

# SPECIAL LUFTFAHRTFORSCHUNG

SPECIAL LUFTFAHRTFORSCHUNG



# TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

# Editorial

Die Technische Universität Hamburg-Harburg – als Forschungsuniversität gegründet – setzt konsequent ihren Gründungsauftrag um, zur Stärkung der technologisch-wissenschaftlichen Kompetenz in der Metropolregion Hamburg beizutragen. Die Luftfahrtindustrie ist hier ein wichtiger Partner. In den von der TUHH definierten zehn strategischen Forschungsfeldern, die es erlauben, auch künftig neue Ansätze und Ideen in grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung und Entwicklung aufzugreifen, spielt das Feld Luftfahrttechnik eine besondere Rolle.

Luftfahrttechnik ist ein faszinierendes Forschungsgebiet, das für den Luftfahrtstandort Hamburg große Bedeutung hat. Die luftfahrttechnische Forschung hat sich in den letzten Jahren – nicht zuletzt durch die enge Kooperation mit der Airbus Deutschland GmbH – zu einem für viele wissenschaftliche Arbeitsbereiche der TUHH sehr ansprechenden interdisziplinären Arbeitsgebiet entwickelt. Die Entwicklung verläuft sehr dynamisch und steht in Einklang mit den Bestrebungen Hamburgs, sich als einer der größten Standorte der Luftfahrtindustrie zu positionieren.

Mit diesem Spektrum Special Luftfahrt wird ein wichtiges Forschungsfeld der TUHH exemplarisch dargestellt. Interessierte Leserinnen und Leser werden viele Beispiele luftfahrtrelevanter F&E-Projekte finden, die gleichermaßen faszinierend wie informativ sind. Vor allem zeigt die dargestellte Auswahl die Vielgestaltigkeit und die Leistungsfähigkeit der Kooperation mit Industrie und Wirtschaft im Bereich Luftfahrt.

Das vorliegende Heft verfolgt zwei Ziele: Information und Dokumentation. Es wird dem Namen „Spektrum“ in besonderer Weise gerecht, zeigt es doch ein beeindruckendes Spektrum praxisnaher Forschung, das auch junge Menschen motivieren wird, sich näher mit dem Thema Luftfahrtforschung und -technik in Hamburg zu beschäftigen. Mit hervorragenden und begeisterungsfähigen Köpfen wird es gelingen, technologische Herausforderungen in technische Innovationen zu verwandeln.

Die TUHH ist offen für Studierende und Unternehmen. Lassen Sie uns gemeinsam als Ingenieurinnen und Ingenieure an der Zukunft der Luftfahrt mitarbeiten.

**Prof. Dr.-Ing. Otto von Estorff**

*Vizepräsident Forschung der  
Technischen Universität Hamburg-Harburg*

# Inhalt

## Allgemeines

Luftfahrtforschung an der TUHH	2
AIRBUS Stiftungsprofessur	4
Der Traum vom Fliegen	5

## Forschung

Chronik eines Aufbaus	6
Vibroakustik	7
Systemtechnik neuer Tragflügelentwürfe	8
Genauigkeit muss nicht teuer sein	12
Rain in the Plane	14
Zerstörungsfreie Materialprüfung mit Ultraschall	17
Kommunikationsnetze und -anwendungen	18
Cryoplane	20
Auch Flugzeuge müssen zum Crashtest	23
Wasserversorgungssysteme in Flugzeugen	24
Bohren für den A380	26
Concurrent Engineering beim Airbus A380	28
Rumpfstrukturen aus Faserverbundwerkstoffen	30
Impressum	32



# Luftfahrtforschung an der TUHH

## Innovation für den Luftfahrtstandort

Für die TUHH als junge und forschungsorientierte Universität hat die Luftfahrtforschung eine zentrale Bedeutung. Denn ein wichtiges Aktionsfeld ist die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung mit Industrie und Wirtschaft neben der grundlagenorientierten Forschung. Die Bedeutung für die TUHH unterstreicht, dass sie in ihrem strategischen Forschungsfeld „Transport- und Verkehrssysteme“ der Luftfahrtforschung einen besonderen Stellenwert zugemessen hat. Im Jahr 2002 umfasste das Auftragsvolumen aller Projekte der Luftfahrtforschung an der TUHH mehr als 8,5 Mio. Euro.

Bereits mit Aufnahme des Forschungs- und Lehrbetriebes 1982 in ersten kleineren Projekten hat sich bis heute eine intensive und facettenreiche Zusammenarbeit mit der Luftfahrtindustrie - vor allem mit dem Kooperationspartner Airbus Deutschland GmbH und zunehmend auch mit den kleinen und mittleren Unternehmen der Zulieferindustrie entwickelt. Im Jahr 2002 wurden in der Forschungsk Kooperation mit der Airbus

der TUHH involviert. Das Spektrum reicht von der Systemtechnik und Werkstofftechnik über die Energie- und Produktionstechnik bis hin zur Informations- und Kommunikationstechnik.

Schlüssel für die erfolgreiche Entwicklung der Luftfahrtforschung ist die enge Kooperation mit der Airbus Deutschland GmbH. Herausragender Meilenstein war die Unterzeichnung des Kooperationsvertrages 1990: Stichworte der dort vereinbarten Zusammenarbeit in Forschung und Ausbildung sind die Einrichtung des Studienschwerpunktes Flugzeug-Systemtechnik im Maschinenbau, die gleichnamige Stiftungsprofessur, der Bau des gemeinsamen Technologiezentrums Hamburg-Finkenwerder. Eine Vielzahl technologieorientierter F&E-Projekte sind daran anknüpfend in den vergangenen Jahren gemeinsam mit Airbus und anderen Partnern erfolgreich initiiert und bearbeitet worden beziehungsweise befinden sich im Status der Durchführung. Zu nennen sind z. B. Projekte zu Themen wie Vibroakustik, Faserverbundwerkstoffe (CFK), Hochauftriebssysteme und Power Optimised Aircraft.

Die Luftfahrtindustrie hat auch für den Industrie- und Wirtschaftsstandort Hamburg einen besonderen Stellenwert. Luftfahrt ist im Senatskonzept „Wachsende Stadt“ als ein wichtiges Kompetenz-Cluster mit internationaler Ausstrahlung definiert. Hamburg investiert in seine Zukunft als drittgrößter Standort der zivilen Luftfahrtindustrie neben Toulouse und Seattle. Um diese Investitionen zu untermauern, hat sich ferner eine Luftfahrtallianz in Hamburg gebildet, die im Rahmen einer Qualifizierungsinitiative Luft- und Raumfahrt für einen der wichtigsten Standortfaktoren sorgt: „brainpower“. Ausbildung in Hochtechnologiefeldern ist notwendig, um den hochqualifizierten Ingenieur Nachwuchs und darüber hinaus die Systemkompetenz des Standortes zu sichern. Dieses war einer der Gründe für die Einrichtung des Arbeitsbereichs Flugzeug-Systemtechnik an der TUHH.

Im Rahmen der transnationalen Airbus-Unternehmensstruktur liegt bei Airbus

Deutschland GmbH die Verantwortlichkeit für die Endlinie der kleineren Airbus-Typen, d.h. wesentliche Verantwortungen für das Gesamtflugzeug. Im Entwicklungsbereich beherbergt Airbus Deutschland GmbH in Hamburg u. a. das „Center of Competence“ für Bord- und Kabinensysteme, was im Rahmen der neuen Airbus-Unternehmensstruktur für europaweite Technologieführerschaft steht. Dieses Gebiet stellt bei Airbus Deutschland eine entscheidende Kernkompetenz dar, die mit ihrer gesamten Wertschöpfungskette von Forschung über Entwicklung, Integrationstests bis zur Fertigung in Deutschland integriert ist, und die es abzusichern und zu verstärken gilt. Bestrebung ist es, diesen wichtigen ingenieurwissenschaftlichen F&E-Bereich in Hamburg weiter zu entwickeln.

Ausgehend von diesen Konstellationen und den positiven Erfahrungen einer durch ein win-win-Verhältnis geprägten Zusammenarbeit ist ein Ausbau der F&E-Kapazitäten am Luftfahrtstandort Hamburg initialisiert worden. Ende 2002 konnte eine Vereinbarung über einen neuen TUHH Arbeitsbereich unterzeichnet werden, der von Airbus Deutschland GmbH gestiftet wird. Die Airbus Deutschland GmbH wird 1,5 Mio. Euro für diesen Arbeitsbereich mit dem Titel „Flugzeug-Systemintegration“ zur Verfügung stellen. Mit dem neuen Stiftungsarbeitsbereich, der im Technologiezentrum Hamburg-Finkenwerder loziert sein wird, und der zugehörigen Stiftungsprofessur kann die erfolgreiche Kooperation in Forschung und Lehre weiter intensiviert und vertieft werden. Mit dieser Professur wird

- das Studienangebot im Bereich Flugzeug-Systemtechnik erweitert,
- die Ausbildungskapazität in diesem Zukunftsfeld erhöht und
- das F&E-Potenzial um eine zusätzliche interdisziplinär ausgerichtete Komponente ergänzt.

Ziel der Einrichtung der Stiftungsprofessur in der Forschung ist es, das Thema Systemkompetenz, d. h. die Fähigkeit

Entwicklungen seit 1993

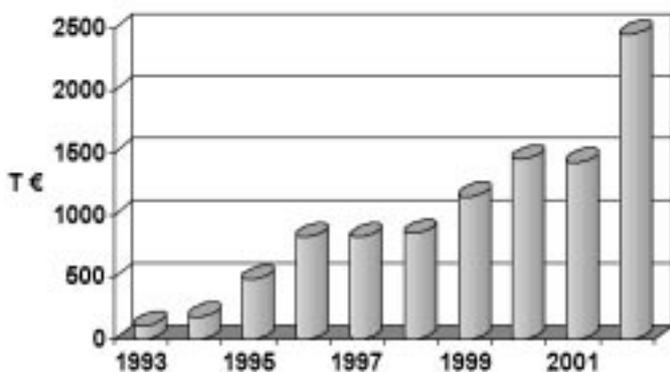


Abb.1  
Forschungsk Kooperation  
Airbus-TUHH;  
Drittumsätze/Jahr

Deutschland GmbH in F&E-Projekten rund 2,5 Mio. Euro umgesetzt (siehe Abbildung). Hinzu kommen Projekte, die mit den kleineren und mittleren Firmen der Zuliefer- und anderen Unternehmen der Luftfahrtindustrie durchgeführt werden. In die luftfahrttechnische Forschung sind nahezu alle technischen Disziplinen



zur Systemintegration von Bord- und Kabinensystemen (u.a. Klimaanlage, Wassersysteme, Kabinenkommunikationssysteme, Frachtsysteme, Evakuierungssysteme) zu vertiefen. Denn mit dem Nutzlast- und Passagiertransport direkt in Verbindung stehende Systeme gewinnen eine zunehmende wirtschaftliche und technologische Bedeutung. Sicherheit, Komfort und Verkehrswachstum stellen an Funktion, Auslegung, Integration und operationelle Effizienz der Kabinen- und Bordsysteme neue Herausforderungen. Diese komplexen Systeme zeichnen sich durch einen sehr engen Bezug zur Gesamtflugzeugauslegung sowie einen hohen Integrationsgrad von elektronischen Teilfunktionen und Subsystemen unterschiedlicher Technologien aus.

Ferner hört gegenwärtig an der TUHH eine ständig ansteigende Zahl von Studierenden die Einführungsvorlesung „Grundlagen der Flugzeugsysteme“ und zeigt damit das stark anwachsende Interesse an einer Ingenieurausbildung beziehungsweise Qualifizierung in diesem Hochtechnologiebereich. Zusätzliche Kapazitäten sind daher erforderlich, um der Forderung nach grösserer Breite der fachspezifischen Ausbildung und der wachsenden Nachfrage im Studienschwerpunkt Flugzeug-Systemtechnik zu entsprechen. Projektierung, Entwicklung und Konstruktion von Flugzeugsystemen erfordern neben dem flugzeug- und luft-

fahrtsspezifischen Wissen ein fachübergreifendes Grundwissen aus den Bereichen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und der Informationstechnologie, was durch eine intensive Verzahnung des Lehrangebots aller beteiligten Disziplinen sichergestellt werden muss.

Mit der Einrichtung des Stiftungsarbeitsbereichs kann die Forschung und Lehre an der TUHH in vielfältiger Weise weiter entwickelt werden. Die Stiftungsprofessur deckt ein zukunftsfähiges, auch für andere Industriezweige zunehmend wichtiger werdendes Forschungsgebiet ab. Die Forschungs- und Entwicklungsprojekte liefern nicht nur neue Erkenntnisse, Patente und Innovationen. In den Projekten arbeiten junge Ingenieurinnen und Ingenieure, die ihr erworbenes Know how später in die Unternehmen und Betriebe über ihre „Köpfe“ einbringen und transferieren. Mit dem neuen Forschungsansatz trägt die Stiftungsprofessur zu einer weiteren Profilierung der TUHH in einem auch aus Sicht des Industriestandortes sehr interessanten und wichtigen Sektor des Hochtechnologiebereichs bei.

#### **Ausblick**

Die Luftfahrtforschung wird an der TUHH auch weiterhin eine strategisch wichtige Größe bleiben und bei der Weiterentwicklung des Forschungsportfolios der TUHH eine wesentliche Rolle spielen. Über

Forschungsprogramme wie das Hamburgische oder nationale Luftfahrtforschungsprogramm und das gerade jetzt beginnende 6.EU- Forschungsrahmenprogramm, das „Aeronautics and Space“ als prioritär ausgewiesenes Themenfeld beinhaltet, sind gute Möglichkeiten gegeben, die Intensität der Zusammenarbeit mit der luftfahrttechnischen Industrie und Wirtschaft in Forschung und Entwicklung noch einmal zu steigern.

So ist die TUHH-Technologie GmbH eingebunden in die Umsetzung des Hamburger Programms zur Förderung der Luftfahrtforschung und- technologie, das u.a. die Stärkung der technologischen Leistungsfähigkeit der Hamburger Luftfahrt, Ausrüster- und Zulieferindustrie zum Ziel hat (siehe [www.luftfahrtstandort-hamburg.de](http://www.luftfahrtstandort-hamburg.de), [www.tutech.de](http://www.tutech.de)). Die TUHH-Technologie GmbH ist darüber hinaus spezialisiert, Antragstellern aus Wirtschaft und Hochschulen bei der Einwerbung von Fördermitteln aus F&E-Programmen der Europäischen Union zu helfen (Antragsunterstützung, Projektmanagement).

Perspektiven ergeben sich dabei sowohl für die Zusammenarbeit mit dem transnationalen Partner Airbus als auch insbesondere mit den kleinen und mittleren Unternehmen der Zulieferindustrie, die sich zunehmend am Standort Hamburg ansiedeln. Die TUHH ist offen für weitere zukunftsweisende Kooperationen.

*Johannes Harpenau*

# AIRBUS Stiftungsprofessur für die TU Hamburg-Harburg

Airbus wird der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) für fünf Jahre eine Stiftungsprofessur für den Aufbau des Arbeitsbereichs „Flugzeug-Systemintegration“ einrichten. Es ist bereits die zweite Professur dieser Art und wird ebenfalls im gemeinsam von Airbus und der TUHH betriebenen Technologiezentrum Finkenwerder platziert.

Ziel ist es, vor allem die Entwicklung von Kabinensystemen zu fördern. Die Vereinbarung wurde von Hans-Joachim Gante, bis 31. Dezember 2002 Vorsitzender der

trag.“ Dr.-Ing. Christian Nedeß ergänzte: „Mit der neuen Stiftungsprofessur wird die Zusammenarbeit zwischen Airbus und der TUHH konsequent ausgebaut. Airbus gebührt großer Dank und hohe Anerkennung für diesen Schritt. Wir sehen uns in unserer Strategie bestätigt, interdisziplinär ausgerichtete Professuren zu schaffen, um für Hamburg wichtige Forschungsfelder noch besser abzudecken. In der Entwicklungsarbeit an der A380 sieht sich die TUHH im engen Schulterschluss mit Airbus.“ Staatsrat Dr. Roland Salchow hob hervor: „Es freut mich sehr, dass Airbus und Senat Hand in Hand daran arbeiten, den Schwerpunkt Luftfahrt des Wissenschaftsstandortes Hamburg zu stärken. Besonders für die Studierenden ist die Stiftungsprofessur ein wichtiges Signal, das der ingenieurwissenschaftliche Nachwuchs im Bereich der Flugzeugtechnik braucht.“

Am Airbus-Standort Hamburg befindet sich das Kompetenz-Zentrum Kabine. Zu diesem Arbeitsanteil gehören erste Gestaltungsideen sowie deren Realisierung, die Konstruktion und die Endmontage. Die technologisch anspruchsvollen Aufgaben umfassen zum Beispiel die Kabinen- und Rumpfsysteme mit Kommunikations-, Informations- und Unterhaltungselektronik, Zugang zu Internet und Satelliten-Fernsehen sowie Energie-Management- und Versorgungssysteme, ebenso Klima- und Frachtlade-Systeme.

Airbus und die TUHH kooperieren seit 1990 erfolgreich in Forschung, Lehre, Ausbildung, Technologietransfer und Weiterbildung. Airbus hat bei Verkehrsflugzeugen eine Spitzenstellung auf dem Weltmarkt erreicht und gilt als Schrittmacher für die Anwendung neuer Technologien. Zwei Jahre später folgte die erste Airbus-Stiftungsprofessur in Flugzeug-Systemtechnik. Die personelle Zusammenarbeit zwischen Airbus und der TUHH ist nicht nur auf den Bereich der Flugzeug-Systemtechnik beschränkt, sondern wird von verschiedenen Arbeitsbereichen der TUHH getragen, die sich insbesondere mit den Themen Kabinentechnik und Inneninstallationen, Akustik, Werkstoff-

technik und -bearbeitung sowie Produktionstechnik beschäftigen. Darüber hinaus unterhalten Airbus und TUHH das Technologiezentrum Finkenwerder (THF) in unmittelbarer Nähe zum Airbus-Werk. Dort erfolgen seit 1995 Forschungsarbeiten im Bereich der Flugzeug-Systemtechnik sowie ergänzende Schulungen.

Airbus ist ein führender Flugzeughersteller mit der modernsten und umfassendsten Produktpalette auf dem Markt. Das weltweit operierende Unternehmen mit Hauptsitz in Toulouse verfügt über Konstruktions- und Fertigungsstandorte in Frankreich, Deutschland, Großbritannien und Spanien und ist mit eigenen Tochtergesellschaften in den USA, China und Japan vertreten. Airbus ist ein EADS-Unternehmen mit BAE SYSTEMS.

Pressestelle



*v.l.n.r.  
Prof. Christian Nedeß,  
Präsident der TUHH;  
Hans-Joachim Gante,  
ehemaliger Airbus-Chef;  
Roland Salchow,  
Staatsrat der Behörde  
für Wissenschaft  
und Forschung*

Geschäftsführung der Airbus Deutschland GmbH, Professor Dr.-Ing. Christian Nedeß, Präsident der Technischen Universität Hamburg-Harburg und Professor Dr. Roland Salchow, Staatsrat in der Behörde für Wissenschaft und Forschung der Stadt Hamburg im Dezember 2002, unterzeichnet.

Hans-Joachim Gante betonte: „Da wir in Hamburg das Kompetenzzentrum für Kabinenausstattung haben, wird die Stiftungsprofessur dazu beitragen, unser Know-how auf diesem Gebiet weiterzuentwickeln. Gleichzeitig werden hochmotivierte Nachwuchskräfte auf ihre anspruchsvollen Aufgaben für das Airbus-Programm vorbereitet. Wir werden unsere führende Position bei der Kabinentechnologie weiter ausbauen und sehen in dem Schulterschluss zwischen Forschung und Industrie einen idealen Bei-

# Der Traum vom Fliegen

## und seine unsichtbaren Nebenwirkungen

Fliegen, so lautet die Devise der neuen Planergeneration von Flugzeugbauern, soll in naher Zukunft dem Reisekomfort eines Autos oder eines Zuges nicht nachstehen. Das bedeutet, dass das Dröhnen aus dem Innenraum des Flugzeugs weitgehend verbannt und dem Passagier nur ein erträgliches Maß an Lärm zugemutet werden soll. Diesem sensiblen und immer öfter in den Ingenieurwissenschaften bearbeiteten Feld der Akustik haben sich mehrere Arbeitsbereiche an der TUHH verschrieben.



Unter der Leitung der Professoren Uwe Weltin und Otto von Estorff ist das Kooperationsprojekt Vibroakustik mit Airbus entstanden, das sich mit der Lärmreduktion in der Passagierkabine beschäftigt. So werden an einem Teilstück eines Flugzeugs im Technologiezentrum Finkenwerder (THF) am Neßpriel 5, direkt gegenüber den Flugzeugmontagehallen von Airbus, seit zirka zwei Jahren akustische Messungen mit optimierten Innenverkleidungen durchgeführt. Damit der erwünschte Reisekomfort erreicht werden kann, müssen neue Dämmstoffe beziehungsweise neue Schichtungsweisen von Isolierungsmaterialien im Innenraum des Rumpfes angebracht werden. Neue Konstruktionsstrukturen und -techniken des Flugzeugbaus sollen helfen, den Schall in der Kabine zu dämpfen und das Wohlbefinden der Passagiere zu steigern. Das Wechselspiel von Lärm im Innen- und Außenraum wird systematisch auch mit neuer Messtechnik untersucht.

