

Das Bürgernahe Flugzeug

Prof. Dr.-Ing. P. Hecker, Institut für Flugführung, TU Braunschweig
C. Butzmühlen, Campus Forschungsflughafen, TU Braunschweig

ZUSAMMENFASSUNG

Das kooperative Forschungsvorhaben „Bürgernahes Flugzeug“ verfolgt die Vision, nennenswerte Anteile des innereuropäischen Flugverkehrs in Zukunft von kleinen, stadtnah gelegenen City Airports aus durchzuführen. Dies erspart dem Fluggast die Anfahrt zu den Großflughäfen, welche heute oft länger dauert als der eigentliche Flug. Der Ansatz zielt auf die Verbesserung der Kompatibilität neuer Luftverkehrsmittel mit den Bedürfnissen der Menschen in den Metropolen durch Integration von kurzstart- und -landefähigen Verkehrsflugzeugen in urbane Zentren. Um die Anlage neuer City Airports in dicht besiedelten Gebieten zu ermöglichen, muss das Flugzeug mit viel kürzeren als den heute üblichen Start- und Landebahnen auskommen. Umweltverträglichkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit stehen dabei im Vordergrund.

Der Forschungsverbund „Bürgernahes Flugzeug“ ist ein koordiniertes Forschungsprogramm der Technischen Universität Braunschweig, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und der Leibniz Universität Hannover zur Entwicklung von Grundlagen und Schlüsseltechnologien zukünftiger Flugzeuge, damit die Mobilitätsanforderungen der Industriegesellschaft zukünftig besser erfüllt werden können. Hierbei sind alle luftfahrttechnischen Forschungsinstitute der TU Braunschweig, die luftfahrttechnischen Institute des DLR in Braunschweig und Göttingen, das DLR-Institut für Antriebstechnik in Berlin sowie weitere Institute der LU Hannover beteiligt.

Das Forschungsprogramm ist auf fünf Jahre ausgerichtet. In der hier vorliegenden Veröffentlichung werden die Ziele des Forschungsprogramms geschildert sowie erste Ergebnisse präsentiert.

MOTIVATION

Nach den aktuellen Prognosen von ACARE und SESAR ([1], [2] und [3]) wird sich das Wachstum der Luftfahrt weiter fortsetzen. Die Zunahme des Flugverkehrs bringt das Gesamtsystem vielfach an seine Leistungsgrenzen. Sowohl der Verbrauch von Rohstoffen und Vegetationsflächen als auch die Belastung der Umwelt mit Schadstoffen und Lärm rücken immer mehr in das öffentliche Interesse. Weiterhin reduziert die hohe Komplexität des Luftverkehrssystems die Robustheit gegenüber Störungen und Veränderungen. Der Ruf nach effizienteren Flugverbindungen einerseits und der Widerstand gegen Lärm, Schadstoffe und Nutzung natürlicher Ressourcen andererseits spiegeln einen der modernen Konflikte der Gesellschaft wider, zu deren Lösung neue Technologien geschaffen werden müssen.

Der Luftverkehr der Zukunft benötigt wissenschaftlich fundierte Innovationen, um die Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit des zukünftigen Transportsystems Luftfahrt zu erhöhen und dabei die Sicherheit wenigstens auf dem gewohnt hohen Niveau zu gewährleisten. Ein wesentlicher Beitrag besteht darin, den Menschen in den Metropolregionen einen effizienten Zugang zum Luftverkehr zu ermöglichen und gleichzeitig die Belastungen der Bürger durch Lärm und Abgase drastisch zu vermindern.

Die diesem Forschungsverbund zugrunde liegende Vision beschreibt eine an den Bedürfnissen der Bürger ausgerichtete Integration von kurzstart- und -landefähigen Verkehrsflugzeugen in die Metropolen. Die gesellschaftlichen Ziele bestehen in der Befriedigung der Mobilitätsanforderungen der Industriegesellschaft bei Minimierung des Flächenverbrauchs. Gleichzeitig werden die technologisch anspruchsvollen Ziele der substantiellen Lärmreduzierung und Reduzierung des Verbrauchs der Primär-Energieressourcen verfolgt. Ferner sollen durch wesentliche Fortschritte in der Automatisierung von Flugzeug und Luftverkehrsführung die Sicherheit erhöht und Kapazitätsengpässe des Luftverkehrs überwunden werden (Bild 1).



Bild 1: Ziele des Forschungsprogramms „Bürgernahes Flugzeug“

In den Bereichen von Flugphysik und Flugantrieben sollen die möglichen Synergien zwischen Tragflügel und Triebwerk beim Hochauftrieb erforscht und die dominierenden Lärmquellen mit neuen Entwurfsmethoden drastisch vermindert werden, um so die technologischen Voraussetzungen für kurzstartfähige, leise Verkehrsflugzeuge zu schaffen. Eine wesentliche Voraussetzung für sehr gute Flugleistungen sind optimal ausgenutzte, funktionsintegrierte und adaptive Leichtbaustrukturen. In der Systemtechnik sind wissenschaftlich fundierte Konzepte für zukünftige Flugszenarien erforderlich, um die steigenden Anforderungen für sicheres Fliegen bei weiter automatisierten Systemfunktionen zu erfüllen. In der Luftverkehrs- und Flugführung sollen die wissenschaftlichen Grundlagen der vollständigen Automatisierung und Integration der bordseitigen Flugführung wie auch der bodenseitigen Luftverkehrsführung geschaffen werden.

