

Ein Flugsimulator für die Forschung

In den 80er-Jahren entstand die Idee, einen Vollflugsimulator sowohl für Forschungszwecke als auch für das Pilotentraining von Lufthansa und weiterer Fluggesellschaften am Standort Westberlin zu nutzen.

1993 wurde ein A330/340 Full Flight Simulator (FFS) von der kanadischen Firma CAE Electronics Ltd. an der Technischen Universität Berlin (TUB) im Bereich Flugführung und Luftverkehr des Instituts für Luft- und Raumfahrt installiert.

Dieses (bisher) weltweit einmalige Forschungsgerät ist der Initiative des damaligen Präsidenten und ehemaligen Fachgebietsleiters Prof. Dr.-Ing. Manfred Fricke und der Unterstützung des Berliner Senats sowie der Bundesregierung zu verdanken. Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hüttig ist Fachgebietsleiter und zugleich stellvertretender Geschäftsführer des Zentrums für Flugsimulation GmbH, der damals gegründeten Gesellschaft zum Betrieb des Flugsimulators. Anteilseigner sind die Lufthansa Flight Training GmbH in Schönefeld (50 Prozent) und zu jeweils einem Drittel (16,66 Prozent) die Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Airbus Deutschland GmbH (Hamburg) und CAE, der Hersteller des Simulators. Die TUB stellt die Räume zur Verfügung und erhält ein Kontingent an Stunden für Forschung und insbesondere die Lehre und Ausbildung von Studenten. Viele Studenten haben so doch noch den Weg zur Verkehrsfliegerschule nach Bremen eingeschlagen.

Forschungserweiterung (SRF)

Neben dem Pilotentraining am Langstrecken Referenzmuster der Lufthansa A340-311 (D-AIGA – „Oldenburg“) und Touristik Referenzmuster der LTU A330-322 (D-AERQ) kann parallel an der Scientific Research Facility (SRF) auf einem speziellen Computer das Modell durch die Forscher modifiziert und erweitert werden, ohne die Zertifizierung durch das LBA (nach STD 1A – Level DG) zu



Integrierte Forschungsdisplays im A330 FFS beim Anflug auf München

gefährden. Dies wird neben dem Fachgebiet Flugführung auch intensiv vom Fachgebiet Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastizität von Prof. Dr.-Ing. Robert Luckner im Hause genutzt. So wurden etwa mit Airbus Experimente mit einem elastischen Flugmodell des A340 durchgeführt. Über einen Schalter kann von Training auf Forschung umgeschaltet und eine Kopie des jeweiligen Flugmodells geladen werden.

Um auch im sogenannten „Stand-Alone“ Mode, ohne Cockpit und Hardwarekomponenten wie Flight Management Guidance and Envelope System (FMGES) und Electronic Flight Control System (EFCS) zu nutzen, werden diese Komponenten durch Software nachgebildet und existieren somit doppelt. Diese Systeme sind auch das Herz der Flugführung („Fly-by-Wire“-System sowie Autopilot/Autotrust zum automatischen Abfliegen der Trajektorie des Flight Management Systems).

Anzeigen im Cockpit können ebenfalls ausgetauscht werden und ermöglichen die Generierung von eigenen Symbolen. In den vielen Forschungsjahren wurde insbesondere dem Cockpit Display of Traffic Information (CDTI) besondere Aufmerksamkeit geschenkt und mittels Kopplung Bord-Boden Trajektorien und umgebenden Luftverkehrs ins Cockpit gebracht. Hierzu erfolgte eine intensive Zusammenarbeit mit dem Eurocontrol Experimental Center (EEC) in Bretigny bei Paris. Auch nationale Forschung im

Rahmen der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) zur Untersuchung der Mensch Maschine Schnittstelle im zukünftigen „Data-Link“, wurde und wird durchgeführt.

Was wäre Forschung ohne die Ermittlung von endlosen Zahlenkolonnen? Daher gibt es die Möglichkeit Daten aus dem Simulationsprozess aufzuzeichnen und diese mit Video- und Audioaufzeichnung zu kombinieren.