Wird das Fliegen nicht mehr nur an seiner Funktionalität und Praktikabilität, sondern auch an seinem Komfort gemessen, rücken weitere Bereiche in das Blickfeld des ingenieurwissenschaftlichen Interesses und stellen dem Flugzeugbauer

neue Herausforderungen: Wie kann das Tropfen der Klimaanlage oder das Performieren des Flugzeug-Bodens durch die Stöckelschuhe von Frauen verhindert, und wie der kalte Zugstrom von Luft an den Türen der Notausgänge im Flieger ausgeschaltet werden? Wer ärgert sich nicht, wenn aus den Ritzen der Kabinenverkleidung Wasser auf den Anzug tropft oder wenn sich die Füße des Passagiers nach zirka 500 Flugmeilen wie Eisklötze anfühlen? Und noch eine Entwicklung lässt sich absehen: derzeit „wachsen“ die Flugzeuge. Schon bald wird sich der A380 als „Riesenvogel“ in die Luft erheben und an prototypischer Technik und faszinierender Größenordnung dem Tanker oder Containerschiff im Hamburger Hafen entsprechen. Diesen steigenden Anforderungen an die Größe und den Komfort, die auf dem ersten Blick den primären Sicherheits- und Stabilitätsbestimmungen eines Flugzeugs widersprechen, gilt das Interesse des modernen und zukünftigen Flugzeugbaus. Denn je mehr Hightech in dem elektronischen „Vogel“ untergebracht wird, desto mehr Zubehör und damit Gewicht muss berücksichtigt werden. Die eng gesteckten Grenzen der physikalischen, ökonomischen, aber auch menschenbedingten Gesetzmäßigkeiten stellen das Know-how der Flugzeugbauingenieure immer wieder vor neue Herausforderungen. Die TUHH betätigt sich nun in vielfacher Hinsicht auf dem Gebiet der Flugzeugforschung. In direkter Kooperation mit Airbus werden Forschungsprojekte durchgeführt und so dem Ruf der Stadt Hamburg als Hightechstandort entsprechen. Auch der einzigartige auditive Prüfstand des Projektteams Vibroakustik an der TUHH ist in diesen Rahmen eingebunden und betritt mit seiner Forschung ingenieurwissenschaftliches Neuland. Mit einem Drittmittelaufkommen von drei Millionen Euro und fünf finanzierten wissenschaftlichen Mitarbeitern entwickelte das Team in Kooperation mit Airbus in den Jahren 2000 bis 2002 hochleistungsfähige Computersimulations-Modelle, mit denen in Zukunft die akustischen Eigenschaften eines Flugzeugs auch ohne Prototyp vor-

hergesagt werden können. Diese Programme eröffnen seit Abschluss des Projekts im Dezember 2002 Airbus neue Möglichkeiten bei der Realisierung neuer Flugzeugbau-Techniken. Vibroakustik gilt damit als Beispiel einer gelungenen Zusammenarbeit von Industrie und Universität im Dienste des Menschen. Technik für Menschen zu entwickeln, und dieses Motto hat sich die Technische Universität Hamburg-Harburg auf die Fahne geschrieben, bedeutet eben auch, eine Technik zu bauen, die dem Menschen eine lärm- und stressfreie Umgebung garantiert.

*Katharina Jeorgakopoulos*



*Das gemeinsam von Airbus und der TUHH betriebene Technologiezentrum Finkenwerder am Neßpriel 5*

# Chronik eines Aufbaus

## Der Akustik-Mock-Up am Neßpriel 5

Seit Dezember 2001 steht in der Halle des THF ein Prüfstand aus dem Bereich der Flugzeugakustik. Dieser im Flugzeugjargon genannte „Mock Up“ ermöglicht es, Messungen des Innengeräuschs, die sonst nur bei sehr kostenintensiven Versuchsflügen durchgeführt werden können, am Boden vorzunehmen.



Das Rumpsegment wird hierbei von außen mit Lautsprechern beschallt, die das Außengeräusch während des Fluges simulieren. Dadurch lassen sich nun vereinfacht die Auswirkungen verschiedener Innenverkleidungen und -ausstattungen auf das Innengeräusch „beim Flug“ untersuchen, und es können die Ergebnisse bestehender akustischer Modell-Berechnungen aus dem Rechner überprüft werden. Die Basis für dieses „Akustik Mock Up“ bildet die Sektion 16 eines Airbus A340, die auf einen speziell angefertigten Prüfstand aufgebockt wurde. Da die Neubeschaffung einer solchen Sektion den Rahmen der Budgetierung durch das Luftfahrtforschungsprogramm II (LuFo II) gesprengt hätte, wurde eine im Crashversuch beschädigte Sektion wieder aufgebaut.

### Der Aufbau

- Nach der Anlieferung der Sektion in der Versuchshalle des THF im November 1999 zeigte sich, dass auch Neuteile für den Wiederaufbau benötigt wurden. Da im Flugzeugbau kein Teil dem anderen gleicht und die Bauteile für jedes bestellte Flugzeug extra gefertigt werden, mussten wir uns mit der Bestellung unserer Neuteile hinten in die lange Schlange in den vollen Auftragsbücher einordnen.
- Bei der Anlieferung passte die Sektion nur in einer Lage durch das Hallentor, die keinesfalls ihrer Position im späteren Prüfstand entsprach. Für die Reparatur war diese „falsche“ Position allerdings ein Vorteil. Für die Reparaturarbeiten musste die Sektion eingerüstet werden, um die beschädigten Hautfelder mit den unversehrten Sektionsbereichen zu verbinden. Anschliessend wurden die Ersatzteile der Außenhaut eingesetzt, neue Spanten eingefügt und alles wieder vernietet.
- Die Sektion war nun nach den Regeln des Flugzeugbaus wieder neu aufgebaut und sollte mit ihren strukturellen Eigenschaften einer Sektion 16 aus der Serie entsprechen. Allerdings sah sie mit den ausgetauschten Neutei-

len sehr nach einem „Patchwork“ aus und wurde deshalb im Airbuswerk neu lackiert. Nach ihrer Rückgabe erfolgte dann die endgültige Positionierung „der Tonne“ in dem Prüfstand. Da die Höhe der Sektion der Höhe der Halle entspricht, wurden insgesamt 3 Spezialkräne benötigt, um Schäden an der Sektion oder an der Decke der Halle zu vermeiden. Hierfür wurde sie auf einem Gestell zwischengelagert.

- Während der Reparatur der Sektion wurde mit der Planung des Prüfstands begonnen. Dabei galt es insbesondere akustisch dichte Abschlüsse an den beiden offenen Rumpfsseiten herzustellen, was eine immense Herausforderung darstellte. Gemeinsam mit der Firma Illbruck wurde ein Konzept für den Prüfstand erarbeitet, das alle Anforderungen erfüllte und die geeigneten Randbedingungen für Messungen und Rechnungen schuf.
- Um die Schalldichtigkeit der Abschlüsse zu garantieren, wurde ein Doppelwandsystem aufgebaut, das mit insgesamt 40 Tonnen Sand gefüllt wurde. Sand als Füllstoff besitzt eine hohe Masse und bringt deshalb eine hohe Schalldämmung mit sich. Andererseits sorgt er durch seinen körnigen Aufbau für eine hohe innere Dämpfung. Wie schon bei der Positionierung der Tonne, so bereitete auch hier die geringe Höhe der Halle sowie das Fehlen eines Hallenkrans bei der Sandbefüllung in die Wandelemente größte Probleme, die aber mit Geschick, Ausdauer und Körperkraft überwunden wurden.
- Mit dem Einbringen der Sektion in die schallisolierten Wandbauteile war der Aufbau des „Akustik Mock Ups“ abgeschlossen. Seit einem Jahr finden nun Messungen an diesem einzigartigen Prüfstand statt.

*Christian Thomas  
Bearbeitung Katharina Jeorgakopoulos*

# Vibroakustik

## Weniger Geräusche für mehr Komfort im Flugzeug

Ein niedriger Geräuschpegel im Innenraum von Flugzeugen ist in Anbetracht eines gestiegenen Komfortbewusstseins der Passagiere zu einem wichtigen Entwicklungsziel geworden.

Stand der Technik ist, dass die akustische Auslegung aufgrund der Erfahrungen aus vorangegangenen Flugzeugentwicklungsprogrammen erfolgt. Zusätzlich werden analytische Berechnungsmethoden, die auf zahlreichen Vereinfachungen beruhen, eingesetzt. Ein hoher Anteil der Entwicklungsarbeit wird jedoch für kosten- und zeitintensive Versuche mit Probeteilen aufgewendet. Um neue Lösungen für Problemstellungen und Vorgehensweisen auf dem Gebiet der Flugzeuginnenraum-Akustik zu entwickeln, wurde das interdisziplinäre Forschungsvorhaben „Vibroakustik“ zwischen der Akustikabteilung der Airbus Deutschland GmbH und den Arbeitsbereichen Mechanik I sowie Mechanik und Meerestechnik der TUHH gegründet. Dabei spannt sich das Themengebiet über den Einsatz von numerischen Berechnungsverfahren bis hin zu neuen Messtechniken.

Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung von Berechnungsmodellen verschiedener Komponenten der Flugzeuginnenverkleidung. Diese ermöglichen schon zu Beginn der Entwicklung von Flugzeugen Aussagen über deren akustisches Verhalten, die somit frühzeitig in den Konstruktionsprozess einfließen können. Zur Reduzierung des Schallpegels bietet sich das Interieurlining der Flugzeuge an, das aus speziellen Leichtbauverbundelementen aufgebaut ist. Diese Elemente bestehen aus einem Wabenkern und einer faserverstärkten Deckschicht. Während diese sogenannten Wabenplatten eine sehr hohe Festigkeit bei niedrigem Gewicht erreichen, ist ihre Schalldämmung gegenüber anderen Werkstoffen mit gleichem Flächengewicht schlecht, ebenso strahlen sie bei Körperschallerregung sehr viel mehr Schalleistung ab als vergleichbare Werkstoffe.

Im Laufe des Projekts wurden Vorhersagemodelle für Schalltransmissionsunter-

suchungen des Kabinenlinings auf Basis einer gekoppelten Finite-Elemente-Methode (FEM) und Boundary-Elemente-Methode (BEM) entwickelt. Die messtechnische Überprüfung ergab eine sehr gute Übereinstimmung der Simulationsmodelle mit der Realität. Weiterhin wurden die Möglichkeiten zum Einsatz verschiedenartiger Schallabsorber wie Glaswolle und Helmholtzresonatoren untersucht. Hierfür wurden erfolgreich analytische Berechnungsmodelle entwickelt.

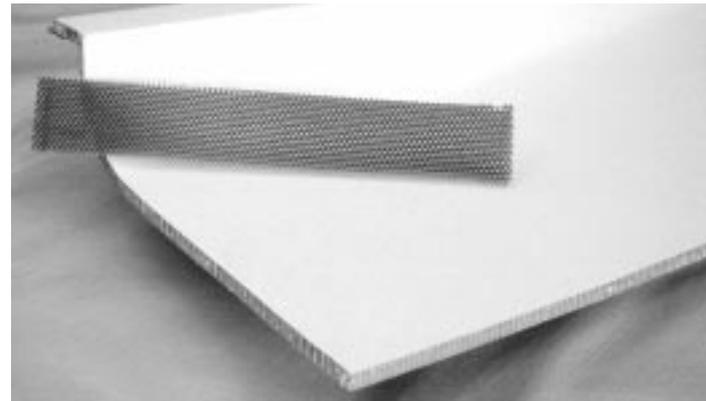
Übergeordnetes Ziel ist es, neben den einzelnen Komponenten auch den kompletten Verbund zu betrachten. Es zeigt sich hierbei, dass die FEM bei akustischen Berechnungen für Modelle in der Größenordnung einer etwa 40 Sitzplätze umfassenden Kabinensektion nur für den tiefen Frequenzbereich einsetzbar ist. Der Grund für diese Einschränkung liegt in der mit steigender Frequenz und ansteigender Bauteilkomplexität zunehmenden Eigenfrequenzdichte. Bei höheren Frequenzen kommt daher ein weiteres Berechnungsverfahren zum Einsatz, welches hier seine Stärken besitzt – die Statistische Energieanalyse (SEA). Mit ihr sind akustische Analysen von komplexen Strukturen über einen weiten Frequenzbereich möglich. Neben Simulationen an einem komplexen Kabinenmodell eines Großraumflugzeuges, deren messtechnische Überprüfung zur Zeit erfolgt, konnten im hohen Frequenzbereich Schalltransmissionen an diversen Einfachwandaufbauten und komplexen Doppelwandsystemen erfolgreich berechnet werden.

Um die Ergebnisse aus den Berechnungsverfahren möglichst realitätsnah überprüfen zu können, wurde der beschriebene Mock-Up entworfen. (Siehe: Chronik eines Aufbaus: Der Akustik-Mock-Up am Neßpriel 5). Besonders hervorzuheben ist die schwingungsentkoppelte Lagerung des Kabinenteils. Da Messungen sonst nur bei sehr kostenintensiven Versuchsflügen durchgeführt werden können, ermöglicht dieser Prüfstand Messungen am Boden. Es können sowohl die Auswirkungen verschiedener Innenverkleidungen und Ausstattungen auf das

Innengeräusch untersucht werden, als auch die Ergebnisse von am Rechner erstellten akustischen Modellen am „Mock-Up“ überprüft werden. Neben diesem in seiner Weise einzigartigen Prüfstand wurden mehrere Prüfstände für Transmissionsmessungen und Messung von Materialeigenschaften aufgebaut.

Geplant sind der weitere Ausbau des Forschungsvorhabens „Vibroakustik“ und neue Projekte auf dem Gebiet der Akustik. So ist es zum Beispiel vorgesehen, unter Verwendung der bisherigen Erkenntnisse neuartige Wabenstrukturen aufzubauen. Weiterhin sollen die akustischen Auswirkungen von neuen Werkstoffen für die Struktur wie z.B. der Einsatz von Kohlefasern, untersucht werden. Ein weiteres Ziel ist die Abbildung der Lärmentstehung in der Klimaanlage mit Hilfe von Simulationsmodellen.

*Prof. Dr.-Ing. v.Estorff,  
Prof. Dr.-Ing. Weltin, Dr. Gleine*



**Prof. Dr.-Ing. Uwe Weltin**  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
AB Mechanik I  
Eißendorfer Straße 38  
21073 Hamburg  
Tel 040 / 42 87 8 - 3005  
Fax 040 / 42 87 8 - 2789  
weltin@tu-harburg.de

*Kabinenlinings,  
Wabenstruktur*

**Prof. Dr.-Ing. Otto von Estorff**  
AB Mechanik und Meerestechnik  
Eißendorfer Straße 42  
21073 Hamburg  
Tel 040 / 42 87 8 - 3120  
Fax 040 / 42 87 8 - 2028  
estorff@tu-harburg.de

# Systemtechnik neuer Tragflügelentwürfe

## Beiträge zur Leistungssteigerung von Flugzeugen

Seit der Mensch vom Fliegen träumt, suchen Ingenieure Vorbilder in der Natur; erinnert sei an Leonardo da Vinci und Otto Lilienthal. Nun wird in einer Maschine Flugzeug das feinsensorische und -motorische Netz aus Nerven und Muskeln des vollendet adaptiven Vogelflügels nie realisierbar sein.

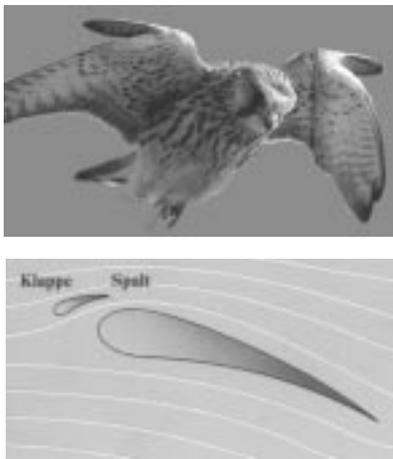


Abb.1  
Hochauftriebssysteme

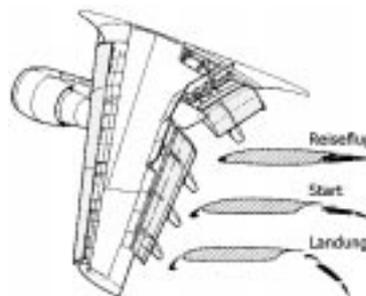
Techniken und Technologien zur Nutzung der Physik erlauben es jedoch, den Tragflügel und seine Charakteristiken wie Auftriebsvermögen und Luftwiderstand den jeweiligen Flugphasen oder Manövern anzupassen oder sein dynamisches Verhalten in kritischen Betriebszuständen zu beeinflussen.

Solche Technologien des im weitesten Sinn „adaptiven Tragflügels“ durch verstellbare Flügelprofilgeometrie und multifunktionale Steuerflächen finden wir in allen modernen Transportflugzeugen:

- Hochauftriebshilfen, d.h. Vorflügel und Landeklappen zur Start- und Landeleistungsverbesserung durch deren Positionierung in aerodynamisch günstigste Stellungen
- Querruder beziehungsweise Spoiler der primären Flugsteuerungssysteme um die Flugzeugrollachse, die im Niedergeschwindigkeitsbereich auftriebsunterstützend ausgeschlagen werden können beziehungsweise im gesamten Flugbereich als Luftbremsen dienen.

Abb.2  
Klappenmechanismus  
A330 / 340

Die Weiterentwicklung dieser Systeme und gänzlich neue Systemfunktionen im Zusammenwirken mit Partnerdisziplinen wie Aerodynamik, Flugmechanik und Strukturmechanik sind insofern ein Fokus von Forschungsarbeiten. Ziel ist, die Auslegung und erweiterte Funktionalität von Systemen bereits in den Entwurf leistungsgesteigerter Gesamtflugzeugkonfigurationen einzubeziehen. Aus den hohen Reisefluggeschwindigkeiten und Abflugmassen moderner Transportflugzeuge resultieren hohe Flächenbelastungen des Flügels, die die eingangs genannten Hochauftriebshilfen für Start und Landung (low speed) erfordern: In der Regel Vorflügel (engl. slats) und Hinterkantenklappen (engl. flaps), die in ausgefahrenen Stellung eine Flügelflächenvergrößerung, insbesondere aber auch Profildübelungs-

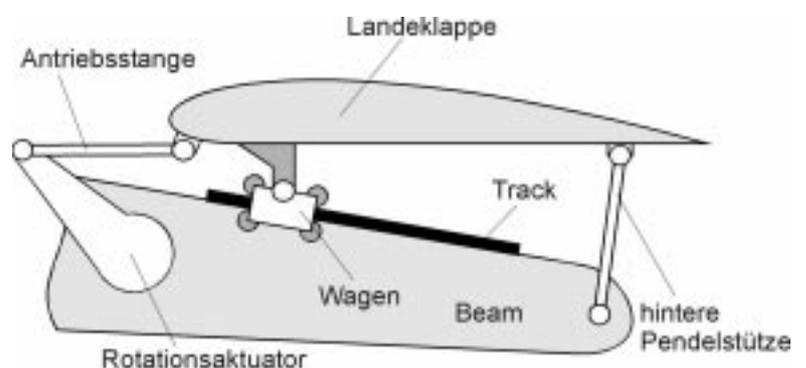


erhöhung bewirken, Abb.1. Der konstruktive Entwurf solcher Klappensysteme ist zunächst ein getriebetechnisches Problem in der Ebene, d.h. der Synthese einer geeigneten Kinematik aus meist Mehrgelenkketten mit Dreh- und Schubgelenken, die die Klappensegmente in aerodyna-

misches und damit start-landeleistungsoptimale Positionen überführt. Insbesondere die Spaltkonvergenz zwischen Klappe und Flügel beziehungsweise zwischen Klappensegmenten, die durch Energiezufuhr in die Grenzschicht bei hohen Anstellwinkeln eine Strömungsablösung und Auftriebsverlust verhindert, entscheidet über die aerodynamische Qualität des Getriebeentwurfs; Abb. 2 zeigt einen realisierten Klappenführungs- und Antriebsmechanismus.