AUFTRIEB UND ANTRIEB

In der Flugphysik und bei den Flugtriebwerken ist die Betrachtung der aerodynamischen Wechselwirkungen zwischen Flugzeugzelle und Triebwerk bislang nicht zufriedenstellend gelöst. Ganz analog bestehen Defizite bei akustischen Entwurfs- und Analysemethoden, die Lärmquellen, Schallabstrahlung und die relevanten Wechselwirkungen mit den technischen Oberflächen der komplexen Flugzeuggeometrie berücksichtigen. Eine wesentliche Lärmquelle besteht in den Turbokomponenten des Kerntriebwerks, die ebenfalls betrachtet werden müssen.

Wechselwirkung zwischen Tragflügel und Flugantrieb beim Hochauftrieb

Im Rahmen des Forschungsprogramms „Bürgerliches Flugzeug“ wird die Auslegung, Konstruktion und Durchführung eines breit angelegten

Validierungsexperiments im Windkanal DNW-NWB in Braunschweig durchgeführt. Es sind Untersuchungen der aerodynamischen und akustischen Eigenschaften einer klassischen Anordnung des Propellers vor dem Tragflügel mit aktiver Hochauftriebsklappe (mit statischem Ausblasen) vorgesehen, um so fundierte Validierungsdaten für die Kombination des Propeller-Luftstrahls und der aktiven Hochauftriebsklappe zu erstellen (siehe [4].)

Dieses Windkanalexperiment besteht aus einem Halbflügel mit Druckluftversorgung für aktive Coanda-Hochauftriebsklappen und einem kompakten, elektrischen Antrieb mit Hochleistungspropeller und maximal 200kW Antriebsleistung. Die geplante Anordnung von Tragflügel, Propeller und Triebwerksgondel wird in der Abbildung 2 gezeigt.

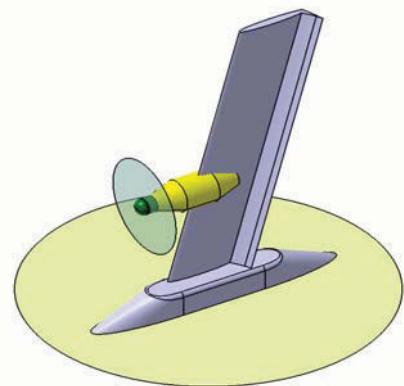


Bild 2: Anordnung von Tragflügel, Propeller und Triebwerksgondel für den Windkanalversuch

Die Abbildung 3 zeigt den aktuellen Planungsstand für die Dimensionierung des Antriebsmoduls. Die Verwendung von kompakten, elektrischen Hochleistungsantrieben dieser Leistungsklasse in Windkanalmodellen stellt eine Herausforderung an die Experimentaltechnik dar.

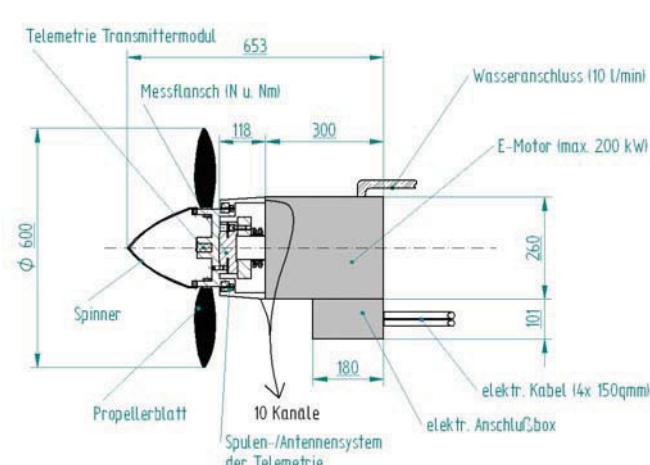


Bild 3: Entwurf des elektrischen Antriebs mit Motor, Propeller sowie Telemetrie

Zeitgleich erfolgten Simulationen zur Absicherung der aerodynamischen und strukturellen Eigenschaften des Entwurfs und die Konstruktion des Windkanalmodells (Bild 4), sowie die Auslegung des Propellers (siehe [5]) und Vordimensionierungen für eine aeroelastische Flatternanalyse.

