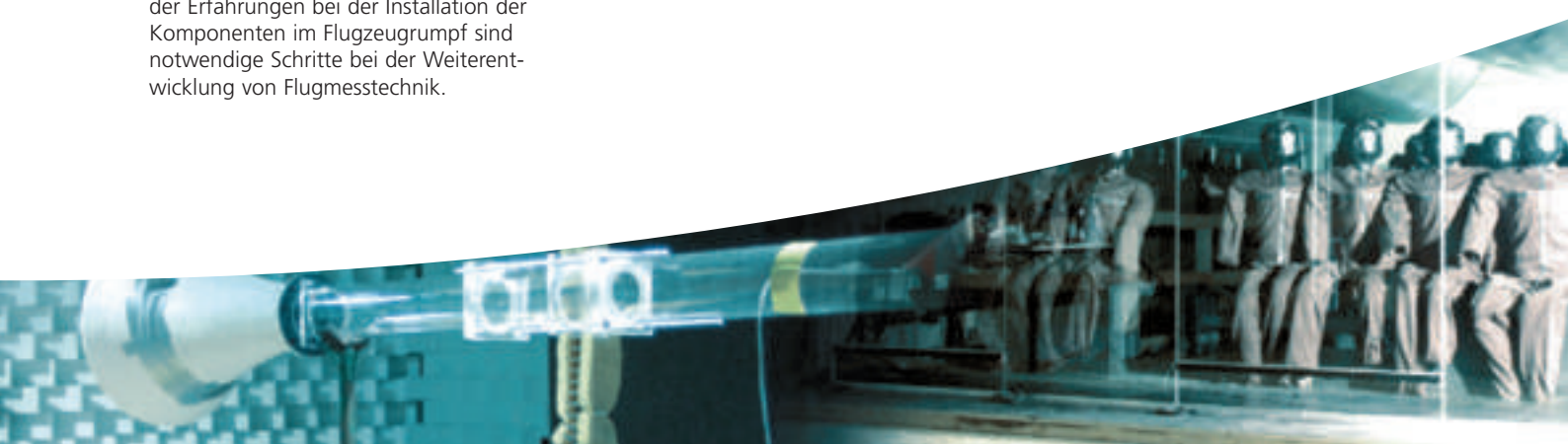
- Montage
- Anbringung Flügel, Bodyfairing etc.
 - Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Klappen etc.

- Innenausbau
- Auslegung
 - Fertigstellung Klimaanlage etc.

- Versuchsträger
- Aufbau der Versuchseinrichtungen
 - Auftragsarbeiten

Technische Daten der Do 728

Typ:	Kurz-/Mittelstrecken-Single-Aisle-Verkehrsflugzeug
Hersteller:	Fairchild Dornier
Triebwerke:	2 x General Electric CF34-8D3
Schub:	2 x 59,1 kN
Spannweite:	25,32 m
Länge:	27,126 m
Höhe:	9,046 m
Flügelfläche:	75 qm
Kabinenlänge:	16,89 m
Kabinenbreite:	3,25 m
Startgewicht:	34.900 kg
Reisegeschw.:	825 km/h
Gipfelhöhe:	12.500 m
Reichweite:	4.700 km
Startgewicht:	34.900 kg
Besatzung:	2 + 2
Passagiere:	70



Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In 28 Instituten und Einrichtungen an den acht Standorten Köln-Porz (Sitz des Vorstandes), Berlin-Adlershof, Bonn-Oberkassel, Braunschweig, Göttingen, Lampoldshausen, Oberpfaffenhofen und Stuttgart beschäftigt das DLR ca. 5.300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Außenbüros in Brüssel, Paris und Washington, D.C.

Die Mission des DLR umfasst die Erforschung von Erde und Sonnensystem, Forschung für den Erhalt der Umwelt und umweltverträgliche Technologien, zur Steigerung der Mobilität sowie für Kommunikation und Sicherheit. Das Forschungsportfolio des DLR reicht von der Grundlagenforschung zu innovativen Anwendungen und Produkten von morgen. So trägt das im DLR gewonnene wissenschaftliche und technische Know-how zur Stärkung des Industrie- und Technologiestandortes Deutschland bei. Das DLR betreibt Großforschungsanlagen für eigene Projekte sowie als Dienstleistung für Kunden und Partner. Darüber hinaus fördert das DLR den wissenschaftlichen Nachwuchs, betreibt kompetente Politikberatung und ist eine treibende Kraft in den Regionen seiner Standorte.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

in der Helmholtz-Gemeinschaft

**Institut für Aerodynamik und
Strömungstechnik**

Bunsenstraße 10
37073 Göttingen

Prof. Dr. Claus Wagner
Telefon: 0551/709-2261
Telefax: 0551/709-2404
E-Mail: Claus.Wagner@dlr.de

www.DLR.de