### Interdisziplinäre Synthese von Klappenführungsmechanismen:

Abhängig vom Getriebetypus, d.h. Anzahl und Art der Gelenke ergeben sich ganz unterschiedliche Geometrien und Gewichte der verschiedenen Bauteile. Führungsmechanismen für einfache Fowlerklappen, meist aufgebaut als Viergelenkgetriebe, wie in Abb. 2, erlauben drei definierte Klappenstellungen exakt zu erfüllen: Diese sind notwendigerweise die Reisestellung und z.B. die extreme Landstellung sowie eine Zwischen- oder Startstellung. Weitere Vorgaben von Zwischenstellungen sind nicht mehr exakt einhaltbar; sie ergeben sich zwangsläufig aus der zuvor definierten Kinematik. Die Synthese dieser Viergelenk-Mechanismen läßt sich noch mit geschlossenen analytischen oder geometrischen Verfahren durchführen. Abb. 3 zeigt die Definition dieser Forderungen nach Überdeckung, Spalt und Spaltkonvergenz für einen vorgegebenen Klappenwinkel. Neuartige Hochauftriebssysteme mit Forderungen



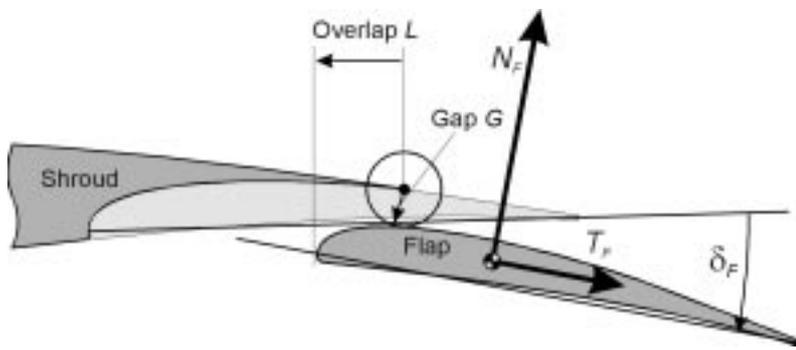


Abb. 3  
Klappen-  
Positionierung

nach erhöhter Anzahl optimaler Klappenstellungen im low speed-Bereich oder Wölbungsveränderung im Reiseflug ('Flügel variabler Wölbung') erfordern komplexere Getriebe höherer Ordnung, sprich Gelenkzahl, für die meist keine geschlossenen Syntheseverfahren mehr existieren. Es ist offensichtlich, dass die Entwicklung solcher Klappenführungsmechanismen – bis heute ein manueller, stark von der Intuition des Ingenieurs abhängiger Prozess – selbst bei Anwendung von CAD-Verfahren – eine langwierige iterative Suche in einem großen Parameterraum (neben Getriebetyp auch Geometrieparametrisierung und der Gelenke) zu einem Lösungskompromiss darstellt. Die Teilautomatisierung dieses Entwurfproblems ist Ziel der Entwicklung eines rechnergestützten Werkzeugs zur Synthese von Klappenführungsmechanismen. Die entwickelte Methode basiert auf einer simultan im Rechner vollzogenen Synthese und Analyse, d.h. Findung und Bewertung möglicher Klappenmechanismen eines gewählten Typs. Hierzu wird aus der Positionierexaktheit der Klappe in allen geforderten Stellungen mit weiteren gewichteten Gütefunktionalen wie Bauteillasten und Gewicht, Fairinghöhe etc. ein integraler Gütewert gebildet. Die Automatisierung der Suche nicht nur möglicher, sondern über den Gütewert bestmöglicher Lösungen eines bestimmten Getriebetyps im Parameterraum aller denkbaren Gelenklagen übernimmt ein Optimierungsalgorithmus für diesen integralen Gütewert. Das Softwareprogramm zur Getriebeentwicklung beinhaltet entsprechend zwei gekoppelte Berechnungsmodul:

- ein Kinematikmodul zur Bestimmung denkbarer, Mechanismen und Ermittlung des integralen Gütewerts
- einen Optimierer, basierend auf einem genetischen Multipopulationsalgorithmus für die Suche nach einem globalen Optimum im Suchraum. Er bildet anhand der Gütewerte der berechneten Kinematiken 'Fortpflanzungswerte' Derivatindividuen vorliegender Lösungen und initialisiert deren kinematische und

kinestatische Last-Analyse sowie Berechnung neuer integraler Gütewerte.

Die Effizienz dieses Syntheseverfahrens für Klappenmechanismen läßt sich daran ablesen, dass mit dem Programm und abhängig von der Komplexität des Mechanismus in einem Optimierungsschleife bis zu 500 Kinematiken (eines Typs) pro Sekunde berechnet und bewertet werden können. Intuition und Erfahrung des Entwicklungsingenieurs müssen zunächst nur den Getriebetyp, Klappenprofil, strukturelle Anbindung des Mechanismus an die Flügelstruktur sowie Wichtungsfaktoren für einzelne Gütefunktionale (Führungsablage, Gewicht, Lasten

etc.) vorgeben. Abb. 4 zeigt das Maßsyntheseergebnis für eine sehr anspruchsvolle Klappenführungsaufgabe, bei der in der Reiseflugstellung eine spaltfreie Klappenwölbung von 0 bis 5° Klappenwinkel erzeugt werden soll ('variable Wölbung' zur Gleitzahlverbesserung). Der synthetisierte Mechanismus basiert auf einem 6-Gelenkgetriebe (hier ein sogenannter WATT 1-Mechanismus), dessen Führungseigenschaften – wie dargestellt – durch geforderte und erreichte Gap- und Overlap-Werte über dem Klappenwinkel – in einem 'manuellen' Suchprozess kaum oder nie erreichbar gewesen wären.

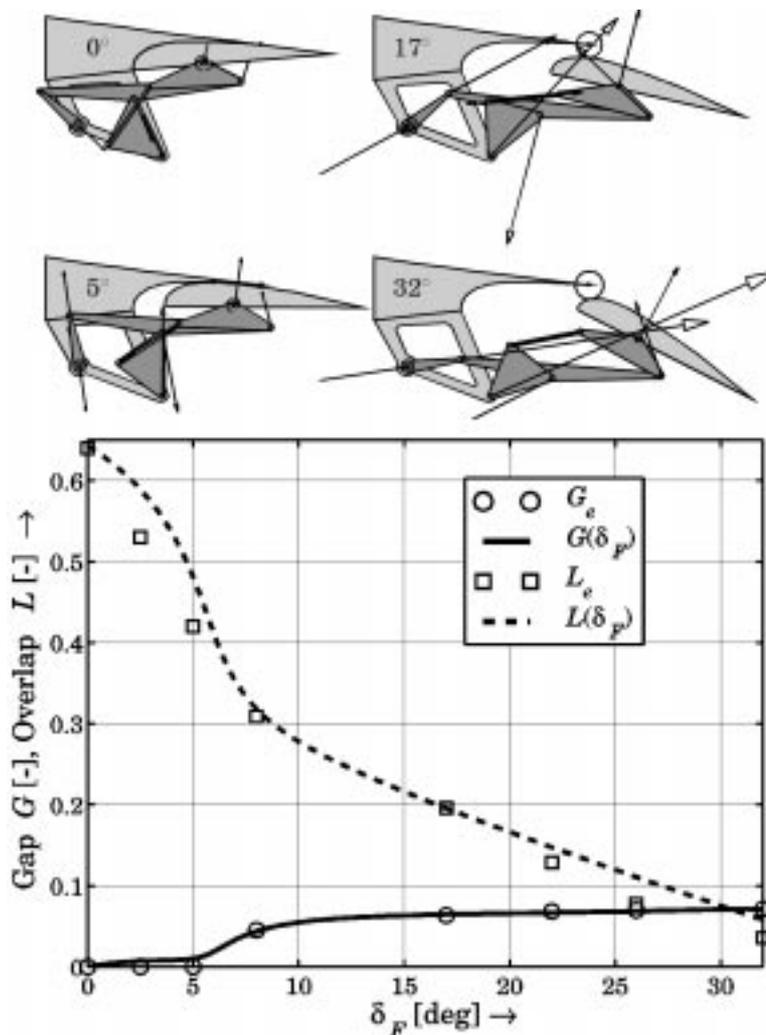


Abb. 4  
Lap / Gap-Qualität  
eines synthetisierten  
6-Gelenkmechanismus

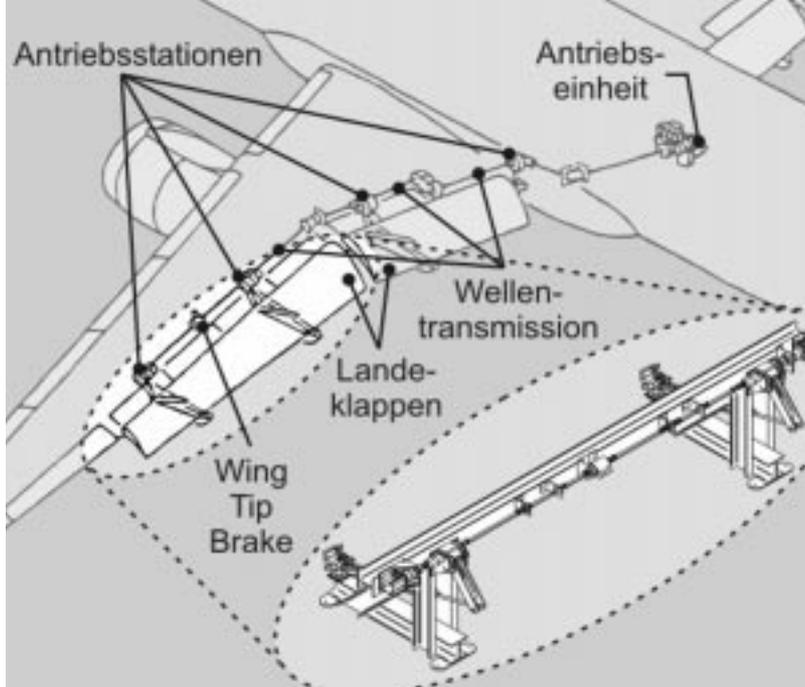


Abb. 5  
Konventionelles  
wellengetriebenes und  
Einzelantriebssystem-  
Außenklappe

**Multifunktionale Einzelklappenantriebe:** Neben der Entwurfsoptimierung der Hochauftriebskonfiguration im Flügelprofilschnitt ist eine spannbreite Funktionsentkopplung und -erweiterung zwischen inneren und äußeren Landeklappenpaaren eine weitere Möglichkeiten zur Start- und Landeleistungsverbesserungen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens Hochauftriebskonzepte mit multifunktionalen Steuerflächen untersucht und bewertet Airbus Deutschland solche neuen Klappensysteme aus aerodynamischer, flugleistungs- und systemtechnischer Sicht. In konventionellen Klappensystemen, Abb. 5, treibt eine zentrale hydromotorische Antriebseinheit über eine Wellentransmission die Stellglieder an allen Klappen und positioniert diese in diskreten, wie zuvor betrachteten Stellungen. Durch antriebstechnische Entkopplung der Klappenpaare, regelungstechnische Synchronisation der beiden flügelsymmetrischen Klappenpaare und stetige, flexible Positionierung in Abhängigkeit des Flugzeugbetriebszustands (Gewicht, Start und Landebedingungen nach Standardatmosphäre) lassen sich Start- und Landeleistungen weiter verbessern. Die Machbarkeit und regelungstechnische Strategien für solche Einzelklappenantriebe wurden am Arbeitsbereich Flugzeug-Systemtechnik in Simulationen experimentell untersucht

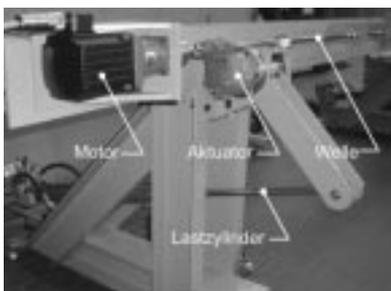


Abb. 6  
Elektrischer  
Einzelklappenantrieb

und nachgewiesen. Das Antriebssystemkonzept für das einzelne Landeklappen-segment besteht aus zwei aus Gründen der Redundanz über einen Cross-Shaft (Welle) mechanisch verbundenen, elektrischen Stellgliedern, permanenterregten Synchronmotoren mit hochunteretzten Rotationsaktuatoren am Ausgang, Abb. 6. Die regelungstechnische Problemstellung dieses Systemkonzepts besteht darin, bei parallel aktivem Betrieb beider Antriebe, einem sehr steifen Cross-Shaft, hohen Nichtlinearitäten durch Festreibung und Spiel in der Strecke und unterschiedlichen dynamischen Lasten an beiden Klappenantriebsstationen die Verbindungswelle lastfrei zu halten. Einerseits können dadurch die Ermüdungslasten des Cross-Shaft sehr klein gehalten werden, andererseits werden Betriebszustände mit einem motorisch und einem generatorisch arbeitenden Motor verhindert. Erreicht wurde dieses durch einen PI-Drehzahlregler mit Rückgriff auf das hochaufgelöste Motorsignal bei übergeordneter Kaskaden-Positionsregelung. Laufende Untersuchungen befassen sich mit Fehlerüberwachung (Monitorkonzepte), Redundanzverwaltung und der Synchronisation der flügelsymmetrischen Klappenpaare.

#### Strukturregelung flexibler Flugzeuge

Nicht im low speed-Bereich, sondern im hohen Unterschall bei Reisefluggeschwindigkeit sind Fragen nach dem Entwurf des Flügels und der Gesamtkonfiguration angesiedelt, die aus der Wechselwirkung aerodynamischer Luftkräfte mit strukturelastischen Rückstellkräften und Massenkraft resultieren (Aeroelastik). Alle elastischen Flugzeugstrukturen weisen ein breites Spektrum möglicher Eigenschwingungsformen auf, die durch Böen oder

Flugmanöver angeregt werden und meist sehr schwach gedämpft sind. Besonders kritisch ist diese Situation bei sehr schlanken Flugzeugkonfigurationen mit langgestreckten Rumpfen nutzlastgesteigerter Versionen und Tragflügeln sehr hoher Streckung zur Reiseflugleistungsoptimierung. Die Folgen können Komforteinbußen und Unterschreitung strukturkritischer modaler Mindestdämpfung bis zu Steuerbarkeitsproblemen bei Frequenznachbarschaft von Struktur- mit flugmechanischen Eigenschwingungsformen des nominell „starrten Flugzeugs“ sein. Diese Probleme eines Flugzeugentwurfs besser beherrschen zu können, sind Ziel von Forschungsarbeiten der Industrie, Großforschung und von Universitäten. Technologien der Werkstoff- und Bauweisenforschung, vornehmlich Kohlefaserverbundmaterialien werden unter dem Begriff „Aeroelastic Tailoring“ zusammengefasst: Gezielte Nutzung der Möglichkeit der Werkstoff-Anisotropie, den Steifigkeitsaufbau der Struktur so zu gestalten, dass im nachzuweisenden Geschwindigkeitsbereich bis VD (max. Bahnneigungsgeschwindigkeit) keine unzulässigen strukturellen Eigenschwingungsamplituden auftreten. Alternative oder auch komplementäre Maßnahmen bestehen in der Nutzung der primären Steuerungssysteme und Ruder, um in einem überlagerten Strukturreglerkreis die modale Dämpfung kritischer Eigenschwingungsformen zu erhöhen. Diesen Ansatz verfolgt das Forschungsvorhaben „Systemtechnische Untersuchungen zur Strukturregelung flexibler Flugzeuge“ (SYSFF) am Arbeitsbereich.

Ziel ist der Entwurf robuster und echtzeitfähiger Strukturregler, die über eine hohe Geschwindigkeitsspanne (Machzahlbereich) Strukturschwingungen effektiv dämpfen. Ein Ergebnis methodischer Voruntersuchungen zum Reglerentwurf für einen im transsonischen Bereich arbeitenden Flügels zeigt Abb. 7; beispielhaft ist die durch den Regler über Querruderaus-schläge erreichte Dämpfungserhöhung der Vertikalschwingung der Flügelspitze dargestellt. Diese Ergebnisse stützen sich

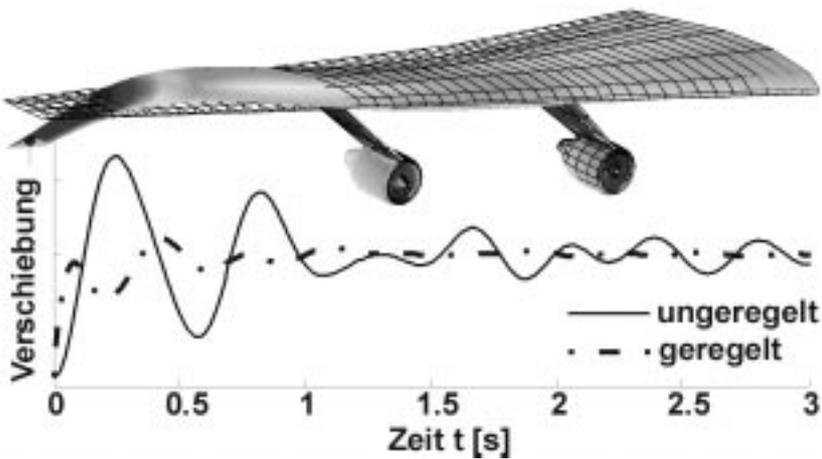


Abb. 7  
Aktive Dämpfung  
von Flügelschwingungen

auch auf hardware in the loop-Untersuchungen an einem A340 Querruderservostellensystem-Prüfstand mit simulierter aeroservoelastischer Strecke ab. Die Regelungsstrategie beruht auf Verfahren der Pollagenzuweisung im geschlossenen Strukturregelkreis für alle nur schwach oder nicht gedämpften Eigenwerte der unregelmäßigten Strecke über dem zu betrachtenden Machzahlbereich und alle Massen-/Betankungs-Zustände. Dem Ausgangsgrößenregler werden gefilterte Beschleunigungs-Sensorsignale zugeführt. Laufende Untersuchungen befassen sich mit der Erweiterung und Anwendung dieser Strukturregelung auf das gesamte

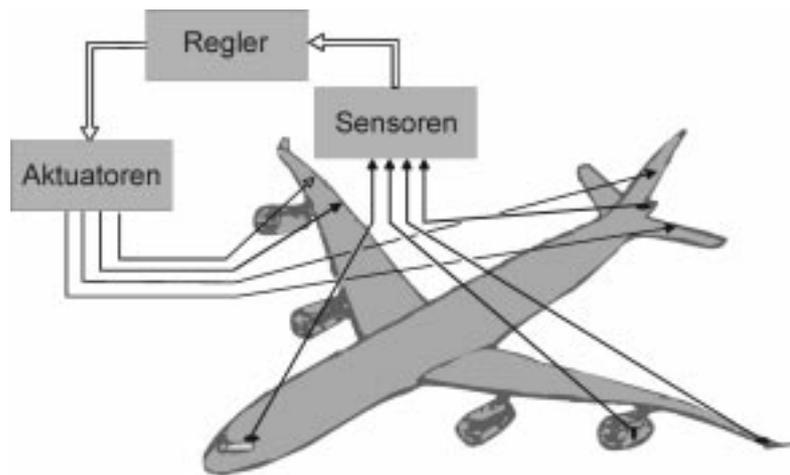
scheinlichkeit zu einer Teildegradation in Beobachtbarkeit beziehungsweise Steuerbarkeit des Systems.

Die Erfordernis von Sensorredundanzen, Zustandsreglern fester Struktur, aber schaltbarer Reglerparameter oder anderer systemtechnischer Optionen zur Sicherung einer Mindestleistung der Strukturregelung unter Ausfallgesichtspunkten, wird zu prüfen sein. Es ist interessant festzustellen, dass flugmechanische Stabilisierungsfunktionen (SAS-Stability Augmentation Systems) schon kurz nach Beginn des Strahlflugverkehrs in den 60er Jahren zum Stand der Technik in Flugsteuersystemen wurden; erstmals mit der

der Mechatronik wie Antriebstechnik, Mikroelektronik und Regelungstechnik sowie einen problemorientierten Forschungsverbund mit Aerodynamik, Flugmechanik und Strukturmechanik können die Systeme des Flugzeugs hierzu einen nicht unbeträchtlichen Beitrag leisten.

Die skizzierten Forschungsprojekte wurden finanziert im Rahmen des zweiten Luftfahrtforschungsprogramms des Bundeswirtschaftsministeriums, unterstützt durch die Freie und Hansestadt Hamburg sowie Beauftragungen durch die Firmen Airbus Deutschland GmbH und Liebherr Aerospace Lindenberg GmbH, gleichzeitig enge Kooperationspartner in diesen Untersuchungen.

Prof. Dr.-Ing. Udo Carl



Flugzeug und das Kollektiv aller Steuerflächen, Abb. 8. Als Referenzstrecke dient hierzu ein „integrales“ aeroservoelastisches Zustandsraum-Modell des A340-600, das von Airbus Deutschland für diese Untersuchungen bereitgestellt wurde. Speziell soll für geeignete MIMO-Reglerentwürfe (multiple input multiple output) auch deren operationelle Robustheit im Hinblick auf mögliche, zu unterstellende Systemfehler im Sensor- beziehungsweise Aktuator-Bereich untersucht werden. Beides führt in Abhängigkeit der Fehlerwahr-

Einführung der modernen Twin-Aisle-Familie (A330/340) von Airbus kam ein Strukturregler in der zivilen Luftfahrt zur Serienanwendung, in diesem Fall zur aktiven Dämpfungsverbesserung von Rumpfschwingungsformen. Die Notwendigkeit und der Nutzen eines technologischen Vorlaufs zu sicher beherrschbaren, neuen und transportleistungsgesteigerten Flugzeugentwürfen wird daraus erkennbar. Mit prädiktionssicheren und effizienteren Entwicklungswerkzeugen, durch Anwendung moderner Schlüsseltechnologien

Prof. Dr.-Ing. Udo Carl  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Flugzeugsystemtechnik  
Nesspriel 5  
21129 Hamburg  
Tel 040 / 42 87 88 - 202  
Fax 040 / 42 87 88 - 270  
www.tu-harburg.de/fst/

# Genauigkeit muss nicht teuer sein

## Flexible Flugzeugmontage soll Kosten sparen



*Abb.1  
oben und rechts  
Bauplatz 41 in der  
Endmontage  
Das in Hamburg  
gefertigte Rumpfteil  
wird mit der in  
Frankreich gebauten  
Cockpitsektion  
zusammengefügt.*

*Copyright: Airbus  
Deutschland GmbH*

Im Flugzeugbau ist das genaue Zusammenpassen der Einzelteile lebenswichtig für die Passagiere und Besatzungen der Maschinen. Die Hersteller investieren hohe Summen in die Präzision ihrer Produktion. Ein Verfahren des Arbeitsbereiches Fertigungstechnik II an der Technischen Universität Hamburg-Harburg könnte den Aufwand und die Kosten erheblich senken.