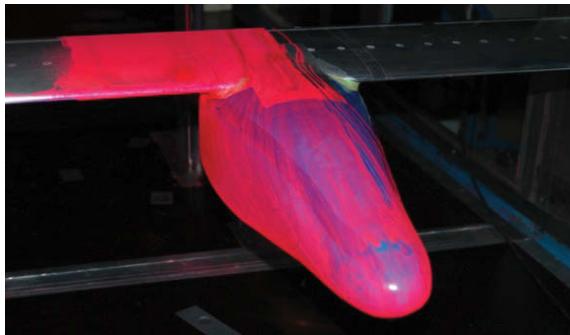


Bild 4: aerodynamische Voruntersuchungen zu den Eigenschaften des Windkanalmodells

Akustische Entwurfs- und Analysemethoden für lärm-arme Antriebe

Eine wesentliche Verringerung des Lärms ist nur durch eine Kombination von niedrigen Strahlgeschwindigkeiten und somit großen Rotoren (Propellern) sowie (Teil-)Ummantelung und Lärm-Abschirmung durch Teile der Flugzeugstruktur erreichbar. Die Auslegung und Integration effizienter, lärmärmer Antriebe in innovative Transportflugzeugkonfigurationen erfordern neue Entwurfsmethoden, die die Simulation der Lärm-entstehungsmechanismen physikalisch fundiert mit der aerodynamischen Analyse kombiniert.

Zukünftige Entwurfsprozesse für den teilweise oder ganz ummantelten, installierten Propeller beinhalten zunächst den aerodynamischen Vorentwurf des isolierten Propellers, die aerodynamische Simulation des installierten Propellers mittels hochwertiger CFD Methoden als Basis zur Bewertung der aerodynamischen Leistung und im dritten Schritt die Simulation der Schallabstrahlung des installierten Propellers inklusive der akustischen Wechselwirkung mit der Flugzeuggeometrie mittels akustischen Verfahren.

Um diese Ziele zu erreichen, wird der CAA-Code PIANO für Anwendungen mit rotierenden Koordinaten erweitert und neue Kopplungstechniken zwischen den CFD-Daten der TAU- oder TRACE-Codes und dem CAA-Code PIANO entwickelt. Ferner wird der PIANO-Code so erweitert, dass zukünftig auch der Einfluss von akustischen Auskleidungen zur Minderung des tonalen Lärms in der Schallanalyse berücksichtigt werden kann.

Die Simulationsdaten ermöglichen aerodynamisch-akustische Bewertungen und somit Variationen der Gestaltparameter von Propeller und

seiner Integration, bis eine günstige Variante gefunden ist. Neu bei der hierfür eingesetzten Methodik ist die aerodynamisch-akustische Kopplung zwischen dem aerodynamischen Nah-Feld und dem akustischen Feld. Diese kann auf verschiedenste Weise aufgesetzt werden: Die Kopplung kann sowohl an einer nicht-rotierenden Bilanzfläche um den Propeller erfolgen, oder aber an einer mit-rotierenden Fläche erfolgen (Bild 5).

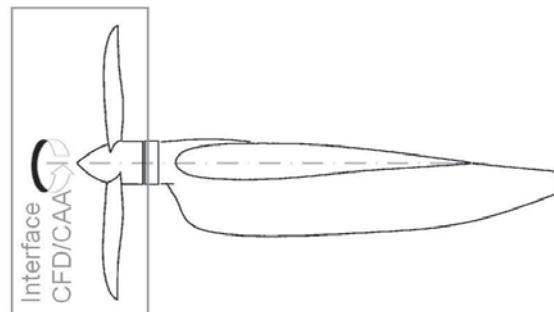


Bild 5: Kopplung zwischen nicht-rotierendem Tragflügel und mit-rotierendem Propeller

Eigenschaften des abgasseitigen Heißgas-pfads

Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen im Forschungsprogramm „Bürgernahes Flugzeug“ behandelt die akustischen und mechanischen Eigenschaften des abgasseitigen Heißgas-pfads, wobei metallische Strukturschäume als Liner-Material entwickelt und charakterisiert werden sollen.

Zum einen wird die Propagation des Brennkammerlärms durch die Turbine mit numerischen Verfahren und mit dedizierten Experimenten untersucht, um so die Potenziale der Lärminderung am Kerntriebwerk durch die neuen Liner bewerten zu können (Bild 6). Die Vorhersagefähigkeit für die Schallausbreitung in der Turbine soll mit hochwertigen Experimenten validiert werden.

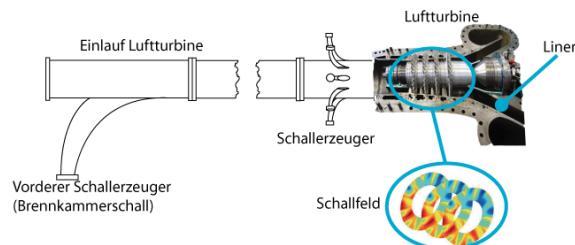


Bild 6: Konzept für eine Versuchsanordnung

Die Abbildung 7 zeigt erste Ergebnisse der Analyse einer Schallausbreitung innerhalb eines Horns.

Durch die Entwicklung neuer Antriebskonzepte mit lärmarmen, ganz oder teilweise ummantelten Propellern werden die Turbokomponenten des Kerntriebwerks zur dominierenden Lärmquelle.