Forschungsprojekte

Die vielfältigen Möglichkeiten der Datenermittlung wurden im Rahmen eines Trainingskonzeptes für verbessertes Situationsbewusstsein und Fehlermanagement, gefördert durch die Europäische Kommission, eingesetzt (<http://essai.nlr.nl/>). Auch für die Untersuchung des HALS/DTOP-Anfluges, bei zwei gleichzeitig gefeuerten Schwellen auf der Südbahn in Frankfurt (EDDF), wurde das Audio- und Videoequipment genutzt um das Pilotenverhalten und die Blickstrategie der Piloten zu untersuchen. Auch wenn die Ergebnisse von insgesamt 40 teilnehmenden Piloten positiv ausgefallen sind und diese Innovation bei entsprechender internationaler Bekanntmachung umzusetzen wäre, ist die laufende Entlastungsmaßnahme der Fraport AG von der vierten Bahn überholt worden. Sie könnte aber zum Beispiel aus Lärmschutzgründen doch zum Einsatz gelangen.



Beobachtungsraum an der SRF. Auf den Monitoren kann das Geschehen im Cockpit visuell und auditiv verfolgt werden.

Anforderungen an die Forschung

Ein zentraler Punkt bei der Erhöhung der Luftraumkapazität und der Verbesserung der Aufnahmefähigkeit von Verkehrsflughäfen ist die Abwicklung des an- und abfliegenden Verkehrs. Besonders bei der Steuerung ankommender Flugzeuge gibt es derzeit noch technische Probleme. Zum einen müssen die Flugzeuge ein Zeitfenster möglichst genau treffen, um dem Gesamtsystem Luftverkehr (ATM) gerecht zu werden und die Abflug- beziehungsweise Ankunftszeiten einhalten zu können. Zum anderen muss unter Berücksichtigung von Kollisionsrisiken und der Gefahr, die von Wirbelschleppen ausgeht, der Verkehr so geleitet werden, dass die Sicherheit gewährleistet ist. Eine dazu notwendige räumliche Separation wird im kontrollierten Luftraum und im Bereich der Verkehrsflughäfen über Anweisungen der Flugsicherung erreicht. Sie veranlassen Piloten ihre Luftfahrzeuge entsprechend abzubremesen, zu beschleunigen oder ihren Flugweg lateral beziehungsweise vertikal zu verändern. Um dem zu erwartenden Verkehrswachstum gerecht zu werden, müssen Verfahren gefunden werden, die den Menschen unterstützen oder ihm bestimmte Aufgaben abnehmen.

Zeitgenaue Anflugverfahren

Das Advanced FMS (AFMS) des Instituts für Flugführung des DLR aus Braunschweig ermöglicht das Abfliegen von zeitgenauen Trajektorien. Die Aufgabe der TUB lag zum einen in der Integration des AFMS in die Software des A330 Flugsimulators als auch in der Bereitstellung zweier Flachbildschirme für die Anzeige von PFD und ND der DLR Forschungsanzeigen aus dem ATTAS.

Das Cockpitfoto auf Seite 18 zeigt die integrierten Forschungsdisplays im A330 FFS beim Anflug auf München. Die „Fernsteuerung“ des A330 erfolgt

über ein Rollkommando (etwa fliege eine Kurve mit 5° Bank) im horizontalen und über eine Geschwindigkeitsvorgabe sowie vertical Speed oder Flight Path Angle Vorgabe in der Vertikalen Eben(siehe Darstellung rechts unten auf dieser Seite). Eingeschränkt durch die Möglichkeiten der Schnittstelle muss weiterhin eine Höhenfreigabe eingedreht werden oder die Anzeige der Original FCU verbleibt bei der letzten gewählten Höhe,

da hier (noch) kein Rückkanal existiert. Eingriffe der Crew an der FCU geben die Kontrolle wieder an den Autopiloten (Selected) zurück. Für Messungen der Abweichungen von der Performance-rechnung des AFMS wurden zusätzlich noch Klappensteuerung und Fahrwerksebel automatisiert. Im Flugsimulator stellt dies kein Problem dar, jedoch muss für den Fall eines Go Arounds die Klappenstellung am Wahlhebel manuell mitgeführt werden. Es wurden aus einer Zwischenanflughöhe von 7000 ft mehrere Anflüge auf München mit verschiedenen Anflugverfahren durchgeführt:

► Low Drag Low Power Approach (LDLP)

Dieses Standardverfahren mit Zwischenanflugsegment und spätem Einnehmen der Konfiguration schon auf dem Gleitpfad ist bestens bekannt und wurde hier zum Vergleich aufgenommen.