In Hamburg-Finkenwerder baut die Airbus Deutschland GmbH die Rumpfsegmente für sämtliche Flugzeugtypen und -varianten des europäischen Airbus Konzerns. Mit dem Airbus 380 kommt demnächst ein weiteres Flugzeug dazu. Bei der Montage werden die einzelnen

Rumpfkomponten auf starren Vorrichtungen befestigt, zusammengeführt und genietet. Die Vorrichtungen sind für jeden Flugzeugtyp anders und müssen in vielen Varianten hergestellt und gelagert werden. Damit wird erhebliches Kapital gebunden und teurer Hallenplatz besetzt, der dann für die Fertigung nicht zur Verfügung steht.

Für den Auftragsmix, den Airbus zu bewältigen hat, ist die vorrichtungsorientierte Bauweise zu unflexibel und zu teuer. Ein Forschungsprojekt an der TUHH soll dem abhelfen. Der Arbeitsbereich Fertigungstechnik II (Werkzeugmaschinen und Automatisierungstechnik) wurde von Airbus und der Wirtschaftsbehörde der Stadt Hamburg mit der Entwicklung

eines Mess- und Kalibrationskonzeptes zur automatischen Positionierung großvolumiger Flugzeugsegmente beauftragt. Schon seit einigen Jahren arbeitet der Arbeitsbereich an der Automatisierung von Fertigungsprozessen. Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, zukünftig die starren Vorrichtungen durch ein flexibles Montagesystem zu ersetzen. Sensoren sollen eine Messung der Ist-Positionen und -Orientierungen (Lagen) der Bauteile zueinander ermöglichen. Durch einen Vergleich mit den Soll-Werten kann eine Berechnung der Verschiebung erfolgen. Über Aktuatoren werden die Bauteile bewegt, bis die Lagen im Rahmen der vorgegebenen Toleranzen eingestellt sind. Anschließend können die Flugzeug-

segmente ohne das Risiko teurer Fehlproduktion vernietet werden. Ursachen für Lagefehler sind zum Beispiel Hallenbodenbewegungen, Temperaturschwankungen, Elastizitäten, Führungsspiel und Reibung. Bisher ist keine Online-Kontrolle der Bauteile möglich. Nur durch Stichproben und visuelle Kontrollen können Fehler gefunden werden. Davor können aber Rumpfsegmente ungenau genietet sein, die überarbeitet und gegebenenfalls einem speziellen Genehmigungsverfahren unterzogen werden müssen. Das verursacht hohe Kosten. Wegen stets vorhandener Mess- und Positionierfehler wird bei dem neuen Verfahren die Messung ständig wiederholt. Die Daten werden online übertragen. Damit dauern Messen, Auswerten und eventuelle Neueinstellungen nur noch Sekunden bis Minuten. Ein teurer Produktionsstopp für eine aufwendige Neukalibration bleibt zukünftig aus. Ebenso für die Umrüstung auf verschiedene Typen und Varianten. Die Umrüstzeit ist nahezu Null. Das Verfahren ermöglicht die Handhabung verschiedenster Flugzeugsegmente mit den gleichen Maschinen. Es müssen keine unterschiedlichen Vorrichtungen mehr hergestellt und gelagert werden, die auf jeden Flugzeugtyp gesondert passen. Die Ideen für diese Innovation entstanden aus der Habilitation von Dr.-Ing. habil. Jörg Wollnack zum Thema "Videometrische Verfahren zur Genauigkeitssteigerung

von Industrierobotern". Er betreut als Oberingenieur des Arbeitsbereiches Fertigungstechnik II das Forschungsprojekt. „Unsere Lösungen“, so Wollnack, „müssen nicht auf den Flugzeugbau beschränkt bleiben. Weitere Anwendungsfelder sind zum Beispiel im Schiffbau, Waggonbau oder Fahrzeugbau zu erwarten.“ Möglich wird ein flexibles Montagesystem durch das Zusammenspiel und die Nutzung der Innovationen verschiedener Techniken. So werden zum Beispiel die immer besseren Möglichkeiten der Informationstechnologie von der Industrie nicht immer genutzt. Jörg Wollnack: „Heute hat ein Personalcomputer auf dem heimischen Schreibtisch eine Rechnerleistung wie vor 10 bis 15 Jahren die Großrechner. Aus dieser Entwicklung ergeben sich intelligente Lösungen. Diese sind nur umzusetzen, wenn die unterschiedlichen Disziplinen miteinander verbunden sind. In der Verbindung von Informatik, Elektrotechnik und Maschinenbau sind sehr viele Synergien zu finden.“

Die Anwendung des neuen Verfahrens erfordert ein anderes Wissensmanagement in der Produktion. Wissen ist auf viele Abteilungen verteilt. Die langjährigen Erfahrungen der Arbeiter und Ingenieure müssen in Algorithmen umgewandelt werden. Selbst wenn das gelingt, ist eine automatische Produktion nicht ganz vollständig möglich. Die letzte Entscheidung und Kontrolle bleibt nach wie

vor bei dem Menschen. „Das macht ein Umdenken der Unternehmen erforderlich. Das für die komplette Automatisierung notwendige ganzheitliche Wissen ist bei Maschinen und Industrierobotern nicht präsent. Die Flexibilität von Menschen kann ein Automat nicht leisten. Da stößt die Automatisierung an ihre Grenzen“, sagt Jörg Wollnack.

Das Forschungsprojekt wird getragen von dem Hamburger Programm zur Förderung der Luftfahrtforschung und -technologie. Die Industrie trägt einen Eigenanteil. Bis Ende 2003 soll es einen Versuchsträger geben, an dem Airbus und die TUHH gemeinsam die notwendigen Experimente vollziehen und praktische Erfahrungen sammeln und auswerten. Das Forschungsprojekt soll als Ergebnis die Machbarkeit des automatischen Verfahrens belegen. Die weitere Entwicklung bis zum Einsatz des Verfahrens liegt dann allein bei der Industrie.

*Christian Soult*

**Leitung:**

**Prof. Dr.-Ing. Klaus Rall**

**Ansprechpartner:**

**Dr.-Ing. habil. Jörg Wollnack**

**Technische Universität Hamburg-Harburg**

**Arbeitsbereich Fertigungstechnik II**

**Denickestr. 17**

**21073 Hamburg**

**Tel 040 / 4 28 78 - 3494**

**Fax 040 / 4 28 78 - 2500**

**wollnack@tu-harburg.de**



# Rain in the Plane

## Untersuchung des Feuchtetransportes in Flugzeugisolierungen

Bei dem Betrieb moderner Passagierflugzeuge kann ein Phänomen auftreten, welches in Fachkreisen als „Rain in the Plane“ bezeichnet wird. Dabei tropft flüssiges Wasser aus der Kabinenverkleidung über den Passagieren in die Kabine. Neben diesem für die Passagiere unangenehmen Effekt kann das Vorhandensein von Wasser hinter der Verkleidung auch die Funktion und Lebensdauer von Bauteilen beeinträchtigen beziehungsweise verringern.

In den Bereichen hinter der Verkleidung liegen elektrische Leitungen und die Gefahr eines Kurzschlusses besteht, wenn die Leitungen und Verbraucher mit Wasser in Kontakt geraten. Zwischen Verkleidung (Lining) und Aussenhülle sind Isolierpakete aus Glasfasermatten eingebaut, um die thermische und akustische Belastung der Passagiere zu verringern

(siehe Abbildung 1 und 2). Die Glasfasermatten werden in Folien verpackt, um das Eindringen von Wasser zu verhindern. Durch verschiedene physikalische Effekte kommt es zum Wasserdampftransport in die Isolierung, wobei sich flüssiges Wasser in den Paketen sammelt. Während der oft kurzen Bodenzeiten kann das Wasser nicht vollständig verdampfen. Es sammelt sich und erhöht das Gesamtgewicht des Flugzeuges, wodurch auch der Treibstoffbedarf steigt. Zusätzlich kann es zur Korrosion der Flugzeugstruktur kommen, wodurch die Steifigkeit des Rumpfes herabgesetzt wird. Durch Feuchtigkeit wird außerdem die Bildung von Bakterien und Schimmel begünstigt, beides kann bei Kontakt mit den Atmungsorganen des Menschen gefährliche Krankheiten hervorrufen. Der Trend zu grösseren Flugzeugen mit gesteigerter Reichweite wird das Problem der Wasseransammlung in

Zukunft weiter verschärfen. Ziel eines Projektes des Arbeitsbereiches Technische Thermodynamik der TUHH und der Airbus Deutschland GmbH in Hamburg-Finkenwerder ist die Reduktion der Wasseransammlung in der Flugzeugisolierung, womit die Airlines in der Lage wären, die Wartungsintervalle zu verlängern, um Kosten zu sparen. Im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogrammes (LuFo II) wird deshalb der Transport und die Speicherung von Wasser in der Flugzeugisolierung numerisch und experimentell untersucht. Dies beinhaltet die Definition eines geeigneten Aufbaus der Isolierung relativ zur Flugzeugstruktur sowie die Auswahl geeigneter Umhüllungsfolien. Viele Passagiere klagen gerade bei Langstreckenflügen über eine zu geringe Luftfeuchtigkeit in der Flugzeugkabine und die damit verbundenen Folgen wie Reizung der Augen, der Haut

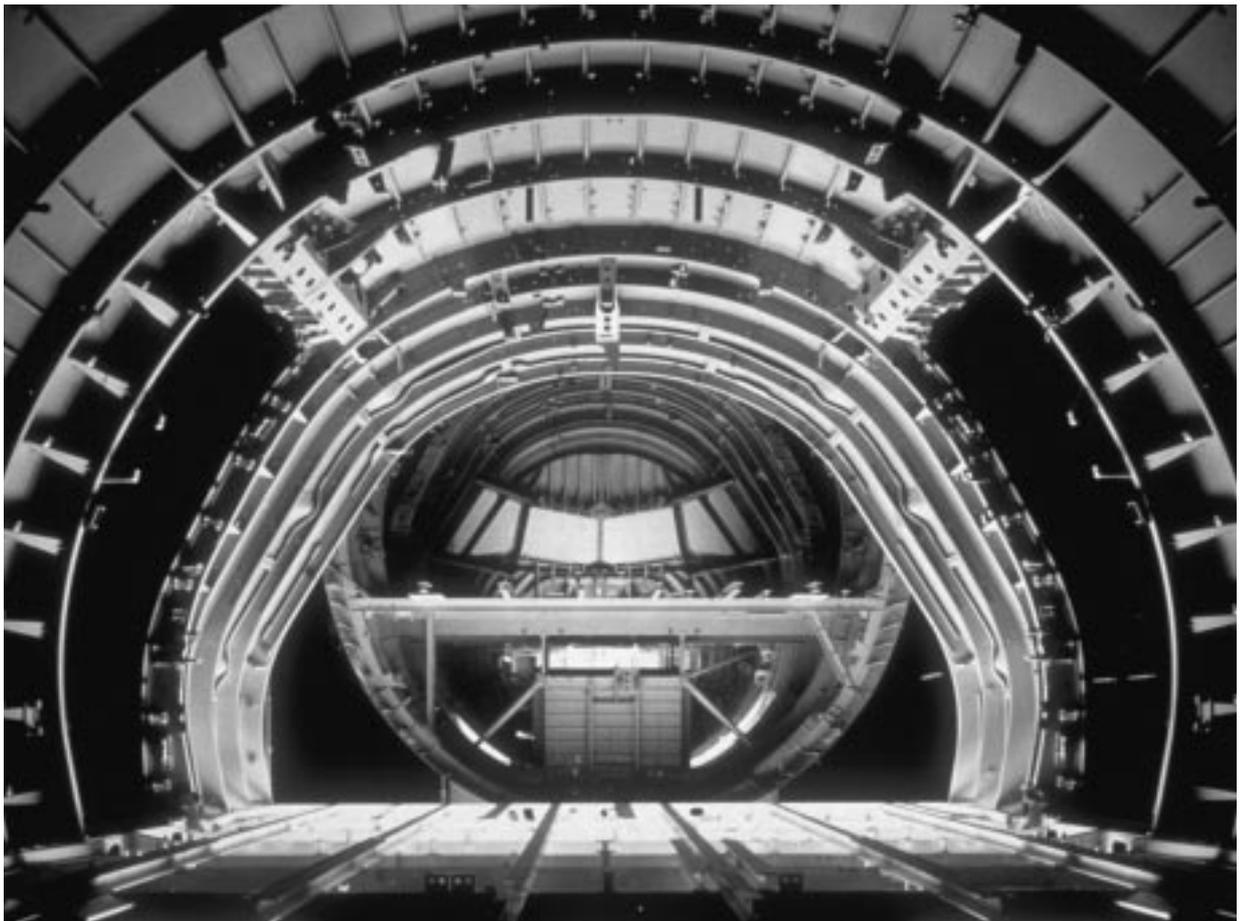


Abb. 1  
Flugzeugrumpf in der  
Strukturmontage

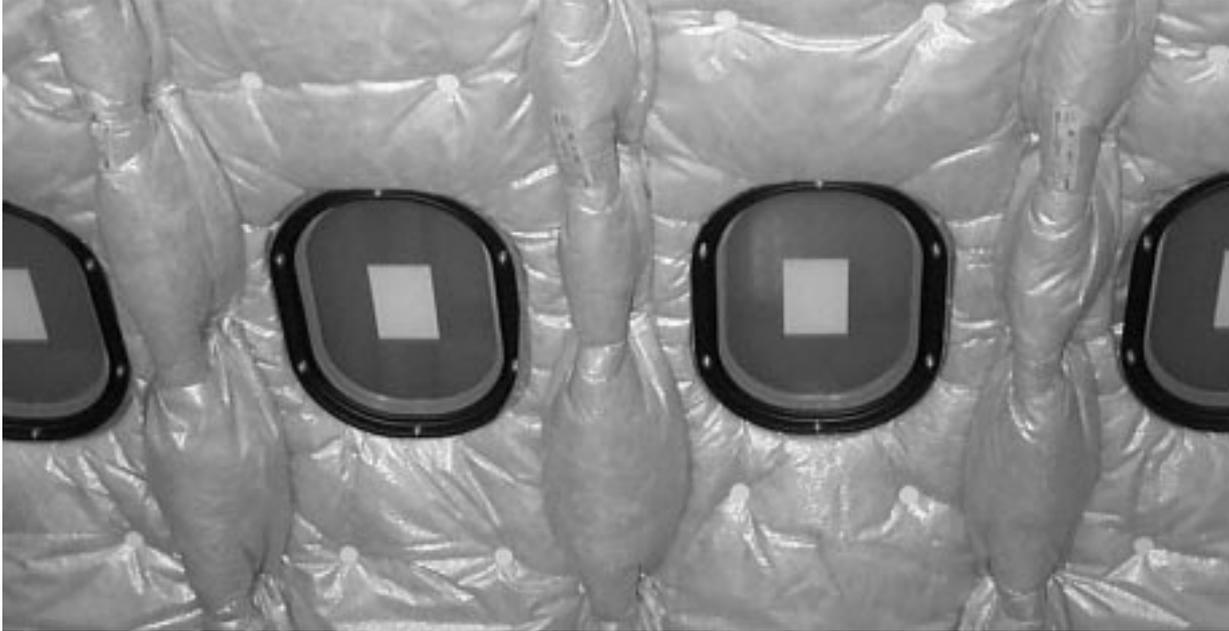


Abb.2  
Isolationspaket  
vor der Montage  
der Verkleidung

oder der Atemwege. Woraus resultiert folglich die Wasseransammlung, wenn die Feuchte der Kabine niedrig gehalten wird?

Während des Fluges wird in der Kabine über die Klimaanlage eine relative Luftfeuchtigkeit zwischen 10 und 15 Prozent eingestellt. Der Zuluftzustand ist dabei auch von der Anzahl der Passagiere abhängig, da diese während des Fluges Wasserdampf an die Luft abgeben. Bei enger Bestuhlung und hoher Auslastung erhöht sich damit die Luftfeuchtigkeit der Kabinenluft. Die Zuluft besteht zum Teil aus gefilterter Umluft, die aus der Kabine abgesaugt wird. Der Rest ist frische Luft, die den Triebwerken vor der Brennkammer entnommen wird. Über Stöße und Spalte gelangt die Kabinenluft in den Bereich hinter der Verkleidung (siehe Abbildung 3) und strömt durch Druckunterschiede an den dort befindlichen Isolierpaketen vorbei. Während des Fluges kühlt sich die Innenseite der Flugzeugstruktur auf bis zu  $-35\text{ °C}$  ab. Aus dem Unterschied der Wasserdampfpartialdrücke der Kabinenluft und der Luft an der Struktur folgt ein Wasserdampfdiffusionsstrom durch die Folien der Isolierpakete. Bei Unterschreiten der Taupunkttemperatur kommt es zur Kondensation

von Wasser in den Isolierpaketen, wobei sich das Wasser am Boden der Pakete sammelt. So steigt mit der Zeit der Wasseranteil in der Isolierung.

Am Arbeitsbereich Technische Thermodynamik wurde im Rahmen des vorangegangenen LuFo I Projektes ein eindimensionales Matlab-Programm zur Simulation des Wärme- und Feuchte-transportes in Flugzeugisolationen entwickelt. Die im Flugzeug relevanten und im Programm implementierten Feuchte-transportmechanismen sind in Abbildung 4 dargestellt. Zur Validierung der Simulationen konnten Messungen an einem Modellversuchsstand am Arbeitsbereich durchgeführt werden. Dabei wurde der Aufbau der Isolierung zwischen Verkleidung und Struktur nachgebildet. Die Abkühlung der Struktur während des Fluges wird über eine gekühlte Aluminiumplatte modelliert, wobei Temperaturen zwischen  $+50\text{ °C}$  und  $-40\text{ °C}$  einstellbar sind. Die Einstellung der Kühlung wurde aus Flugversuchsdaten der Lufthansa abgeleitet. Als Ergebnis dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass ein Luftspalt zwischen Isolierung und Aussenhaut die Wasseransammlung in der Isolierung reduzieren kann. Dieser Effekt wird verstärkt, wenn der Aufbau mit Luftspalt in

Kombination mit einer dampfdichten Folie auf der Kabinenseite und einer Folie mit hoher Permeabilität (Durchlässigkeit) auf der Luftspaltseite eingebaut wird. Durch die dampfdichte Folie wird der Wasserdampftransport in die Isolierung verringert, während die poröse Folie auf der Luftspaltseite das Austrocknen begünstigt. Dabei muss dafür gesorgt werden, dass durch geeignete konstruktive Massnahmen das flüssige Wasser im Luftspalt kontrolliert abgeführt wird. Im aktuellen LuFo II Projekt wird diese Arbeit weitergeführt. Für die Simulation der Feuchteansammlung in komplexen 3D-Geometrien konnte das eindimensionale Matlab-Programm nicht verwendet werden. Für diese Berechnungen wird die kommerzielle Strömungssimulationssoftware Star-CD benutzt. Zur Validierung der Simulationen steht wieder der Modellversuchsstand an der TUHH zur Verfügung. Im Mittelpunkt der Arbeiten steht zusätzlich zur Definition der Bauweisen die Untersuchung verschiedener Folienmaterialien. Zusätzlich zur herkömmlichen Folie wird der Einsatz einer adaptiven Folie untersucht, deren Dampfdiffusionswiderstand von der relativen Feuchte der Umgebungsluft abhängig ist. Für die Kabinenseite mit niedriger relativer



Abb.3  
Flugzeugkabine mit  
Liningelementen

Feuchte stellt sich ein hoher Dampfdiffusionswiderstand ein, wodurch der Transport von Wasserdampf in das Material behindert wird. An der Luftspaltseite resultiert bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur eine hohe relative Feuchte, woraus eine hohe Permeabilität der Folie folgt. Dies begünstigt das Austrocknen der Isolierung. In den bisherigen Simulationen und Messungen hat sich diese Folie, in Kombination mit der Bauweise mit Luftspalt, als geeignet gezeigt, um die Wasseransammlung zu reduzieren.

#### Zusammenfassung und Ausblick

Im bisherigen Projekt konnte gezeigt werden, dass sich ein Luftspalt positiv auf die im Isoliermaterial angesammelte Wassermenge auswirkt. Insbesondere die Ver-

wendung einer dampfdichten Folie auf der Seite zur Kabine und einer porösen Folie auf der Luftspaltseite zeigte bessere Ergebnisse als die Verwendung der herkömmlichen Folie. Bei Benutzung der adaptiven Folie stellt sich der Dampfdiffusionswiderstand abhängig von den Umgebungsbedingungen ein und aufgrund der sich einstellenden Randbedingungen erhält man hierbei die Kombination von dichter/poröser Folie mit nur einem Material. Dies wirkt sich günstig auf den Fertigungsaufwand aus, bei gleichzeitiger Reduzierung der Wassermenge im Isolierpaket. In den nächsten Arbeitsschritten ist das Star-CD Modell zu erweitern. Damit sind Parameterstudien durchzuführen, um die am Besten geeignete Bauweise zu finden. Zur Validierung

der Simulationen sind Messungen an einem original A340 Strukturseitenteil bei der Airbus in Hamburg-Finkenwerder vorgesehen, wobei auch Versteifungselemente und andere Einbauten mitberücksichtigt werden. Dadurch ist die Abbildung der realen Randbedingungen besser möglich als an dem Modellversuchsstand.