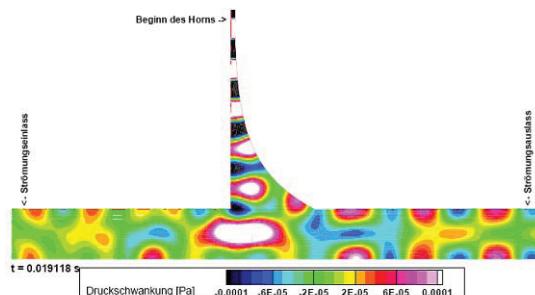


Bild 7: Erste analytische Untersuchungen für eine Schallausbreitung im Horn

Als ein Lösungsansatz hierfür sollen metallische Strukturschäume zur Schallabsorption im Heißgaspfad entwickelt werden. Die eingesetzten Materialien müssen sowohl eine hohe Schallabsorption als auch eine gute Temperaturbeständigkeit aufweisen, um für den Einsatz geeignet zu sein. Die Abbildungen 8 und 9 zeigen eine Auswahl von untersuchten Materialien zur Schallabsorption.

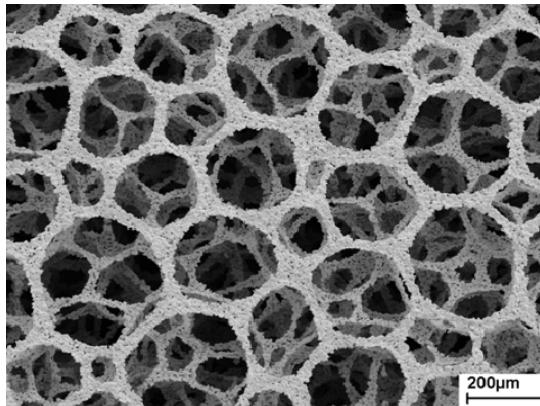


Bild 8: Metallschaum (Haynes 230) zur Schallabsorption

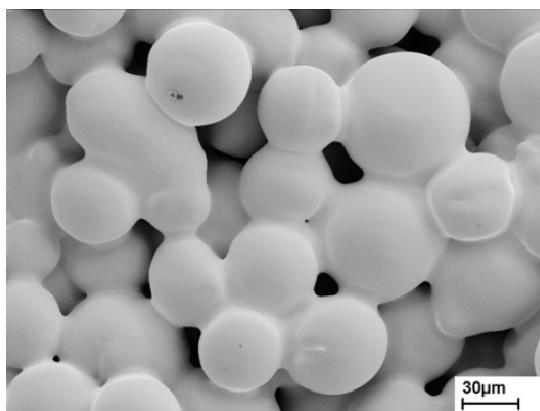


Bild 9: Sinterbronze 8 zur Schallabsorption

Zum anderen wird für das Fliegen entlang von neuen, lärmarmen Trajektorien im Flughafennahmbereich die volle Ausnutzung der Stabilitätsgrenzen des Kerntriebwerks als wichtige Voraussetzung angesehen. Zudem erfordern die avisierteren, extremen Bypass-Verhältnisse Kerntriebwerke, deren Leistungsfähigkeiten über das heutige Mögliche hinausgehen. Dies setzt höhere

Prozesstemperaturen in Brennkammer und Turbine voraus. Hierfür sollen die technologischen Voraussetzungen durch neue Wärmedämmsschichtsysteme geschaffen werden.

Die Maximaltemperatur in der Brennkammer der Turbine wird durch die heute eingesetzten Nickel-Basis-Werkstoffe limitiert. Eine Erhöhung der Gastemperatur ist wünschenswert, da sich dadurch der Wirkungsgrad der Turbine weiter steigern lässt. Dies kann durch verbesserte Substratwerkstoffe oder hochschmelzende keramische Schutzschichten auf den thermisch hochbeanspruchten Turbinenbauteilen erreicht werden. Wärmedämmsschichten werden bereits heutzutage in Turbinen eingesetzt. Höhere Gastemperaturen jedoch machen die Verwendung neuer Schichtmaterialien unumgänglich, um Phasenumwandlungen bei hohen Temperaturen zu verhindern.

Aufgrund der angestrebten höheren Temperaturen in der Brennkammer des Kerntriebwerks, werden auch an die Wärmedämmsschichten erhöhte Anforderungen in Bezug auf ihre Hochtemperaturstabilität und Oxidationsresistenz gestellt.

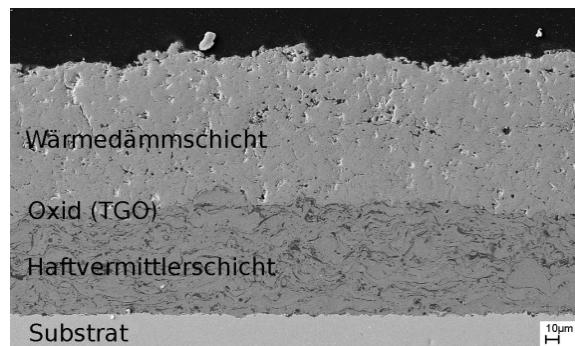


Bild 10: Vollständiges Wärmedämmsschichtsystem nach dem Beschichtungsvorgang

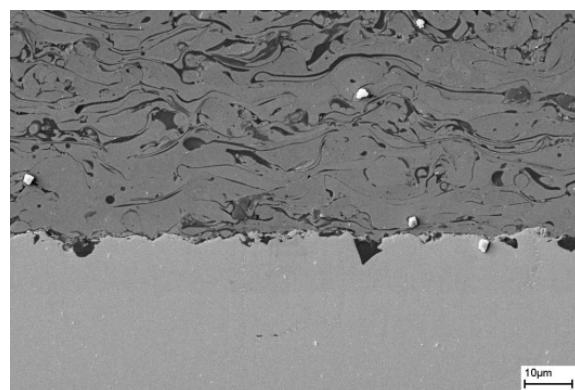


Bild 11: Anbindung der Haftvermittlerschicht an das Cobalt-Rhenium-Substrat

Für zukünftige Anwendungen ist somit der Einsatz von Cobalt-Rhenium-Legierungen (CoRe) als Substratwerkstoffe wünschenswert, da diese Legierungen einen um 200 °C höheren Schmelzpunkt als Ni-Basis-Werkstoffe aufweisen. Rhenium bietet den Vorteil der vollständigen Lös-