► Continuous Descent Approach (CDA)

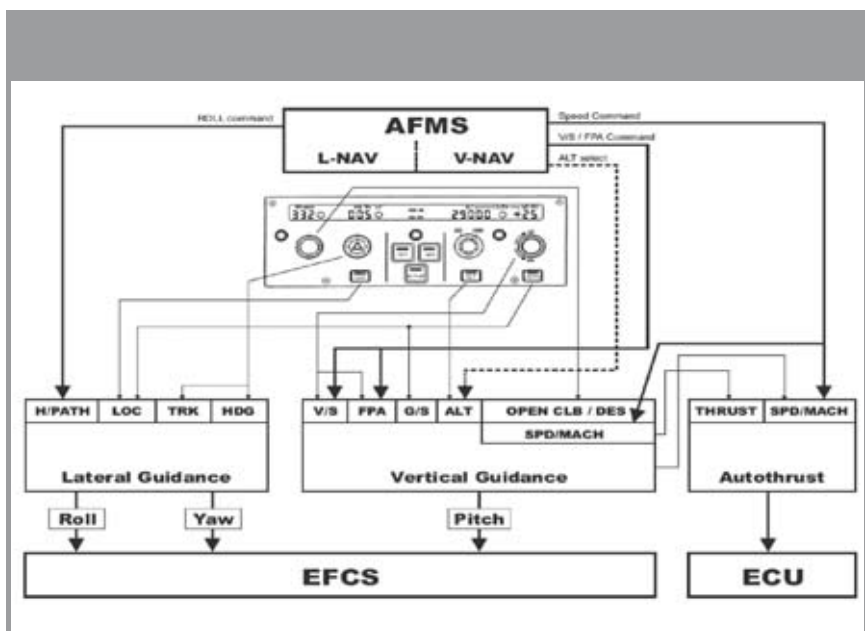
Im CDA bleibt das Flugzeug bis zum Aufsetzen auf der Landebahn im kontinuierlichen Sinkflug. Dem Open Descent schließt sich ein Verzögerungssegment an. Bereits zu Beginn der Verzögerung werden die Klappen auf die erste Stufe gesetzt. Der Top of Descent wird so berechnet, dass beim Erreichen des Glideslope das Flugzeug nicht weiter beschleunigt.

► Segmented Continuous Descent Approach (SCDA)

Hierbei wird auch zunächst im Idle Descent gesunken. In einem relativ flachen Verzögerungssegment werden Klappen und Fahrwerk gefahren, um dann mit einem Steilflugsegment (Steep Approach) auf den Gleitpfad von oben einzufliegen. Der Top of Descent wird hier so berechnet, dass bei 1000 ft das Flugzeug stabil auf dem Gleitpfad ist.

Das SCDA Verfahren wurde im Rahmen des Projektes „Leiser Verkehr“ beziehungsweise Flugverkehr vom DLR entwickelt und in einer ausführlichen Kampagne im A330-Flugsimulator mit 20 Piloten getestet. Die Versuchsreihe wurde jedoch noch nicht mit dem AFMS durchgeführt, sondern mit Standard FMS unter kontrollierten Bedingungen, um Ermüdungseffekte und zusätzliche Belastung zu messen. Hierbei zeigte sich kein signifikanter Unterschied zum LDLP.

Die Experimente mit dem AFMS zeigten Zielzeiten mit Abweichung im Bereich weniger Sekunden für alle diese



Aufbau der Integration des AFMS in den Simulator



Screenshot des modifizierten Navigationsdisplays aus den Experimenten mit Eurocontrol

Verfahren, aber die Details liegen in der vollständigen Implementierung der Schnittstelle:

- ▶ Wie reagiert das System im Falle eines Go Arounds?
- ▶ Wie erfolgt das zeitgenaue Fahren von Klappen und Fahrwerk?

Das Anflugverfahren ist nur der abschließende Teil des Bereichs Approach and Landing, der folgende Abschnitt beinhaltet daher die vorausgehende Betrachtung des Einfädels in die Anflugsequenz.