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schmitz

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schmitz  
Ansprechpartner:  
Dipl.-Ing. Mario Wörner  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Technische Thermodynamik  
Denickestr. 17 / 21073 Hamburg  
Tel 040 / 4 28 78 - 3044  
Fax 040 / 4 28 78 - 4169  
www.tt.tu-harburg.de

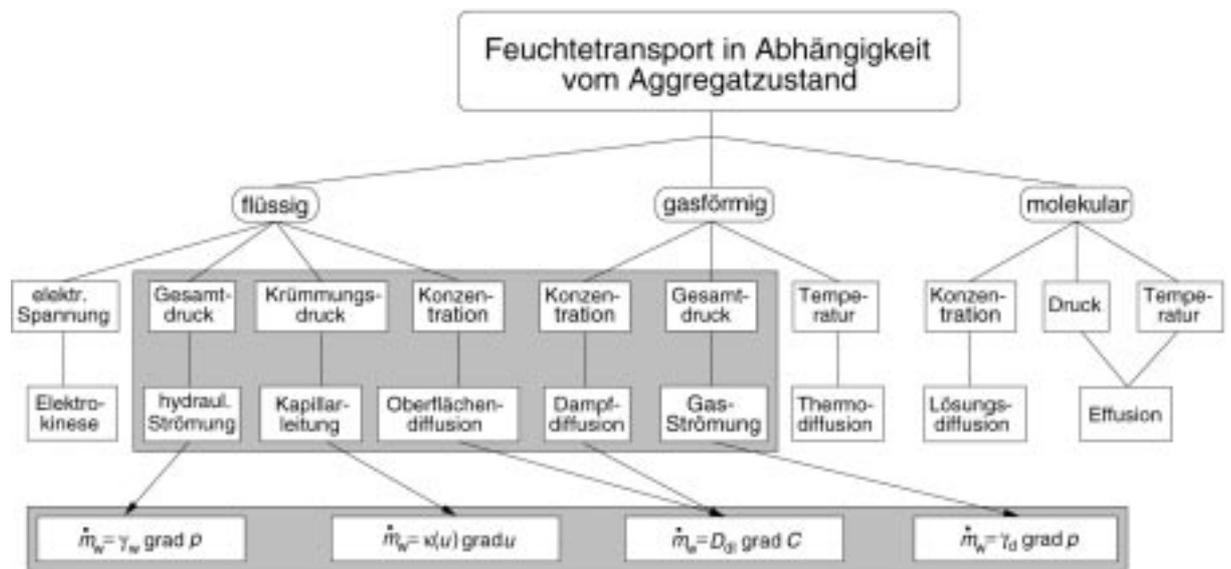


Abb.4  
Feuchtetransport-  
mechanismen

# Zerstörungsfreie Materialprüfung mit Ultraschall

Die Verwendung moderner Faserverbundwerkstoffe für die Luftfahrt und andere Hochleistungsanwendungen nimmt ständig zu. Höhen- und Seitenleitwerk, Landeklappen, Ruder, Spoiler und Druckschott sind bei vielen Flugzeugtypen der Airbus-Familie bereits heute aus Kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) gefertigt. Diese Teile sind bei gleicher Stabilität wesentlich leichter als herkömmliches Aluminium.

zierter Information verwendet und stark von Erfahrung und Konzentration des Prüfers abhängt.

Im Jahr 2002 hat der Arbeitsbereich Nachrichtentechnik ein eigenes Ultraschall-Prüfsystem in Betrieb genommen. Zur Aufnahme von dreidimensionalen Messdaten verfügt die Anlage über eine Manipulatoreinheit. Die Ultraschalldaten des Prüfsystems werden entweder direkt in eine Auswertesoftware übernommen oder für weitere Untersuchungen zwi-

befasst sich der Arbeitsbereich Nachrichtentechnik mit der Signalauswertung für Ultraschall-Systeme mit Luft als Koppelmedium. Die Schallübertragung über Luft hat viele Vorteile. Sie ermöglicht die Prüfung von luftgefüllten Materialien, z.B. Wabenkernverbänden oder Schaumstoffen, und von Körpern, die nicht mit Wasser in Berührung kommen dürfen, wie z.B. unbehandelte Keramik. Andererseits tritt an den Schallübergängen zwischen Luft und Festkörper eine Dämpfung von

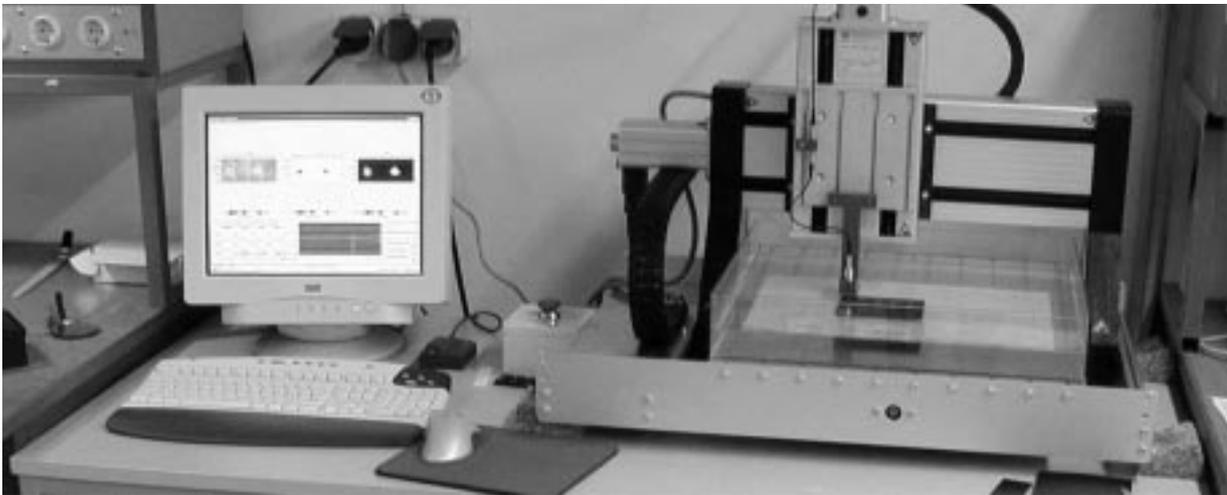


Abb. 1  
Ultraschall-Prüfsystem  
mit Manipulator

Langfristig besteht das Ziel, den gesamten Flugzeugrumpf aus CFK-Materialien herzustellen. Um Faserverbundwerkstoffe auch an hochbelasteten Stellen mit großer Zuverlässigkeit einsetzen zu können, sind zerstörungsfreie Prüfverfahren notwendig, mit denen die Materialqualität präzise untersucht werden kann.

In einem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt untersucht der AB Nachrichtentechnik von Professor Rohling Methoden zur zerstörungsfreien Materialprüfung dieser CFK-Strukturen mit Ultraschall. Insbesondere geht es dabei um die automatische Auswertung von Ultraschallsignalen sowie die Erkennung und Klassifikation von Materialfehlern. Die automatisierte Auswertung der Signale verwendet die vollständige aufgenommene Information und liefert objektive und reproduzierbare Ergebnisse, während die Bewertung durch einen Menschen aus Darstellungsgründen nur Bilder mit redu-

schengespeichert. Mit dem neuen Prüfsystem konnten bereits viele Erfahrungen in der praktischen Materialuntersuchung gesammelt werden. Ebenfalls untersucht werden Ansätze zur Bestimmung des Porengehaltes in CFK-Werkstoffen anhand des Ultraschallechosignals. Poren sind kleinste Lufteinschlüsse im Material, die dessen Stabilität negativ beeinflussen können, falls sie vermehrt und in einer bestimmten Konzentration auftreten. Es handelt sich also um eine besondere Art eines Materialfehlers, der nur sehr schwer im Ultraschallechosignal zu erkennen ist. Speziell arbeiten wir an einer Methode zur Analyse der Porosität direkt anhand des Streuechos aus dem Material. Das Verfahren wird benötigt für die Messung des Porengehalts der Deckhäute von CFK-Wabenkernverbundstrukturen, für die es bislang keine geeignete Methode gab. Diese Messungen werden üblicherweise im Wasserbad durchgeführt. Ferner

jeweils etwa 30 dB auf, so dass ein sehr stark bedämpftes Signal den Empfänger erreicht. Deshalb müssen spezielle Sendesignale und Auswerteverfahren entwickelt werden, um ein möglichst großes Signal-zu-Rausch-Verhältnis im Echosignal zu gewährleisten.

*Prof. Dr. Hermann Rohling*

**Prof. Dr. Hermann Rohling**  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Nachrichtentechnik  
Eißendorfer Straße 40  
D-21073 Hamburg  
Tel 040 / 4 28 78 - 3028  
Fax 040 / 4 28 78 - 2281  
[www.et2.tu-harburg.de](http://www.et2.tu-harburg.de)

# Kommunikationsnetze und -anwendungen in Großflugzeugen

Es ist nicht verwunderlich, dass Aerodynamik, Mechanik, Maschinen- und Triebwerksbau Disziplinen sind, deren Beherrschung ein Flugzeug sein Flugvermögen verdankt. Dass der moderne Flugzeugbau eine Vielzahl von Problemen aufwirft, für deren Lösung es des Know-Hows eines Nachrichtentechnikers oder Netzexperten bedarf, ist auf den ersten Blick nicht so offensichtlich – lässt sich aber wohl erahnen, wenn das Schlagwort vom „fly-by-wire“ einmal gefallen ist.

Über „den Draht“ fließen dann nämlich flugkritische Daten, mit denen das Cockpit etwa die Auslenkung eines Ruders von einem dort angebrachten Motor einfordert. Neben der Kommunikation zwischen Cockpit einerseits und Sensoren oder Aktuatoren andererseits gibt es ein hohes Aufkommen an Datenverkehr, das sich aus Aufgaben der Überwachung, Steuerung und Informationsverteilung im Kabinenbereich ergibt. Denkt man dabei allein an die Informations- und Kommunikationsbedürfnisse der Passagiere, die in modernen Großflugzeugen über in den Vordersitz eingelassene Terminals verfügen werden, so ist ein Verkehrsaufkommen von 1Gbit/s eine durchaus realistische Größe.

Neben Unterhaltungsanwendungen werden über das Kabinennetz Ansagen und Rufe in der Kabine, die Steuerung von Licht und Klimabedingungen sowie die Steuerung von Geräten im Küchen- und Sanitärbereich geleitet. In heutigen Flugzeugen sind für unterschiedliche Anwendungen auch unterschiedliche Kommunikationsinfrastrukturen im Einsatz; eine Vereinheitlichung in einem einzigen Kabinennetz verspricht wirtschaftliche Vorteile. An ein einheitliches Kabinennetz mit ca. 1.000 angeschlossenen Endgeräten werden in puncto Zuverlässigkeit Anforderungen gestellt, die die großen Netze im terrestrischen Bereich weit übertreffen:

- Zum einen geht es um Informationen, die mit der Sicherheit und dem Wohler-

gehen der Passagiere befasst sind, wie etwa beim Druckausgleich oder dem Freigeben der Sauerstoffmasken;

- Zum anderen muss die Fluggesellschaft in dem an und für sich unkritischen Unterhaltungsbereich mit hohen Regressforderungen rechnen, wenn ein Passagier das versprochene Unterhaltungsprogramm nicht oder nicht störungsfrei empfangen kann.

Zur Vermeidung der genannten Risiken werden Konzepte der Fehlertoleranz gesucht, die geeignet sind, die beobachtbare Ausfallwahrscheinlichkeit unter einen Wert von etwa  $10^{-9}$  zu bringen. Dies impliziert gleichermaßen die unmittelbare Bereitstellung alternativer Übertragungswege im Fehlerfall wie auch das nahtlose Aufsetzen eines anderen Rechners auf den Status, der für den fehlerhaften Rechner zum Zeitpunkt des Ausfalls maßgeblich war. Diese Aufgaben werden noch dadurch erschwert, dass einige Anwendungen Echtzeitforderungen stellen: Eine Nachricht wird verworfen, d.h. ist als Datenverlust zu betrachten, wenn zwischen ihrer Erzeugung mehr als eine in der Anwendung festgelegte Maximalzeit verstrichen ist. Aus dem Gesagten ergeben sich für die Kommunikationsinfrastruktur im Kabinenbereich folgende Anforderungen:

- Bewältigung des Verkehrsaufkommens von circa 1.000 Endgeräten mit unterschiedlichen Dienstgüte- und, insbesondere Echtzeitanforderungen,
- Fehlererkennungs- und Redundanzkonzepte für die Datenübertragung,
- Selbstheilungsmechanismen durch geeignete Redundanzkonzepte der kritischen Anwendungen und
- Konzepte zum Nachweis der geforderten Eigenschaften in geeigneten Testumgebungen.

Der Arbeitsbereich „Kommunikationsnetze“ der TUHH widmet sich diesen Problemen in zwei Kooperationsprojekten mit Airbus Industries. Im Projekt QoS Train (Quality-of-Service Aware Application-Transparent Infrastructure) geht es darum:

- Steuerungsmechanismen zur Garantie von Dienstgüteanforderungen zu konzipieren,
- Redundanzkonzepte zur Heilung von Übertragungsunterbrechungen zu entwickeln und
- Basisfunktionen für Selbstheilungsverfahren im Anwendungsbereich wie Daten- oder Statusabgleich verteilter Prozesse zu spezifizieren und zu implementieren.

Auf diese Art soll der Anwendungsprogrammierer von der Aufgabe befreit werden, über Eventualitäten im Netzgeschehen nachzudenken und dafür in seinen Programmen Sorge zu tragen. Vielmehr soll er davon ausgehen, dass jede Nachricht korrekt und zeitgerecht bei dem für sie zuständigen, empfangsbereiten Prozess ankommt.

Das Projekt TESTDEK (Testbussystem für die Simulation der Datenerfassung in der Kabine) beschäftigt sich mit der Auslegung einer Testumgebung für alle an der Kabinenausstattung beteiligten Systeme. Darunter fallen die dem Fluggast direkt sichtbaren Einheiten wie Beleuchtung, sitzbezogene Service-Funktionalitäten (individuelle Lichtbeeinflussung, Serviceruf, Entertainment, etc.), aber auch die Klimasteuerung, die Steuerung für Informationsdurchsagen oder die Druckregelung der Kabine. In einem stationären Teststand ist es nicht sinnvoll, eine Kabine mit der vollständigen Originalausrüstung zu installieren. Vielmehr muss ein repräsentativer Ausschnitt physisch real erstellt und der Rest durch geeignete Simulatoren daran angebunden werden. Zur Berücksichtigung des Fahrgastverhaltens werden dessen Interaktionen mit dem System ebenfalls in einer Simulation nachgebildet. Es ist damit offenkundig, dass neben der Original-Flugzeugausstattung eine Vielzahl von Simulatoren zum Einsatz kommt. Zur Testdurchführung werden die Simulatoren mit Daten versorgt, die das typische Verhalten in unterschiedlichen Flugphasen nachzubilden erlauben. Über Messdetektoren werden dann Daten von der

Systemreaktion aufgenommen und zur Beurteilung der Korrektheit in einem Testrechner ausgewertet.

Damit ist offenkundig, dass neben den Datenflüssen in der Flugzeugausrüstung eine sehr umfangreiche zusätzliche Datenflut zur Teststeuerung, Messung und Auswertung unter Realzeitbedingungen zu bewältigen ist. Diese Daten können nicht über den Wirkbus des Flugzeuges versandt werden, wenn dessen Leistungsfähigkeit getestet werden soll. Vielmehr ist ein Testbus zu entwickeln, an den alle realen Endgeräte und alle Endgerätesimu-

dahingehend bemessen, dass diese in der Lage sein sollten, alle installierten Verbraucher gleichzeitig zu bedienen, ein Ansatz, der bei dem A380 hinsichtlich des Gewichtes zur unvermeidbaren Dimensionierung der Stromversorgung führen würde. Messungen ergaben, dass während eines Interkontinentalfluges überwiegend weniger als 15% der installierten Verbraucherleistung abgefordert wurde. Dieser Spitzenverbrauch wurde in den Phasen der Mahlzeitevorbereitung erzeugt, also durch Öfen im Bereich der Küchen.

soren (z.B. Temperatursensoren) anspricht. Während man in einer ersten Phase von einer zentralen Steuerung ausgehen wird, zielen spätere Projektphasen darauf ab, einen „single point of failure“ zu vermeiden und ein Konzept für eine verteilte, ausfallsichere Steuerung zu entwickeln.

*Professor Dr. rer. nat. Ulrich Killat*

**Leitung:**

**Professor Dr. rer. nat. Ulrich Killat**

**Ansprechpartner:**

**Dr.-Ing. Lothar Kreft**

**Technische Universität Hamburg-Harburg**

**Arbeitsbereich Kommunikationsnetze**

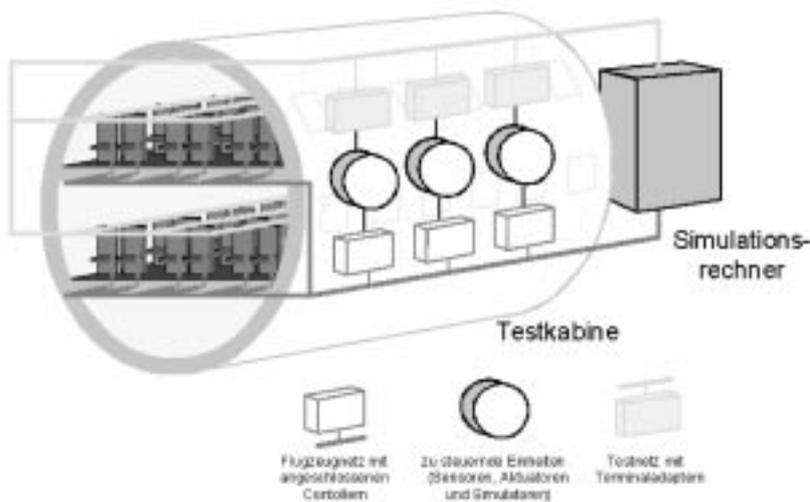
**Denickestr. 17**

**21073 Hamburg**

**Tel 040 / 4 28 78 - 3149**

**Fax 040 / 4 28 78 - 2941**

**killat@tuhh.de**



*Abb. 1:  
Prinzipieller Aufbau  
eines Flugzeug-Kabinen-  
Testsystems*

latoren angeschlossen sind, über den sie Befehle zur Auslösung von Aktivitäten erhalten. Zur Untersuchung einer optimalen Auslegung und Dimensionierung des Testbusses werden umfangreiche Untersuchungen auf der Basis realer Verkehrsdaten durchgeführt und Protokollvarianten bezüglich ihrer Effizienz in dieser speziellen Umgebung untersucht. Abb.1 vermittelt einen Eindruck von dem prinzipiellen Aufbau von Wirk- und Testbus sowie den notwendigen Systemkomponenten.

In einem weiteren Projekt ist das Ziel, mit einem Leistungsmanagement eine Basis für eine optimale Nutzung der für die Stromversorgung verfügbaren Energiequellen zu schaffen. Nach bisherigen konservativen Ansätzen wurde die Dimensionierung der Stromgeneratoren

In einem intelligenten Leistungsmanagement-System muss es daher möglich sein, selbst bei einer Generatorleistung, die geringer ist als 50 Prozent der installierten Verbraucherleistung, eine adäquate Bedienqualität zur Verfügung zu stellen. Die Verbraucherspitzen durch die Öfen ließen sich durch eine entsprechende Regelung deutlich reduzieren. Selbst wenn sich hierdurch geringfügige Verlängerungen der Aufwärmzeiten ergeben, ist dies durch eine modifizierte Ablaufplanung ohne Einbußen der Servicequalität zu kompensieren. Zur Realisierung eines solchen Leistungsmanagements bedarf es neben einer detaillierten Analyse des Versorgungsnetzes und der Eigenschaften der einzusetzenden Leistungselektronik einer Ablaufsteuerung, die über ein Netz die unterschiedlichen Verbraucher und Sen-

# Cryoplane

## Oder: Kann man mit Wasserstoff fliegen?

Um die Antwort auf die im Titel aufgeworfene Frage einmal vorweg zu nehmen: Man kann mit Wasserstoff als Treibstoff fliegen! Und auch eine zweite, sehr häufig gestellte Frage wird im Vorwege beantwortet: Wasserstoff ist ein sicherer Treibstoff, in Teilaspekten sogar sicherer als Kerosin, da sich z.B. der leichte Wasserstoff nach oben verflüchtigt und keine Flächenbrände zur Folge hat, wie es bei Kerosin der Fall ist.

Diese und viele andere Fragen wurden in dem EU-Projekt „CRYOPLANE Hydrogen fuelled aircraft – System analysis“, zwischen Mai 2000 und April 2002, geklärt. Initiiert wurde das Projekt von der Airbus GmbH und im 5. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission gefördert. Aufgrund der Komplexität des Gesamtprojektes wurde es in Arbeitspakete unterteilt. Diese Arbeitspakete untergliederten sich

- Konventionelle Wasserstoffproduktionsprozesse
- Funktionssimulation des Wasserstofftransportes im Treibstoffsystem.

Das Ziel dieses Projektes war die Schaffung der Grundlagen für den Bau eines Flugzeuges zur Demonstration, um den Wechsel des Flugtreibstoffes Kerosin auf Wasserstoff zu zeigen.