lichkeit in Cobalt ohne die Bildung intermetallischer Phasen (Bild 10 und Bild 11)

FLUGZEUGSTRUKTUR

Eine wesentliche Voraussetzung für sehr gute Flugleistungen sind optimierte, funktionsintegrierte Leichtbaustrukturen. Sowohl für Teile des Flügels, als auch für den Rumpf sind besonders leichte Strukturen dadurch zu erlangen, dass Sandwichkonstruktionen benutzt werden, wobei die Funktionsintegration noch weiter gesteigert werden soll.

Dafür sollen hybride Bauformen einbezogen werden, bei denen ein Faserverbundsandwich mit einer metallischen Deckschicht oder aber mit einer zusätzlichen, metallischen Haut versehen wird. Weiterhin sind hybride Bauformen in Lasteinleitungs- und Lastumleitungsbereichen und Schalenfügestellen sehr attraktiv.

Bei Fügungen dieser Strukturen sind tragende lösbare Verbindungen, z.B. durch thermoplastische Klebungen („debonding on demand“) das technologische Ziel. Es werden Klebverfahren und Oberflächenbehandlungen erarbeitet, die eine Krafteinleitung in den Verbund sicherstellen und somit eine nahezu vollständige Werkstoffausnützung garantieren. Weiterhin soll durch neue Klebstoffe, Kleb- und Entklebe-Verfahren für eine leicht demontierbare und lösbare Verbindung gesorgt werden, so dass Wartungsarbeiten effizienter und wirtschaftlicher werden. Ferner sollen Krafteinleitungsbereiche insbesondere von Bolzen und Nietverbindungen für Sandwichstrukturen analysiert werden.

Ziel der Arbeiten ist es weiterhin das Schädigungsverhalten der verschiedenen Strukturkonzepte inklusive der lösbarer Verbindung zu modellieren und diese Modellierung dann in der Simulation des jeweiligen Bauteilverhaltens einzusetzen und über Experimente zu validieren. Die geplanten Aktivitäten beinhalten eine weiterführende Untersuchung der lokalen Hybridisierung als Verstärkungsmaßnahme sowohl für Strukturkopplungen, als auch für lokale kritische Hautbereichen, die durch hohe Spannungskonzentrationen und Impactgefährdungen gekennzeichnet sind.

Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung von Berechnungsmethoden für Krafteinleitungsbereiche insbesondere von Bolzen und Nietverbindungen in Sandwichstrukturen. Unter Verwendung und Weiterentwicklung hochwertiger Materialmodelle wird das nichtlineare Struktur- und Schädigungsverhalten untersucht. Für die Ermittlung der realistischen Traglast wird der Einfluss stochastisch verteilter Fertigungsungenauigkeiten berücksichtigt. Die zu entwickelnden Material- und Schädigungsmodelle sind auch für die Schädigungssimulation der Sandwichstrukturen und der Hybridlaminate einsetzbar und erlauben damit den Vergleich unterschiedlicher Modellierungskonzepte.

Erste Arbeiten beinhalteten die Definition eines Demonstrator-Bauteils (Bild 11) sowie die Auswahl und Vordimensionierung der verwendeten Werkstoffe und Verbindungsverfahren (Bild 12). Es wurde ein grundlegendes innovatives Konzept für eine mehrschalige Rumpfschale mit einer Innenhaut aus CFK, einem Schaumkern und einer metallischen Außenhaut entwickelt, das derzeit rechnerisch ausgelegt wird.



Bild 11: Vordimensionierung des generischen Bauteilkonzepts

Im Bereich der Füge- und Prozesstechnologie finden Untersuchungen zur Umsetzbarkeit der verschiedenen Möglichkeiten zum Lösen struktureller Klebverbindungen statt. Weiterhin wurden Fügekonzepte für die Herstellung der Sandwichplatte (inkl. Möglichkeiten zur Realisierung lösbarer Verbindungen erstellt und in Vorversuchen erprobt (Bild 13).