ASAS – Sequencing and Merging

Unter der Bezeichnung ASAS (Airborne Separation Assistance System) wurden am Institut bereits mehrere Konzepte, Verfahren und Systeme untersucht, die es erlauben, die Luftfahrzeuge und ihre Besatzungen in den Prozess der Separationseinhaltung einzubeziehen. Das mit Unterstützung des Eurocontrol Experimental Centre (EEC) untersuchte Konzept innerhalb des Projektes CoSpace zielt neben der Sicherstellung der Abstände auch auf deren Optimierung und die Verringerung der Arbeitslast der Fluglotsen ab. Für Flughäfen mit hohem Verkehrsaufkommen ist die Arbeitslast der Lotsen neben der Verfügbarkeit der Start- und Landebahn ein limitierender Faktor für die Aufnahmekapazität. Das Konzept, das unter den Begriffen „Airborn Spacing“ und „Sequencing and Merging“ bekannt ist, sieht prinzipiell die Festlegung einer Anflugsequenz, die Zu-

sammenführung der Flugbahnen unter Berücksichtigung der Separation und die anschließende Abstandseinhaltung über den gesamten restlichen Flugweg vor. Dies geschieht auf Anweisung des Fluglotsen, der mit neuen zusätzlichen Anweisungen, den Spacing Instructions, dieses Verfahren einleitet. Die Abstandseinhaltung erfolgt hier zeitbasiert (Time-Based Spacing), was in dieser Form im heutigen Flugbetrieb nicht und in anderer Form bislang nur in der im Anflugbereich kaum verwendeten konventionellen Staffelung vorzufinden ist. Die zusätzliche Arbeitsbelastung der Cockpit-Crew darf nicht zu Lasten der Sicherheit oder Effizienz der Flugdurchführung gehen. Am A330 FFS wurden daher sowohl entsprechende Flugführungshilfen für die manuelle Kontrolle des Luftfahrzeugs als auch Möglichkeiten zur Automatisierung dieser Aufgaben unter Einbeziehung des Menschen als Kontrollinstanz untersucht. Die Untersuchung des Konzeptes verlangte die Entwicklung eines entsprechenden technischen Systems sowie den Aufbau einer Versuchsumgebung zur Überprüfung der Funktionsweise und der Auswirkungen auf den heutigen Flugbetrieb unter Einbeziehung des Menschen.

Die experimentelle Untersuchung im A330 FFS betrachtete im Bereich Human Factors die Auswirkungen der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle des ASAS. Bezüglich des Konzeptes wurden die operativen Auswirkungen des Verfahrens auf die Flugdurchführung und die Luftraumstruktur beleuchtet. Hinsichtlich der Systemleistung wurde überprüft,

mit welchem regelungstechnischen Aufwand die Abstandseinhaltung durchgeführt werden kann und wie sich ASAS auf die effiziente Flugdurchführung auswirkt. Dabei wurden die Anforderungen an die laterale und vertikale Flugführungsgenauigkeit analysiert. Anhand der Auswertung der aufgezeichneten Flugdaten, der Audio- und Videoaufzeichnungen, der Fragebögen sowie der Befragungen konnten in Bezug auf die genannten Punkte die Vorteile von ASAS herausgestellt werden. ASAS stellt einen Baustein für die weitere Automatisierung der Abläufe im modernen und zukünftigen Luftverkehr dar, die erforderlich wird, um das bestehende Niveau an Sicherheit auch zukünftig garantieren zu können.

SESAR und ASAS

Nach der Durchführung der CoSpace-Versuchsreihen am ILR hat SESAR den Weg für die Einführung von ASAS und Sequencing and Merging mit den New Separation Modes (Lines of Change 8) im Deliverable 4 geebnet, was mittlerweile im ATM-Masterplan auch verankert ist. So wird mit dem Implementation Package 1 (IP 1) auf Basis von 1090 Mhz Extended Squitter des Transponder Mode S in 2009 mit ADS-B-In technisch das rein manuelle Airborne Spacing-Sequencing and Merging in Grundzügen bereits verfügbar sein und einen Testbetrieb ermöglichen. Hinzu kommt die Airborne Traffic Separation Assurance-In-Trail Procedures (ATSA-ITP) für den ozeanischen Luftraum und 2010 das von Airbus entwickelte System ATSAW (Air Traffic Situational Awareness).

Mit IP 2 wird bis 2013 ein vollständiges Verfahren (manuell und automatisch) zum Airborne Spacing (ASPA) zur Verfügung stehen. Die angegebenen Zeitpunkte und Zeiträume sind die geplanten Zeiten. Etwaige Verzögerungen im Projektfortschritt sind dabei noch nicht berücksichtigt.

Dipl.-Ing. Ekkehart Schubert

ekkehart.schubert@tu-berlin.de

Dr.-Ing. Thomas Pütz

thomas.puetz@tu-berlin.de