### Die Herausforderung und Motivation

Die Wirtschaft und die Gesellschaft sind heute durch ein hohes Maß von Mobilität geprägt und davon abhängig. Auf das erreichte Maß an Mobilität zu verzichten, erscheint weder wünschenswert noch möglich. Im Gegenteil: Die Erwartungen an verfügbare Mobilität werden sowohl nach Umfang als auch nach Qualität weiter steigen, insbesondere mit dem wirtschaftlichen Aufschwung von sogenann-

als vorrangiges Ziel genannt, um der Erderwärmung entgegen zu wirken. So werden politisch immer neue Ziele vorgegeben und Strafen bei Überschreitung eines festgelegten Limits des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verhängt. Dies führt sogar dazu, dass ein weltweiter Handel mit CO<sub>2</sub>-Optionsscheinen geplant ist.

Diese beiden Fakten, das steigende Verkehrsaufkommen und die notwendige Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, führen zu immer neueren Technologien, um den Treibstoff effektiver zu nutzen. Es führt aber auf lange Sicht kein Weg an alternativen Kraftstoffen vorbei. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von Wasserstoff als Energieträger. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht als primäres Verbrennungsprodukt nur Wasser. Unter der Voraussetzung, dass der Wasserstoff ohne Freisetzung von CO<sub>2</sub> hergestellt wird, ergibt sich die Möglichkeit einer nachhaltigen Energiewirtschaft.

Mit CRYOPLANE wird der Ansatz forciert, unter Nutzung von erneuerbaren Energien den Luftverkehr so umweltfreundlich zu gestalten, dass seinem Wachstum auf lange Zeit nichts entgegensteht. Es bleibt nur eine Frage offen: Wie hoch ist der Preis, den wir dafür zahlen müssen? Zur Zeit ist der aus regenerativen Energien hergestellte Wasserstoff um einige Faktoren teurer als das (nicht besteuerte) Flugbenzin. Diese ökonomische Barriere gilt es zum Beispiel durch neuere und verbesserte Technologien und dem Aufbau einer besseren Infrastruktur für die Wasserstoffproduktion und -verteilung abzubauen.



in ca. 60 Teilaufgaben, die dann von 30 europäischen Universitäten und Unternehmen, die auf dem jeweiligen Gebiet große Fachkompetenz aufweisen, bearbeitet wurden. Der Arbeitsbereich Apparatebau der TUHH unter der Leitung von Professor Dr.-Ing. Jobst Hapke hat mehrere Teilprojekte bearbeitet. Zum einen leitete Hapke das Arbeitspaket: „Treibstoffquellen und Infrastruktur“ und zum anderen wurden zwei Teilaufgaben übernommen:

ten Schwellenländern. So wird von großen Flugzeugproduzenten wie Airbus und Boeing ein Anstieg des Flugaufkommens von ungefähr fünf Prozent pro Jahr für die nächsten 20 Jahre erwartet. Das erhöhte Flugaufkommen hat somit auch höhere Emissionen zur Folge, die die Umwelt mehr und mehr belasten. Neben der Schonung der Ressourcen wie Erdöl und Kohle, stellt sich auch die Aufgabe der Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Die Reduktion des Treibhausgases CO<sub>2</sub> wird

### Ergebnisse der Studie:

#### a) Herstellung von Wasserstoff

Zur Zeit wird Wasserstoff überwiegend unter Ausstoß von CO<sub>2</sub> hergestellt. Die beiden wesentlichen Prozesse sind die partielle Oxidation und die Dampfreformierung. Dort werden als Ausgangsprodukte kohlenstoffhaltige Verbindungen wie Methan, Ethan oder Kohle eingesetzt. Dies hat eine Produktion von CO<sub>2</sub> zur Folge, die z.B. bei der Dampfreformierung mit Ethan 0,29 Norm-m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> pro

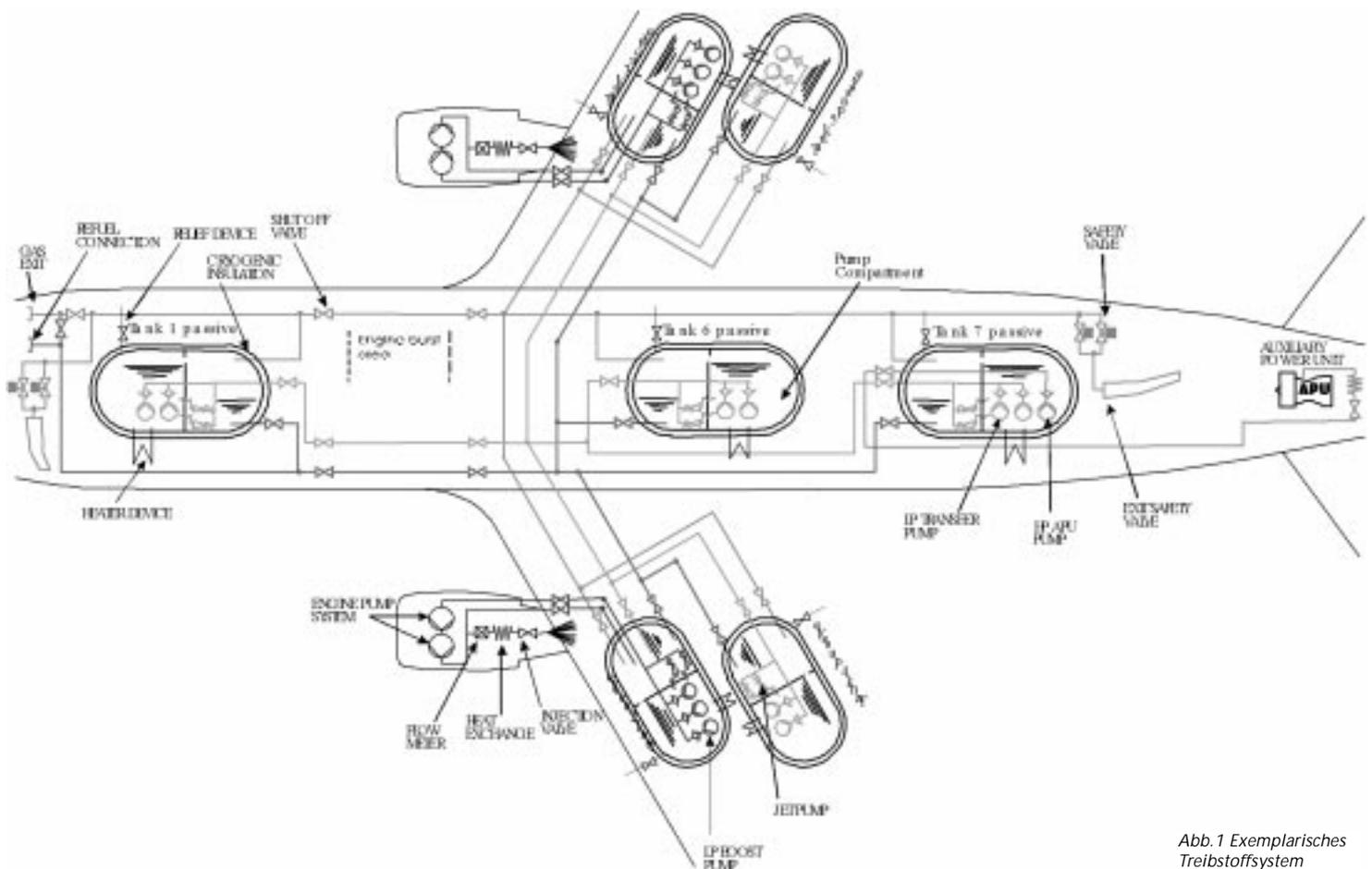


Abb.1 Exemplarisches Treibstoffsystem

1 Norm-m<sup>3</sup> H<sub>2</sub> beträgt. Neben den Produktionsprozessen, die direkt zur Produktion von Wasserstoff dienen, existieren noch einige Prozesse, bei denen Wasserstoff als Nebenprodukt entsteht. Diese Prozesse sind die Chlor-Alkali Elektrolyse und Raffinationsprozesse in der Petrochemie. Weltweit liegt der Anteil des als Nebenprodukt hergestellten Wasserstoffs bei 40 Prozent, bei einer jährlichen Gesamtproduktion von 5, mal 10<sup>11</sup> Norm-m<sup>3</sup> pro Jahr. Es existieren nun zwei Ansätze, um Wasserstoff ohne Freisetzung von CO<sub>2</sub> zu produzieren. Zum Einen können die herkömmlichen Verfahren beibehalten werden. Das dann entstehende CO<sub>2</sub> muss im Produktionsprozess abgetrennt und weiterverarbeitet, beziehungsweise gelagert werden. Eine Lagerung kann z.B. durch Sequestrierung umgesetzt werden. Zum Anderen können regenerative Energien für die Produktion von Wasserstoff genutzt werden. Hierbei kommen Sonnen- und Windenergie sowie Wasserkraft und Biomasse in Frage. Die daraus gewonnene elektrische Energie kann dann in einer Elektrolysezelle zur Wasserstoffproduktion genutzt werden.

Eine wesentliche Aufgabe ist noch die Infrastruktur des Energietransportes, da Herstellungsort und Verbrauchsort des Wasserstoffes weit auseinander liegen können. Zwei Möglichkeiten sind der Transport von elektrischer Energie oder der Transport von Wasserstoff. Eine mögliche Energiekette wäre die Produktion von elektrischer Energie aus den geothermischen Quellen in Island, Transport der elektrischen Energie über ein Unterseekabel nach Hamburg, Nutzung des elektrischen Stromes zur Wasserstoffproduktion durch Elektrolyse am Hamburger Flughafen. Die verschiedenen Kombinationen wurden alle untersucht und für den jeweiligen Bedarf gewertet.

#### b) Simulation des Wasserstofftransportes im flüssigen Zustand

Bei der Simulation des Wasserstofftransportes vom Tank bis hin zur Verbrennungskammer stand der Aufbau eines Monitoring Systems im Vordergrund. Der wesentliche Unterschied von Wasserstoff zu Kerosin als Treibstoff ist, dass der flüssige Wasserstoff tiefkalt bei Temperaturen von -253°C nahe am Siedezustand mit-

geführt wird. Der Wasserstoff darf auf keinen Fall verdampfen, da die resultierende Zweiphasenströmung einen höheren Druckabfall zur Folge hat. Der Druckverlust einer Zweiphasenströmung ist aufgrund von physikalischen Phänomenen, wie z.B. der Interphasenreibung, um ein wesentliches höher als der Druckverlust einer einphasigen, flüssigen Strömung. Damit könnte nicht mehr genügend Wasserstoff zur Verbrennungskammer gefördert werden. Das Simulationsprogramm muss also in der Lage sein zu entscheiden, ob der geförderte Wasserstoff gerade verdampft sowie den Druckverlust einer eventuell auftretenden Zweiphasenströmung zu berechnen. Dieses wurde mit Hilfe des Simulationsprogramms MATLAB/SIMULINK realisiert. Um die Ergebnisse abzusichern, wurden mit der Firma ET- Energie Technologie in München Versuche zur Druckverlustbestimmung durchgeführt. Zusätzlich zu dem Monitoring System, welches das gesamte Treibstoffsystem mit Short-Cut Modellen simuliert, wurden noch Detailsimulationen durchgeführt. Diese dreidimensionalen Strömungssimulationen

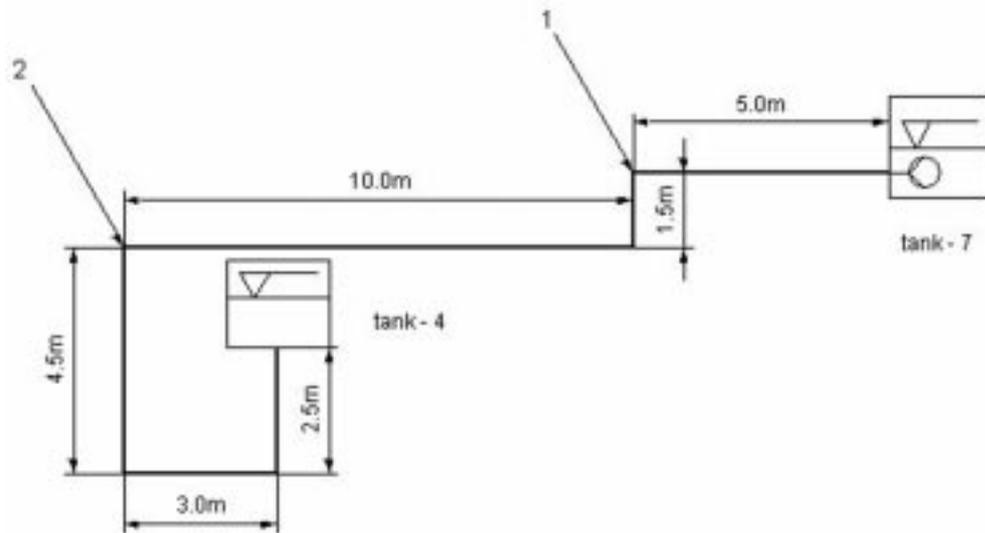


Abb.2  
Verbindung zweier  
passiver Tanks

wurden mit dem Programm PHOENICS durchgeführt. Dieses Programm löst direkt die Navier-Stokes'schen Gleichungen unter Verwendung von geeigneten Turbulenzmodellen. In diesem Fall kommen noch die Zweiphasen-Phänomene, wie Interphasenmassen, -impuls und -energietransport hinzu. Die Wasserstoff-Stoffwerte werden über eine Datenbank eingelesen, die so strukturiert ist, dass die stark mit der Temperatur veränderlichen

Verzweigung) programmiert, die je nach dem speziellen Fall zusammengesetzt und modifiziert werden können.

Der Beginn ist das Treibstoffsystem, wie es beispielhaft in Abbildung 1 dargestellt ist. In der Abbildung 2 ist eine Leitung aus dem System dargestellt. Die Abbildung 3 zeigt schließlich die Umsetzung des Leitungssystems in die MATLAB/SIMULINK Umgebung. Jeder der in Abbildung 3 dargestellten Blöcke kann über eine Maske

#### Ausblick

Der nächste Schritt nach der Systemstudie ist die Konstruktion des Demonstrationsflugzeuges. Da dies nicht ohne Verzögerung stattfinden kann, ist vorgesehen, ein sogenanntes Network of Excellence mit dem Namen HYTRAF unter der Leitung von Professor Dr.-Ing. Jobst Hapke aufzubauen. Dieses soll im Rahmen des sechsten Rahmenprogrammes zur Forschungsförderung der EU unterstützt werden, um einzelne weiterführende Fragestellungen zu bearbeiten.

Prof. Dr.-Ing. Jobst Hapke

[1] F.Maying, *Strömung und Wärmeübergang in Gas-Flüssigkeits-Gemischen*, Springer-Verlag, Wien, New York, (1982).

[2] D. Sarigiannis, *Task Technical Report 3.4, CRYOPLANE-Projekt* (Veröffentlichung steht bevor)

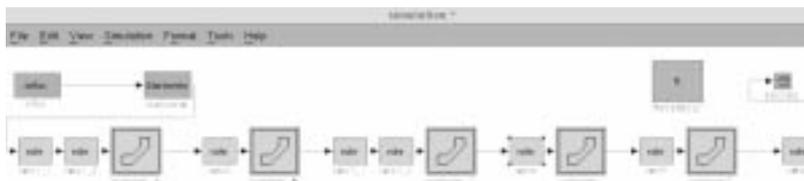


Abb.3  
Darstellung des  
Leitungssystems

Stoffwerte im tiefkalten Bereich erfasst werden können. Es ist das erste Mal gelungen, alle diese komplexen Vorgänge, vor allem mit Änderung des Phasenanteils, zu simulieren. Diese neuen Erkenntnisse sollen später in das Monitoring System einfließen: Die mathematische Basis der Druckverlustberechnung bildet eine Formel, die von Professor Dr. Ing. Lutz Friedel [1] entwickelt wurde. Außerdem war die Implementierung von Wärmedurchgangsformeln nötig, die den Wärmeeintrag von außen in die Rohre darstellen. So wurden verschiedene Blöcke (Rohr, Krümmer, Rohrerweiterung,

an die jeweiligen Bedürfnisse (Größe, Durchmesser, Aussentemperatur, Dicke der Isolierung, Fehlstellen) angepasst werden. Der Vergleich von Simulationsergebnissen zu gemessenen Werten mit identischen Randbedingungen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung [2]. Mit diesem Tool kann einerseits ein Online-Monitoring System aufgebaut werden. Andererseits können die Effekte von Störfällen, wie z.B. ein erhöhter Wärmeeintrag durch eine defekte Isolierung, studiert und Optimierungsaufgaben (Dicke und Material einer Isolierschicht) untersucht werden.

Prof. Dr.-Ing. Jobst Hapke  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Apparatebau  
Eißendorfer Str. 38  
21073 Hamburg  
Tel 040 / 4 28 78 - 3248  
Fax 040 / 4 28 78 - 2938  
www.tu-harburg.de/apb/

# Auch Flugzeuge müssen zum Crashtest

## Verbesserung der passiven Sicherheit von Flugzeug-Inneneinrichtungen

Große Flugzeuge werden nicht wie Autos mit Personen-Dummies besetzt und gegen eine Betonwand gefahren. Der Aufwand wäre zu groß. Das Crashverhalten von Flugzeug Inneneinrichtungen wird deshalb am Computer simuliert. Hierzu werden an der TUHH Modelle entwickelt und durch Versuche überprüft.

In einem Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit Airbus Deutschland GmbH will der Arbeitsbereich Konstruktionstechnik I das Crashverhalten von Bauteilen im Innenraum von Flugzeugen verbessern. Dafür werden die zur Zeit geltenden hohen Anforderungen an die Flugzeugpassagiersitze, die vor der Zulassung einen Crash-Test bestehen müssen, auf die Inneneinrichtung der Flugzeugkabine übertragen. Es sollen energieabsorbierende Halter für die Inneneinrichtungskomponenten entwickelt werden. Insbesondere geht es um Halterungen mit denen die Gepäckfächer (Hatracks) an der Flugzeugstruktur befestigt werden.

Dipl.-Ing. Marc Pein, einer der verantwortlichen Ingenieure des Arbeitsbereichs Konstruktionstechnik I, sagt: „In dem Forschungsprojekt sollen Halterungen unter erweiterten, dynamischen Annahmen synthetisierter Crashfälle berechnet werden. Mit den Erkenntnissen der Simulationen kann der Halter bezüglich funktionaler und wirtschaftlicher Gesichtspunkte neu gestaltet werden.“ Zur Zeit untersuchen die Ingenieure am Arbeitsbereich Konstruktionstechnik I, welche bekannten Absorptionsprinzipien und -konzepte für diesen Anwendungsfall in Frage kommen. Sie greifen dabei unter anderem auf Wissen und Erfahrung aus der Automobilentwicklung zurück. Obwohl ein Flugzeug keine vergleichbare Fahrgastzelle wie ein Auto hat, sind die Ergebnisse aus PKW-Crashtests nutzbringend auf das Flugzeug übertragbar.

Nach aufwendigen rechnerischen Analysen verschiedener Konzepte wollen die Forscher ein oder mehrere geeignete Konzepte auswählen, die weiterentwickelt und an die Ansprüche der Flugzeuganwendung

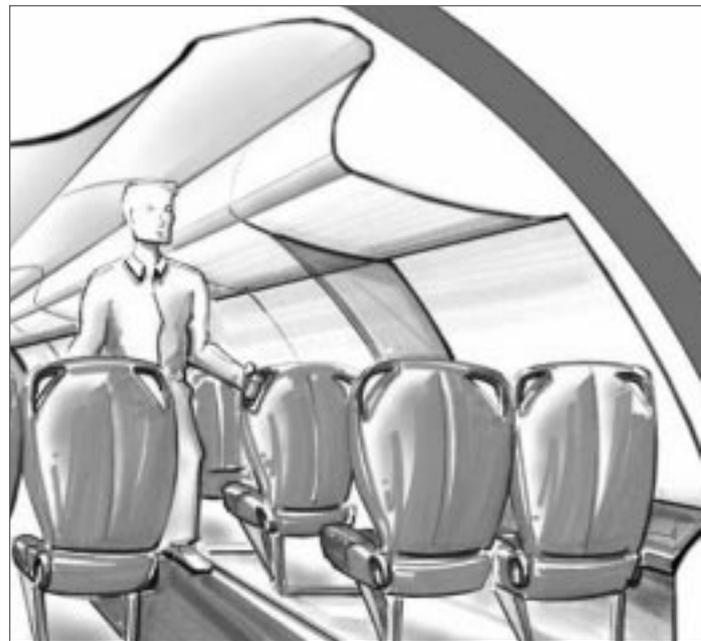
angepasst und optimiert werden. Langfristig sollen die Ergebnisse die Crashtestsimulation von Energieabsorbern am Computer verbessern. Dr.-Ing. Viktor Laukart, Mitarbeiter im Arbeitsbereich Konstruktionstechnik I, sagt dazu: „Wir wollen Halter für die Gepäckfächer entwickeln, die die bestehenden, aber auch erweiterte Sicherheitsanforderungen erfüllen, gleichzeitig jedoch sehr leicht sind und ihre Aufgabe dauerhaft verrichten. Die Halter sollen zusätzlich die durch die Gepäckfächer auf die Flugzeugstruktur wirkenden Kräfte beim Crash reduzieren.“

Für die zur Bestätigung des Rechenmodells erforderlichen Tests sind Versuchstände in Planung, die in nächster Zeit in den Versuchshallen des Arbeitsbereichs aufgestellt werden. Mit einem Fallturm sollen die Impulsbelastungen auf die Bauteile untersucht werden. Aus bis zu vier Metern Höhe fällt dazu ein Gewicht von 30 Kilogramm auf den Absorber. Zum Nachweis des Verhaltens im Betrieb des Flugzeuges werden die Halterungen in einem hydraulischen Prüfstand Schwingungsbelastungen ausgesetzt. In diesem Prüfstand können neben Standardbelastungen wie Landestöße und Vibrationen erhöhte Schwingungsbelastungen simuliert werden, wie sie in Notfallsituationen auftreten können. Auch kann die Schwingungsdämpfung aller Halterungen an diesem Versuchstand untersucht werden. Arbeitsbereichsleiter Professor Dr.-Ing. Dierk Götz Feldmann dazu: „Mit den Rechenmodellen und den Versuchständen ist neben der Erfüllung der Anforderungen des laufenden Projektes gleichzeitig die Basis für erweiterte Untersuchungen in Nachfolgeprojekten gelegt. Das Ziel des Vorhabens ist der Nachweis der „technological readiness“ (Einsatzfähigkeit) der Halterungen.“

Neben Airbus und der TUHH ist auch die Firma iDS (industrial Design Studio, Professor Granzeier und Dipl. Des. Wietzke) als Partner an der Arbeit beteiligt. iDs wird ein unter Crash-Aspekten optimiertes Design erstellen und mit der Neugestaltung der Inneneinrichtung die Verletzungsgefahren für die Fluggäste im

Crashfall minimieren. Träger dieses Forschungsprojektes ist das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR. Förderer ist die Stadt Hamburg. Anfang 2004 ist der Abschluss des laufenden Projektes geplant. In Aussicht steht ein Folgeprojekt bis 2007.