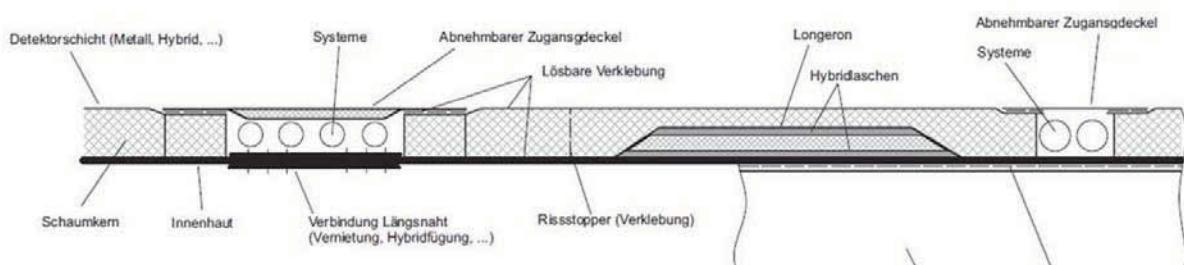


Bild 12: Generisches Bauteilkonzept auf Sandwichbasis mit hoher Funktionsintegration (Innenhaut CFK, Schaumkern, metallische Außenhaut)



Bild 13: Sandwich-Coupon Proben - Impact Prüfung

Für die Entwicklung der Berechnungsmethoden von hybriden Klebe-Bolzen-Verbindungen wurden Materialmodelle für Schädigung und progressives Versagen von Verbunden implementiert und das Kohäsivzonenmodell für das Versagen von Klebschichten erstellt (Bild 14).

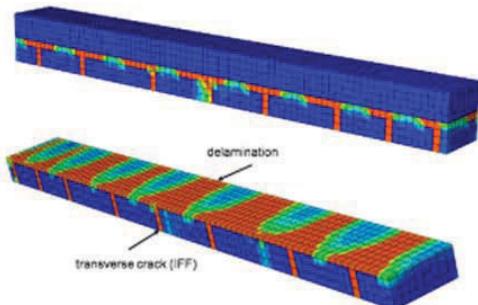


Bild 14: Simulation einer hybriden Klebe-/Bolzen-Verbindung

FLUGSYSTEMTECHNOLOGIEN

In den Forschungsarbeiten der Flugzeugsystemtechnik stehen die Entwicklung, Robustheitsanalyse und Akzeptanzbewertung weiter automatisierter Flugsteuerungsfunktionen für Verkehrsflugzeuge und deren Vorteile beim Allwetterbetrieb in stark belasteten, stadtnahen Lufträumen im Vordergrund. Dazu werden neue Ansätze der Pilotenunterstützung durch Versuche in einem Flugsimulator bewertet und deren Einfluss auf die Flugsicherheit erforscht. Im Rahmen des Forschungsprogramms soll ein automatisches Entscheidungssystem für das Durchstarten und den Startabbruch untersucht werden.

In weiter automatisierten Flugsystemen mit zahlreichen Assistenzfunktionen wird sich die Rolle des Menschen als Flugzeugführer ändern. Ihre Bewertung, auch im Hinblick auf die Sicherheit zukünftiger Szenarien des Fliegens unter zunehmender bord- und bodenseitiger Automatisierung erfordert die Betrachtung des Flugsystems und seiner dynamischen Interaktion mit dem Menschen als Ganzes. Im Rahmen intensiver Studien im Flugsimulator sollen die neuen automatischen Flugsteuerungsfunktionen

hinsichtlich ihrer Akzeptanz bei der Cockpitbesatzung bewertet werden.

Hierzu wird aktuell ein Airbus A320 zu Voruntersuchungen eingesetzt sowie die entsprechenden Avioniksysteme implementiert (Bild 15). Zu einem späteren Zeitpunkt soll auch der im Aufbau befindliche Bewegungssimulator zum Einsatz kommen (Bild 16).



Bild 15: A320 Cockpit Simulator



Bild 16: Simulationszentrum (zurzeit im Aufbau)

Durch die zunehmende Automatisierung im Luftverkehr sind die Funktionen von klassischen Flugreglern unverzichtbar für den Flugbetrieb geworden. Heutige Regelungssysteme können für verschiedene Flugzustände ausgelegt werden und sind damit prinzipiell in der Lage, einen kompletten Flug automatisch durchzuführen. An ihre Leistungsgrenzen gelangen klassische Regelungsansätze bei Beeinträchtigung oder Ausfall von Steuerorganen, da dann eine schnelle Re-Konfiguration erforderlich ist. Diese Forderung nach schneller Adaption soll durch einen hybriden Ansatz aus klassischer Regelung und künstlicher Intelligenz erfüllt werden. Ein systematischer Entwurf von hybriden, adaptiven Flugregelungsstrategien soll die Vorteile von modellbasierten Reglern mit der Lernfähigkeit von künstlichen neuronalen Netzen vereinen. Neben der Verbesserung des Regelungsverhaltens im Nominalbetrieb soll die Anpassungsfähigkeit dieses Regelkreises den Piloten bei

hochgradig nichtlinearen Flugsituationen unterstützen.

Dieser Ansatz hat zum Ziel, hybride Ansätze aus klassischer und neuronaler Flugregelung zu definieren und hinsichtlich ihrer Regelgenauigkeit und Stabilität vor allem bei Systemausfällen in umfangreichen Simulatortests zu verifizieren. Dies beinhaltet sowohl das Erlernen eines qualifizierten Basiswissens, das Reaktionsverhalten unter Extrembedingungen, sowie die Erarbeitung eines dafür geeigneten Sensorkonzepts. Ausgehend von einem klassischen Regelkreis sollen verschiedene hybride Ausbaustufen mit neuronaler Regelung bei Systemausfällen untersucht werden. Vor der Validierung der Regler durch Tests im Simulator stehen Untersuchungen zur Ein- und Ausgabestabilität.