Christian Soutl



Leitung:  
Professor Dr.-Ing. Dierk Götz Feldmann  
Ansprechpartner:  
Dr.-Ing. Marc Pein  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Konstruktionstechnik I  
Denickestr. 17  
21073 Hamburg  
Tel 040 / 4 28 78 - 3666  
Fax 040 / 4 28 78 - 2296  
m.pein@tuhh.de

Abb. 1  
Designstudie  
Flugzeugkabine  
von iDS

# Untersuchungen von Wasserversorgungssystemen in Flugzeugen

## Der Arbeitsbereich Wasserbau engagiert sich in der Luftfahrt

Am 1. Januar 2003 trat die Novellierung zur Trinkwasserverordnung vom März 2001 (TrinkwV 2001) in Kraft, in welcher auch Wasser für häusliche Zwecke als Trinkwasser definiert wird. Damit sind die derzeitigen Schilder „kein Trinkwasser“ über den Waschbecken von Flugzeugen und in der Bahn unzulässig. Die strengen Forderungen der neuen TrinkwV 2001 führen zu einem Handlungsbedarf auf dem Gebiet der Wasserdesinfektion. Bei den Airlines besteht daher großes Interesse an Desinfektionsmodulen zur Nachrüstung bestehender Wasserversorgungssysteme und zur Ausrüstung neuer Systeme.

Die Entwicklung eines Desinfektionsmoduls und die Realisierung einer mit dem bestehenden System kompatiblen kontinuierlichen Zirkulation ist eine der Teilaufgaben des Forschungsvorhabens. Eine weitere ist die Entwicklung einer innovativen Druckbeaufschlagung für das Wasserversorgungssystem. Diese basiert bei heutigen Flugzeugtypen auf einer Kombination aus der so genannten Triebwerks-Zapfluft (bleed air) und verdichteter Luft, die von Kompressoren erzeugt wird. Während des Fluges erfolgt die Druckbeaufschlagung hauptsächlich durch Zapfluft, die Kompressoren bedrücken das Wasserversorgungssystem am Boden und unterstützen die Druckbeaufschlagung während der Flugphasen. Diese Technik weist entscheidende Nachteile auf, da die Führung der Zapfluft vom Triebwerk zum Wassertank ein aufwendiges System von Rohrlei-

tungen und Regelarmaturen erfordert und die Armaturen den Druck reduzieren und ggf. Kompressoren hinzuschalten müssen. Zudem soll die einwandfreie Funktion über ein breites Temperaturspektrum gewährleistet sein. Erfahrungsgemäß verursachen die dafür notwendigen Geräte häufig Schwierigkeiten und beeinträchtigen so die Zuverlässigkeit des Druckbeaufschlagungssystems. Ein adaptives, dynamisch anpassbares Kompressorsystem soll die aufwendigen, auf „bleed air“ basierenden Druckbeaufschlagungssysteme in Zukunft ersetzen. Dieser vereinfachte Aufbau ist vorteilhafter und zuverlässiger, allerdings zur Zeit noch nicht Stand der Technik im Flugzeugbau. Deshalb wird der Arbeitsbereich Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg unter Leitung von Professor Dr.-Ing. Erik Pasche in enger Zusammenarbeit mit der MAN Technologie AG ein Projekt zur Entwicklung der beschriebenen Systeme durchführen.

### Entwicklungsschritte

Für die Entwicklung eines innovativen Druckbeaufschlagungssystems wird die Erstellung eines physikalischen und numerischen Modells parallel zu experimentellen Untersuchungen ausgewählter Kompressoren notwendig.

Die bereits existierenden physikalischen Modelle der Druckbeaufschlagung für Wasserversorgungssysteme in Flugzeugen konzentrieren sich auf die Untersuchung von Fließdrücken an den Verbraucherentnahmestellen. Die Zukunft ver-

langt jedoch Untersuchungen, die die Wechselwirkungen zwischen den Subsystemen Druckbeaufschlagung, Wasserspeicherung und Wasserversorgung aufzeigen. Dazu ist es notwendig, das Verhalten unterschiedlicher Kompressortypen sowohl im Dauerbetrieb (Druckbeaufschlagung am Boden) als auch durch gesteuerte Schaltzyklen (Flugmodellierung) zu überprüfen.

Für eine realitätsnahe Simulation der dynamischen Interaktionsprozesse zwischen Kompressor und Wasserversorgungsnetz wird ein numerisches Modell entwickelt, welches die eindimensionale Hydraulik eines Wasserversorgungssystems zusammen mit der Gasdynamik der Druckbeaufschlagung berechnet. Das Modell muss wegen der großen Bandbreite der auftretenden instationären Wasserverbrauchsvorgänge und den damit einhergehenden Schaltvorgängen des Kompressors über eine sehr anpassungsfähige Schrittweitensteuerung verfügen. Darüber hinaus sollte das Modell sehr effiziente Gleichungslöser enthalten, die rechenstechnisch eine sehr feine zeitliche Auflösung ermöglichen, damit die extrem instationären Prozesse in der Kompressoranschaltphase simuliert werden können.

Die Entwicklung des Druckbeaufschlagungssystems ist eng an die des beschriebenen Desinfektionsmoduls gekoppelt. Für die Anwendung im Flugzeugbau kommen die Verfahren der elektrolytischen und der UV-Desinfektion in Frage. Der wichtigste Vorteil der elektrolytischen

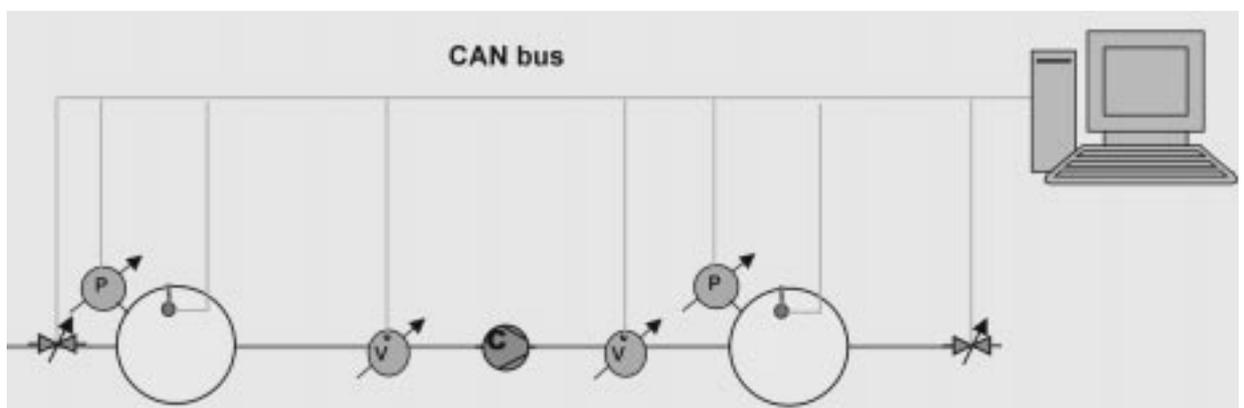


Abb. 1  
Systemaufbau des  
Kompressorteststandes

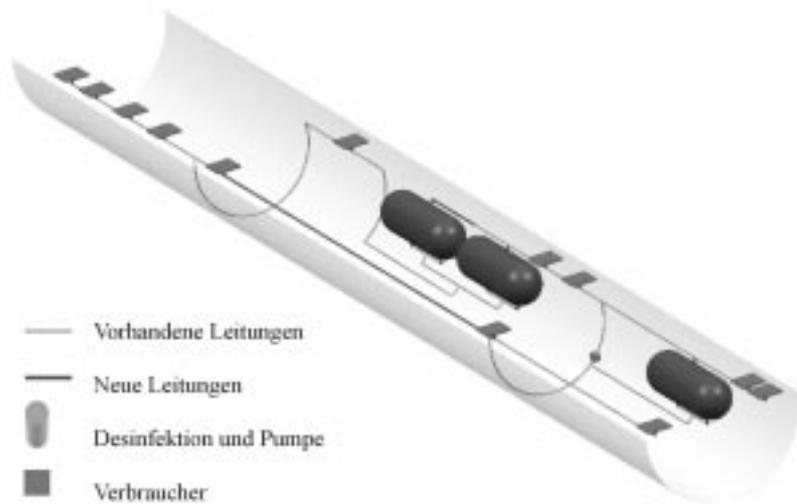


Abb.2  
Modifikation des  
A340 Wassersystems

Desinfektion ist die anhaltende Wirkung des elektrolytisch produzierten freien Chlors. Dieses wird abhängig von der Systemkonfiguration mehr oder weniger gut im System verteilt und kann auch an entfernten Stellen wirksam sein. Der entscheidende Nachteil des Verfahrens ist die Notwendigkeit eines druck- und temperaturstabilen Chlor-Sensors. Verfügbarkeit und Preis dieses Sensors sind allerdings Ausschlusskriterien des elektrolytischen Verfahrens. Die UV-Desinfektion ist hingegen leicht integrierbar und führt zu einer sehr hohen Keimzahlreduzierung im Wasser. Ihre Wirksamkeit ist weniger abhängig von der Wasserzusammensetzung. Da die UV-Desinfektion wie ein Keimfilter wirkt, hat sie jedoch keinen so genannten Depoteffekt. Eine permanente Umwälzung des behandelten Wassers ist unerlässlich. Die Effektivität ist abhängig vom Anteil des Systems, der in die Zirkulation mit einbezogen wird.

Die heutigen Wasserversorgungssysteme in Flugzeugen besitzen keine permanente Zirkulation. Ein Wassertransport im Drucksystem findet nur während der Zeit statt, in der eine Zapfstelle geöffnet ist. Es handelt sich hierbei um ein baumartig verzweigtes Stickleitungssystem. Ein Rückfluss zum Tank oder zu einer Versorgungsleitung ist nicht vorgesehen. Für eine ausreichende Desinfektion ist eine permanente Wasserzirkulation unerläss-

lich. Diese besitzt weiterhin folgende Vorteile: Ablagerungen an Rohrwänden werden reduziert und zahlreiche Heizelemente an frostgefährdeten Positionen können in Folge der Umwälzung durch eine zentrale Heizung ersetzt werden.

#### Ausblick

Die zu entwickelnde Lösung für die zuverlässige Druckbeaufschlagung und Desinfektion von Wasserversorgungssystemen im Flugzeugbau wird Anwendung auf existierende und vorgesehene Airbus-, Embraer- und Boing-Luftfahrtprogramme finden. Das gewonnene Know-how ist ein wichtiges Element, um den deutschen Anteil an der Luftfahrtindustrie zu sichern und zu bestärken.

Als Ergebnis des Forschungsprojektes wird die Auswahl geeigneter Komponenten erwartet, die Bestandteil von zuverlässigen, konkurrenzfähigen und marktorientierten Wasserversorgungssystemen der nächsten Flugzeuggeneration sind. Die Herstellung solcher Komponenten könnte zum Teil oder vollständig im Hamburger Raum erfolgen.

Die bereits im Arbeitsbereich Wasserbau vorhandene Kompetenz auf dem Gebiet der mathematischen Modellierung technischer Strömungen wird um den Problembereich transienter hybrider Strömungen ergänzt. Damit eröffnet sich ein neues sowohl experimentell als auch

numerisch noch wenig von der Wissenschaft aufgenommenes Forschungsfeld für die TUHH. Die bislang überwiegend in der kommunalen Wasserversorgung liegende Kompetenz könnte durch neue Erkenntnisse aus der Luftfahrttechnik eine Rückkopplung erfahren. So entstehen neue Anwendungsgebiete bei Großabnehmern von Trinkwasser wie z.B. Großbauten mit ausgedehnten und stark vermaschten Wasserversorgungsnetzen und Industriebetrieben wie Brauereien.

Dipl.-Ing. Markus Töppel

#### Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Erik Pasche

#### Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Markus Töppel

Technische Universität Hamburg-Harburg

Arbeitsbereich 3-11 Wasserbau

21073 Hamburg - Denickestr. 22

Tel 040 / 4 28 78 - 3761

Fax 040 / 4 28 78 - 2802

[www.tuhh.de/wb](http://www.tuhh.de/wb)

# Bohren für den A380

## Werkzeug- und Prozessentwicklung im Team von TUHH

Seit Oktober 2001 arbeiten Fertigungstechniker der TUHH an dem Projekt „Bohren neuartiger Schichtverbunde im Rahmen der A380-Rumpfmontage.“ Ziel des Projektes ist die systematische Lösung grundlegender Bohrungsprobleme in der Rumpfmontage.

Im Vordergrund stehen die Entwicklung von Bohr- und Reibwerkzeugen, von Vorrichtungen zur Erleichterung der manuellen Bohrbearbeitung sowie die Optimierung von Prozessfolgen unter Berücksichtigung möglicher Automatisierungsschritte unter Einsatz von Bohrvorschubeinheiten.

Sogenannte Schichtverbunde treten beim Flugzeug vor allem dort auf, wo Bauteile mit Hilfe von Nietten zusammengefügt werden sollen. Zur Verbindung unterschiedlicher Werkstoffe wie Aluminium, Titan und kohlefaserverstärkter Kunststoffe (CFK) sowie Glare (Erläuterung siehe oben) ist die Niettechnologie heute und zukünftig trotz der Entwicklung neuer Fügeverfahren unverzichtbar. Hierbei hat es sich bewährt, die Bohrungen für die Niete zumindest im qualitätsbestimmenden Schritt in allen Werkstoffen zusammen zu fertigen. Dies geschieht in vielen Fällen manuell, da die Automatisierung aufgrund der Zugänglichkeit der Bearbeitungsstellen nur schwierig gestaltet werden kann. Deshalb kommen häufig manuell geführte Prozesse mit mehreren Aufbohrschritten unter Einsatz pneumatisch angetriebener Bohrmaschinen oder Bohrvorschubeinheiten zur Anwendung, die vom Mitarbeiter auf der zu bearbeitenden Struktur justiert werden. Nicht nur beim Serienanlauf, sondern auch im Fall von Reparaturen müssen Bohrungen in Schichtverbunde manuell hergestellt werden.

Die Werkstoffkombinationen, die beim Zusammenfügen der Bauteile im Rumpfbereich gemeinsam zu bohren sind, würden bei einer jeweils einzelnen Bearbeitung unterschiedliche Werkzeuge und Schnittbedingungen verlangen. Die Schwierigkeiten der Bearbeitung werden durch hohe Anforderungen an die Boh-

rungsqualität noch verstärkt. Es werden folglich Werkzeuge und Schnittbedingungen gesucht, die eine gemeinsame Bearbeitung von CFK, Titan und Aluminium in einem Prozessschritt erlauben. Außerdem wird beim A380 erstmals Glare in einer Rumpfstuktur eingesetzt. Dieser Werkstoff ist in sich schon ein Schichtverbund bestehend aus alternierenden Schichten von Aluminium (Dicke ca. 0,3 mm) und Glasfaserlagen (Dicke jeweils ca. 0,13 mm), die miteinander verklebt sind. Glare zeichnet sich im Vergleich zu Aluminium durch ein geringeres Wachstum von Ermüdungsrissen aus, die die Hauptschadensursache beim Flugzeug darstellen, und ermöglicht dadurch längere Wartungsintervalle.

Im Rahmen des Projektes werden für vielfältige Werkstoff- und Schichtdickenkombinationen angepasste Bohr-, Aufbohr- und Reibwerkzeuge entwickelt und getestet. Über 6.500 Bohrungen mit über 20.000 Einzeloperationen wurden maschinell und manuell gefertigt und auf ihre Qualität hin untersucht. Gemessen wurden unter anderem Bohrungsdurchmesser, Grathöhen am Austritt des Werkzeuges in verschiedenen Schichten sowie auftretende Delamination bei CFK und Glare. Ein solches Entwicklungsprogramm lässt sich nur im Team termingerech realisieren. Daher wirken ca. 25 Mitarbeiter aus den verschiedenen Bereichen der Airbus Deutschland GmbH, der TU Hamburg-Harburg und von Zulieferern aus der Werkzeugindustrie und aus dem Maschinen- und Vorrichtungsbau an diesem Projekt mit.

Die Untersuchungen umfassen neben der manuellen Bearbeitung die Werkzeug- und Prozessentwicklung für Bohrvorschubeinheiten, mit denen die geforderte Bohrungsqualität in möglichst wenigen Schritten erreichbar ist. Für die manuell durchzuführenden Versuche wurde ein Prüfstand entwickelt und aufgebaut, der die in der Rumpfmontage auftretenden Bearbeitungssituationen abbildet (Bild 1). Der manuelle Prüfstand erlaubt die prozessbegleitende Messung von Vorschubkraft, -weg und Bohrma-

schinendrehzahl und wurde darüber hinaus von Mitarbeitern des Airbus-Werkes Hamburg für die Qualifizierung der Prozesse und Werkzeuge genutzt.

Maschinelle Versuche, die im Hinblick auf die beabsichtigte Mechanisierung der Bohrbearbeitung erforderlich sind, werden auf einer CNC-Bohr- und Fräsmaschine durchgeführt. Auch hier kommen neueste Messmethoden zum Einsatz. So steht ein rotierendes Schnittkraftdynamometer zur werkzeugseitigen Messung von Vorschubkraft und Schnittmoment zur Verfügung, das bis zur einer maximalen Drehzahl von 25.000 Umdrehungen pro Minute eingesetzt werden kann (Bild 2). Diese Einrichtung ist in Norddeutschland



Abb.1  
Mitarbeiter der Airbus  
Deutschland GmbH  
bei Qualifizierungs-  
versuchen am manuellen  
Bohrprüfstand der  
Technischen Universität  
Hamburg-Harburg in  
unterschiedlichen  
Bearbeitungs-  
programmen.



*Abb.2  
Rotierendes Schnitt-  
kraftdynamometer  
zur werkzeugseitigen  
Messung von Schnitt-  
moment und  
Vorschubkraft bei der  
maschinellen Bearbei-  
tung eines Schichtver-  
bundes aus CFK/Titan/  
Aluminium*

einmalig. Piezoelektrisch werden Kräfte und Momente gemessen und telemetrisch an eine Auswerteeinheit weitergegeben. Der Verschleiß der Werkzeuge wird optisch gemessen und mit Hilfe neuer Bildverarbeitungsverfahren dokumentiert. In Zusammenarbeit mit den Arbeitsbereichen der Werkstoffwissenschaften der TUHH, die über das entsprechende Know-how und die Präparations-einrichtungen verfügen, können eventuelle Materialschädigungen nahe der Bohrungswand oder auch die Delamination von Fasern im CFK oder von Glare-Schichten geprüft werden. Die Zusammenarbeit zwischen Airbus und TUHH im

Bereich der Fertigungstechnologie hat eine lange Tradition und umfasst Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit allen norddeutschen Werken.

*Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze,  
Prof. Dr.-Ing. Rolf Clausen,  
Dipl.-Ing. Enno Stöver,  
Dipl.-Ing. Martin Plucinski*

**Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze**  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Fertigungstechnik I  
Denickestraße 17  
21073 Hamburg  
Tel 040 / 4 28 78 - 3051  
w.hintze@tu-harburg.de

**Prof. Dr.-Ing. Rolf Clausen**  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Laser- und  
Anlagensystemtechnik  
Denickestraße 17  
21073 Hamburg  
Tel 040 / 4 28 78 - 3454  
clausen@tu-harburg.de

# Concurrent Engineering beim Airbus A380

## Planung manueller Montagearbeitsplätze mit Virtual Reality

**Concurrent Engineering im Flugzeugbau.** Die Entwicklungszeit bis zur Markteinführung eines neuen Flugzeugs stellt in der Luftfahrtindustrie heute einen strategischen Erfolgsfaktor dar. Daher gilt für den Airbus A380, die einzelnen Entwicklungsphasen von der Konzeptfindung über die Produktentwicklung und -konstruktion, die Anlagen- und Prozessentwicklung für sämtliche Fertigungs- und Montageschritte bis zur technischen Dokumentation und Anwenderschulung soweit möglich zeitgleich durchzuführen.