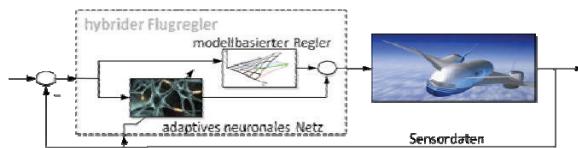


Bild 18: hybride Reglerarchitektur: Kombination von modellbasierten Reglern und Neuronalen Netzen

Aktuell wurde die Netzstruktur für das neuronale Netz definiert und Trainingsverfahren erfolgreich implementiert (Bild 18). Die ausgewählte Netzstruktur zeigte eine schnelle Konvergenz und die Stabilität der Regelung konnte erfolgreich nachgewiesen werden (siehe auch [6]).

Für weitergehende Untersuchungen soll weiterhin ein Pilotenmodell basierend auf neuronalen Netzen gewonnen werden, mit dem die Arbeitsaufteilung zwischen automatischem Regler und dem Menschen im Cockpit bewertet werden kann. Mit diesem „virtuellen Piloten“ sollen die kognitive Belastung, das Situationsbewusstsein sowie der Entscheidungsfindungsprozess am Beispiel des Landeanflugs modelliert werden. Da die Modellierung menschlichen Verhaltens auf analytischem Wege äußerst schwierig ist, sollen hier die Eigenschaften von neuronalen Netzwerken zur Erkennung von Mustern und nichtlinearen Zusammenhängen eingesetzt werden.

LUFTVERKEHRS- UND FLUGFÜHRUNG

In der **Luftverkehrsführung** werden alle Funktionen betrachtet, die der Pilot im Cockpit benötigt, um sein Flugzeug sicher und umweltschonend vom Start- zum Zielflughafen zu fliegen. Gleichzeitig wird das Wechselspiel zwischen Flugzeug, Flugsicherung und Infrastruktur wie Navigationshilfen am Boden oder im Weltall (Satelliten) untersucht. Ziel im Forschungsprogramm "Bürgernahes Flugzeug" ist die Entwicklung neuer Technologien und Verfahren, die mit Hilfe von Satellitennavigation im Nahbereich von Flughäfen neue leisere und

triebstoffsparende An- und Abflugverfahren erlauben.

Während die entsprechenden Funktionalitäten für Curved Approaches bereits für bestehende GBAS CAT I Bodenanlagen definiert sind, besteht noch großer Forschungsbedarf im Bereich der bordseitigen Einbindung dieser Informationen sowie der operationellen Umsetzung und Nutzung solcher quasi nichtlinearer Anflugverfahren. Ähnlich stellt sich die Situation im Bereich der Rollverkehrsführung und der Abflugverfahren dar. Weiterhin sind im die notwendigen Architekturen und Algorithmen zur Nutzung von Satellitennavigation in sicherheitskritischen Anwendungen insbesondere in den Kategorien CAT II und III nicht erforscht.

Gleichzeitig ist mit dem Ansatz der weiteren Automatisierung des Luftverkehrssystems eine radikale Änderung der Rollenverteilung zwischen Mensch und Maschine einerseits und auch der Rollenverteilung zwischen bord- und bodenseitigen Funktionen andererseits verbunden.

Ziel der Arbeiten ist die Erstellung von bord- und bodenseitigen technologischen Grundbausteinen für die Umsetzung von hochpräzisen GNSS-gestützten An- und Abflugverfahren durch die Kopplung von Ground Based Augmentation Systems (GBAS) mit komplementären Sensoren, ferner die Erstellung von operationellen Konzepten zur Nutzung von GBAS beim Anflug, Rollen und Abflug in Verbindung mit gekrümmten Anflügen. Gleichzeitig werden neue Display- und Bedienkonzepte für das Cockpit untersucht und im Simulator erprobt, die das Fliegen noch sicherer machen werden.

Der Nachweis des operationellen Nutzens der vorgeschlagenen Verfahren wird in Studien, Simulationen und auch Flugversuchen bestätigt werden.

Aktuell werden notwendige Vorarbeiten zur Nutzung von zwei GNSS Konstellationen (GPS und Galileo) durchgeführt (Bild 19).