Die erfolgreiche Realisierung des „Concurrent Engineering“ setzt voraus, dass trotz der zeitlichen Verflechtung der Entwicklungsphasen die entwicklungsimmanten Änderungen beherrscht und Budgets eingehalten werden.

Unter diesen Rahmenbedingungen wird bei der A380-Entwicklung und bei zukünftigen Flugzeugentwicklungen eine vollständige digitale Modellierung des Produktes und des Produktionsprozesses angestrebt, die eine frühzeitige und durchgängige Nutzung von Teilergebnissen aus vorgelagerten Entwicklungsphasen wie auch zeitnahe Änderungsschleifen erlaubt. Neben vorhandenen Simulationstechniken kommen dabei neuartige Planungs- und Visualisierungstechnologien zum Einsatz, um zeit- und kostenaufwendige Erprobungen an physischen Modellen weitgehend vermeiden zu können. Ein Lösungsansatz ist die Virtual Reality Technologie, die vom Arbeitsbereich Fertigungstechnik I unter anderem zur Planung manueller Montagearbeitsplätze bei der A380-Rumpfmontage eingesetzt wird.

stische und haptische Informationen. Als virtuelle Umgebung steht dem Arbeitsbereich Fertigungstechnik I eine L-förmige Großbild-Stereoprojektion mit einer Front- und Fußbodenfläche zur Verfügung, die dem Benutzer ein räumliches Bild der Situation vermittelt, Bild 1.

Bei der Echtzeitvisualisierung werden Interaktionen des Benutzers, d.h. die momentane Blickrichtung und ggf. die Position von Körperteilen oder von manipulierten Gegenständen berücksichtigt, die sich mit Hilfe eines "Tracking"-Systems erfassen lassen. Die VR-Software bietet die Möglichkeit, 3D-Daten der gängigen CAD-Systeme, z.B. Catia und Pro/Engineer zu importieren. Im Hinblick auf die Planung manueller Produktionsprozesse steht darüber hinaus ein anthropometrisches Menschmodell zur Verfügung, das mit den übrigen 3D-Daten kombiniert und im Maßstab 1:1 visualisiert werden kann.

gangenheit anhand von Holzmodellen. Heute werden häufig "Digital Mock-Ups" eingesetzt, die die dreidimensionale Geometrie aller Komponenten enthalten und am Bildschirm betrachtet werden können. Angesichts der Komplexität der zu planenden Montagesituationen ist die Bildschirmdarstellung für Fachleute jedoch nur von begrenztem Nutzen.

Zusammen mit einem Team von Airbus, dem Fachleute der Strukturmontage und der Datenverarbeitung aus dem Airbus-Werk in Hamburg-Finkenwerder sowie des Fertigungsmittelbaus aus dem Werk Varel angehören, wurden Arbeitsbühnen für eine räumlich sehr beengte Quernahtverbindung von zwei Rumpfsektionen im Heckbereich des Airbus A380 entworfen und mit VR visualisiert. Speziell bei der Quernahtverbindung der Sektionen 95 und 19 wird der Arbeitsraum der Mitarbeiter durch die gewölbte Druckkalotte, die die Passagierkabine abschließt, stark

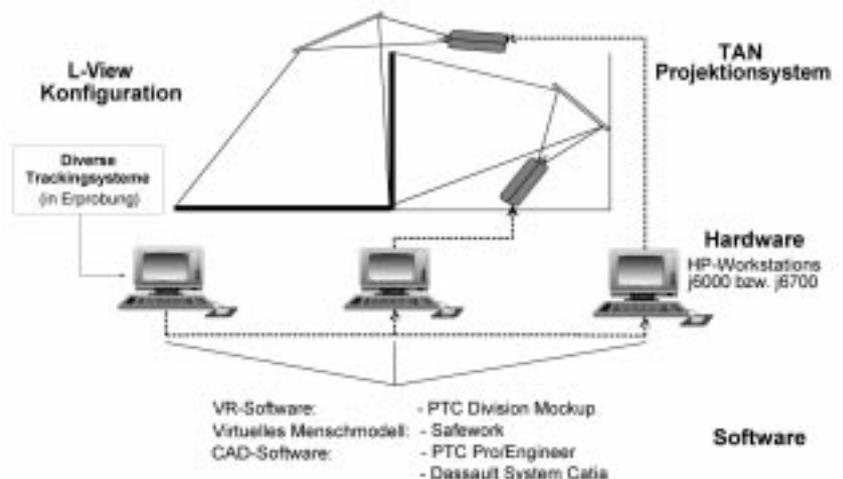


Abb.1  
Virtual Reality Ausstattung der Produktionstechnik an der TUHH

**Virtual Reality Technologie an der TUHH**  
Definitionsgemäß zeichnet sich die Virtual Reality Technologie (VR) dadurch aus, dass eine künstliche, dreidimensionale, rechnergenerierte Repräsentation einer realen Situation in einer virtuellen Umgebung in Echtzeit visualisiert und interaktiv manipuliert werden kann. Die Repräsentation umfasst neben visuellen ggf. aku-

### Montageplanung für die A380

Die Montage von Rumpfsektionen im Flugzeugbau beinhaltet umfangreiche manuelle Tätigkeiten wie Bohr- und Nietoperationen, die teilweise unter sehr beengten Platzverhältnissen durchgeführt werden müssen und daher spezifische Betriebsmittel, insbesondere Spannvorrichtungen, Arbeitsbühnen sowie Bohr- und Nietgeräte erfordern. Ihre Entwicklung und Erprobung erfolgte in der Ver-

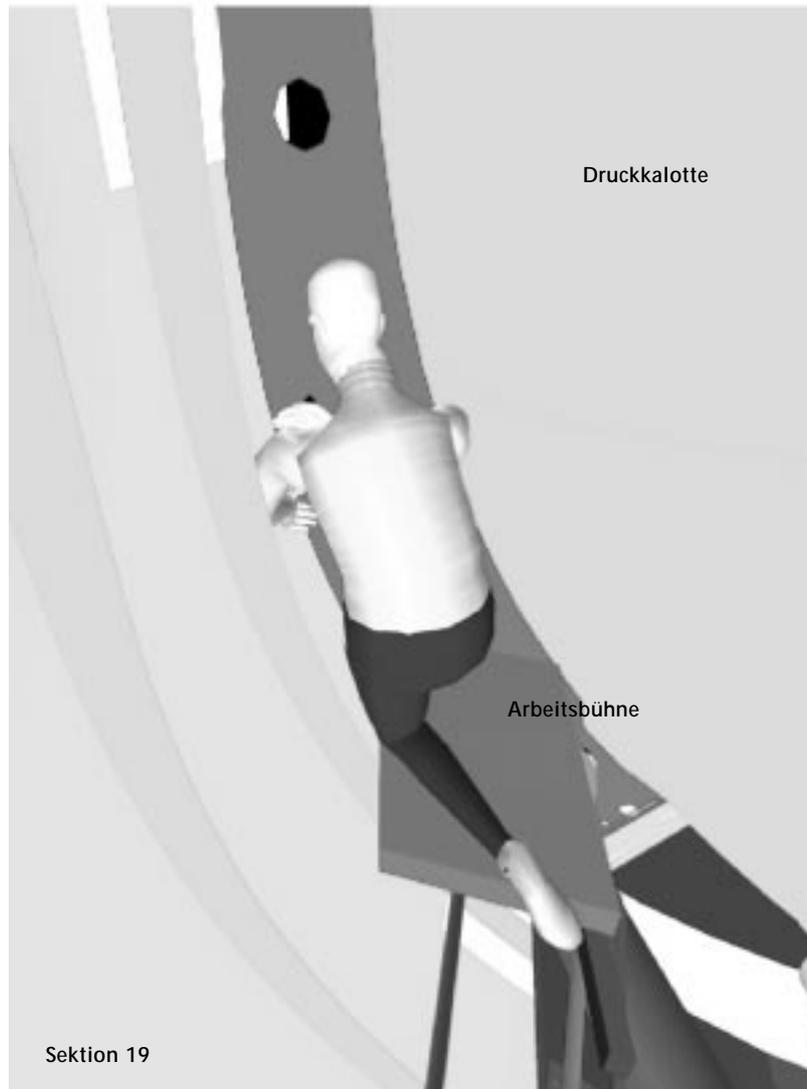
eingengt. Zu den Anforderungen, die beim Layout zu berücksichtigen sind, zählen unter anderem die Zugänglichkeit aller Nietverbindungen am Umfang des Rumpfes, die Arbeitssicherheit der Mitarbeiter bei ergonomisch günstigen Körperhaltungen, der Schutz der Flugzeugstruktur vor Beschädigungen und die nachträgliche Demontierbarkeit der Arbeitsbühnen. Als Ergebnis der bisherigen Arbeiten konnte gezeigt werden,

dass sich mit Hilfe der Virtual Reality Technologie schnell und kostengünstig alternative Arbeitsbühnenlayouts erstellen und bewerten lassen. Beispielsweise wurden mit Hilfe des anthropometrischen Menschmodells die Bühnenlayouts dahingehend untersucht, inwieweit Montagearbeiten unter beengten Platzverhältnissen von Mitarbeitern unterschiedlicher Körpermaße durchführbar sind, Abb. 2 Auch konnten von Fachleuten aus der Strukturmontage anhand der stereoskopischen Visualisierung virtueller Modelle im Maßstab 1:1 Schwachstellen der Arbeitsbühnenlayouts einfach erkannt und Lösungen im Team erarbeitet werden.

Nach den positiven Erfahrungen besteht bei den beteiligten Planungsabteilungen von Airbus ein großes Interesse daran, die Potenziale der Virtual Reality Technologie zukünftig auf breiterer Basis zu nutzen. Entsprechende Entwicklungsprojekte mit dem Arbeitsbereich Fertigungstechnik I sind in Vorbereitung.

*Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze,  
Ing. Salvador Santos Quiroz,  
Dipl.-Ing. oec. Nils Kerse*

**Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze**  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Fertigungstechnik I,  
Denickestr. 17  
21073 Hamburg  
Tel 040 / 4 28 78 - 3051  
w.hintze@tu-harburg.de



*Abb. 2  
Visualisierung einer  
Montageposition bei der  
Quernahtverbindung*

# Fortschrittliche Rumpfstrukturen aus Faserverbundwerkstoffen

## Der CFK Rumpf

Ein Flugzeugrumpf ist keine (Blech)-Tonne, sondern ein fliegendes Gesamtsystem. Es besteht aus Komponenten wie Struktur, Inneneinrichtung, Ausrüstung und Flug- bzw. Versorgungssystemen. Im klassischen Ansatz zielen FVW auf den Ersatz von Metallstrukturen (Abb.1).

Airbus bereitet sich sehr konsequent auf die Einführung von Faserverbundwerkstoffen (FVW) in die Rumpfstruktur großer Verkehrsflugzeuge vor. Triebkraft für diese Entwicklungen sind folgende Aspekte:

und Nutzung der Produkte, die dringend benötigt werden; mit Metallen aber nicht verwirklichtbar sind.

Da das Eigenschaftspotenzial von FVW bei reiner Substitution von metallischen Werkstoffen nur begrenzt ausgenutzt werden kann, und der Anteil der Aluminiumstruktur kaum 50 Prozent des Gesamtgewichts des Rumpfes ausmacht, sind die Verbesserungen am Gesamtsystem begrenzt. Werden Inneneinrichtung und Teile der Ausrüstung in die Betrachtung mit einbezogen, lassen sich überproportionale Verbesserungen erreichen. Darauf

(Schmelzimpregnierung) aufgebaut. Diese Strukturen sind wechselnden thermischen und mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt. Dabei kommt es zu einem komplexen Wechselspiel zwischen den aufgetragenen Lasten und der Werkstoffbeziehungweise Strukturantwort. Die Auslegungphilosophie bei Airbus beruht daher auf maximal zulässigen Dehnungen von 0,4 Prozent, um Kriech- und Ermüdungseffekte auszuschließen. Um die eingesetzten Werkstoffe noch besser auszunutzen und das Verhalten zuverlässiger vorherzusagen zu können, wurde im Rahmen des Projektes „CFK-Rumpf“ im AB Kunst-

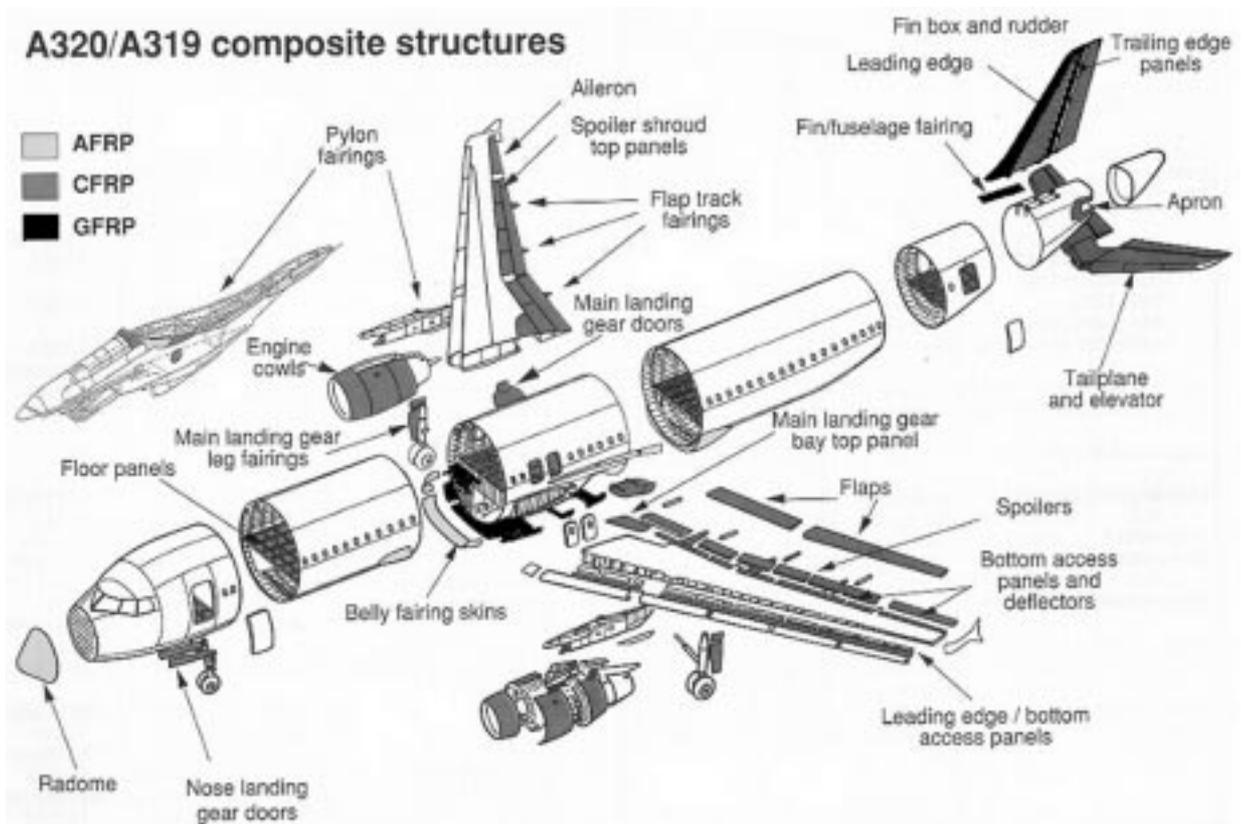


Abb. 1  
Heutiger Einsatz von FVW in A319/A320

- Bei Metallen ist nach 70 bis 80 Jahren Entwicklung das Eigenschaftspotenzial weitgehend ausgeschöpft. Es sind nur noch geringfügige Verbesserungen zu erwarten.
- Das Eigenschaftsspektrum von FVW ermöglicht endlich weitergehende Lösungen bei Konstruktion, Herstellung

ausgerichtet sind die Ziele des Projektes „CFK-Rumpf“: die Entwicklung neuer Bauweisen unter verstärktem Einsatz moderner Werkstoffe sowie die Verbesserung und Erweiterung existierender Berechnungsverfahren. Strukturelle Lasten tragende CFK-Lamine sind häufig aus Prepregmaterial

stoffe und Verbundwerkstoffe unter der Leitung von Professor Dr.-Ing. Karl Schulte das Arbeitspaket „Entwicklung eines Degradationsmodells“ zur Abschätzung der Restlebensdauer von „CFK-Strukturen“ erfolgreich bearbeitet. Dabei wurde das Degradationsverhalten von FVW unter alleinigen und kombinierten

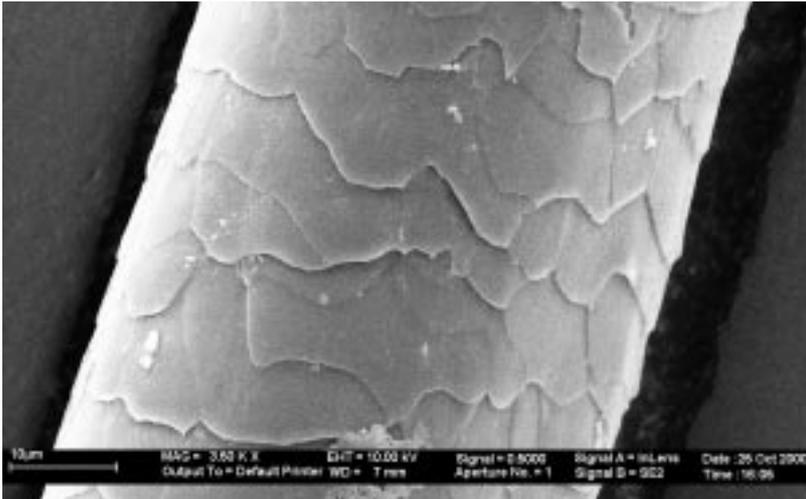


Abb.2.a)  
menschliches Haar  
(3.500 x)

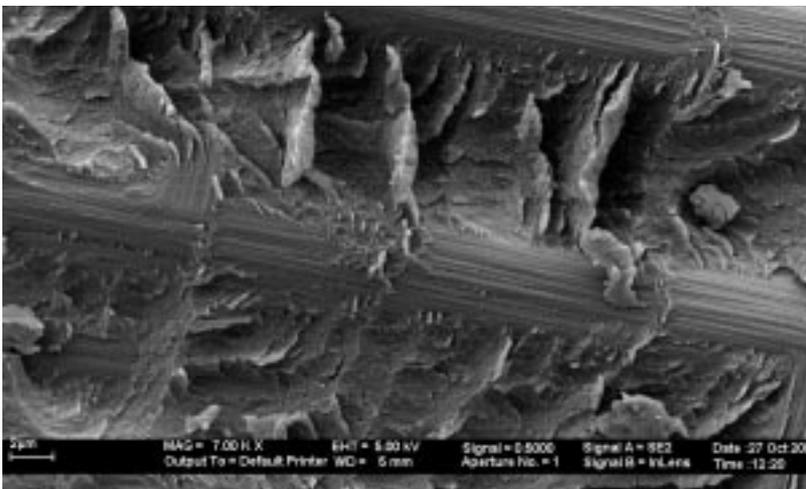


Abb.2.b)  
CFK-Ermüdungsbruchfläche  
(7.000 x)

Zeitstand- und Schwingbelastungen mechanisch und morphologisch intensiv untersucht. Abb. 2 zeigt einen typischen Ermüdungsbruch für eine kombinierte Zug-Druck-Wechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop (REM).

Neben Schwingbelastungen mit konstanter Amplitude im Zugschwell- und Zug-Druck Wechselbereich wurde die Wechselwirkung von Zug- und Druckbelastungen und die Bedeutung von Lastreihenfolgen besonders intensiv untersucht. Diese Versuche waren Voraussetzung dafür, das Betriebsfestigkeitsverhalten, entsprechend realen Belastungszyklen, zu berücksichtigen und in eine Lebensdauervorhersage einzuarbeiten.

Prof. Dr.-Ing. Karl Schulte  
Technische Universität Hamburg-Harburg  
Arbeitsbereich Kunststoffe und  
Verbundwerkstoffe  
Denickestraße 15  
D-21073 Hamburg  
Tel 040 / 4 28 78 - 3238  
Fax 040 / 4 28 78 - 2002  
[www.tu-harburg.de/kvweb/](http://www.tu-harburg.de/kvweb/)

Prof. Dr.-Ing. Karl Schulte

# Impressum

**Herausgeber**

Präsident der Technischen Universität Hamburg-Harburg

**Redaktion**

Rüdiger Bendlin, Johannes Harpenau,  
Katharina Jeorgakopulos, Ingrid Holst, Christian Soult  
pressestelle@tuhh.de

**Anzeigen**

Katharina Jeorgakopulos, Christian Soult

**Gestaltung**

Kerstin Schürmann, Sibyll Amthor, Daniela Klatt, formlabor

**Fotos**

Roman Jupitz, Airbus Deutschland GmbH

**Druck**

Schüthe Druck 2/03

Technische Universität Hamburg-Harburg, 21071 Hamburg  
[www.tu-harburg.de](http://www.tu-harburg.de)