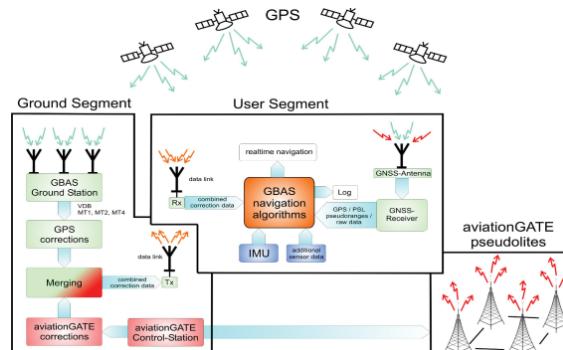


Bild 19: Dual-Constellation Konzept für GBAS

Hierbei soll eine am Forschungsflughafen Braunschweig installierte experimentelle GBAS

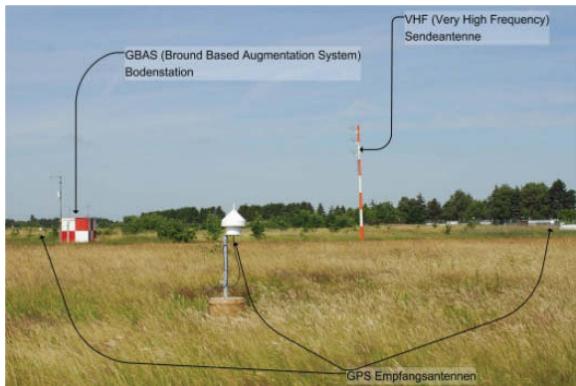


Bild 20: GBAS CAT I Bodenstation, Forschungsflughafen Braunschweig



Bild 21: aviationGate – Testfeld für Galileo-anwendungen in der Luftfahrt

CAT-I Station (Bild 20, [8]) sowie das im Aufbau befindliche Testfeld für Galileo-Anwendungen aviationGate (Bild 21, [9]) zum Einsatz kommen.

ZUSAMMENFASSUNG

Das kooperative Forschungsvorhaben „Bürgernahes Flugzeug“ verfolgt die Vision, nennenswerte Anteile des innereuropäischen Flugverkehrs in Zukunft von kleinen, stadtnah gelegenen City Airports aus durchzuführen. Der verfolgte Ansatz zielt auf die Verbesserung der Kompatibilität neuer Luftverkehrsmittel mit den Bedürfnissen der Menschen in den Metropolen durch Integration von kurzstart- und –landefähigen Verkehrsflugzeugen in urbane Zentren. Umweltverträglichkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit stehen dabei im Vordergrund.

In dem auf fünf Jahre angelegten Forschungsverbund sind alle luftfahrttechnischen Forschungsinstitute der TU Braunschweig, die luftfahrttechnischen Institute des DLR in Braunschweig und Göttingen, das DLR-Institut für Antriebstechnik sowie weitere Institute der LU Hannover beteiligt:

- Technische Universität Braunschweig:
 - Institut für Flugführung
 - Institut für Flugzeugbau und Leichtbau
 - Institut für Füge- und Schweißtechnik
 - Institut für Werkstoffe
 - Institut für Luft- und Raumfahrtssysteme
 - Institut für Kognitions- und Ingenieurpsychologie
 - Institut für Strömungsmechanik

- Leibniz Universität Hannover
- Institut für Erdmessung
- Institut für Statik und Dynamik
- Institut für Turbomaschinen und Fluidynamik
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
 - Institut für Aeroelastik, Göttingen
 - Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Braunschweig
 - Institut für Antriebstechnik, Berlin
 - Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik, Braunschweig
 - Institut für Flugführung, Braunschweig
 - Institut für Flugsystemtechnik, Braunschweig

DANKSAGUNGEN

Die hier beschriebenen Arbeiten sind im Rahmen des vom Land Niedersachsen seit dem Jahr 2009 geförderten Forschungsprogramms „Bürgernahes Flugzeug“ (Förderkennzeichen VWZN2499 sowie VWZN2551) entstanden.

ABKÜRZUNGEN

ACARE	Advisory Council for Aeronautical Research in Europe
ATM	Air Traffic Management
CAA	Computational Aero-Acoustics
CAT	Anflug-Kategorie
CFD	Computational Fluid Dynamics
CFK	kohlefaser verstärkter Kunststoff
CoRe	Cobalt-Rhenium
DNW-NWB	Deutsch-Niederländische Windkanäle, Niedergeschwindigkeitswindkanal
GBAS	Ground Based Augmentation Systems
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
SESAR	Single European Sky ATM Research

LITERATUR

- [1] -: European Aeronautics: a Vision for 2020, ACARE, Januar 2001
- [2] -: Aeronautics and Air Transport beyond Vision 2020 (towards 2050), ACARE, Juni 2010
- [3] Single European Sky ATM Research: <http://www.sesarju.eu/>
- [4] N. Beck, R. Radespiel: Entwurf eines Windkanalexperiments für aktiven Hochauftrieb, DGLR Jahreskongress 2010
- [5] C. Lenfers: Propellerentwurf für ein kurzstartfähiges Kurzstreckenverkehrsflugzeug, DGLR Jahreskongress 2010

- [6] B. Heinbokel, T. Krüger, P. Vörsmann:
Design Aspects of Intelligent Flight
Control Systems, DGLR
Jahreskongress 2010
- [7] Campus Forschungsflughafen
www.campus.forschungsflughafen.de
- [8] R. Geister, T. Ludwig, I. Jessen:
Installation and Validation of a GBAS
Ground Station at the Research
Airport Braunschweig-Wolfsburg,
CEAS 2009
- [9] M. Bitter, T. Feuerle, M. Steen, B. von
Wulfen, P. Hecker: Testbed for Dual-
Constellation GBAS Concepts,
IEEE/ION PLANS 2010