



**Informationen aus dem Bereich
Forschung und Entwicklung
der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH**



DFS Deutsche Flugsicherung



Inhalt

Dr. Volker Heil, Ursula Faust Arbeiten des Bereichs F&E in der DFS	2
Oliver Reitenbach, Stefan Stanzel Untersuchung von Verkehrsinformationsdiensten (TIS-Study)	4
Oliver Albert, Dr. Rainer Kaufhold, Dr. Roland Mallwitz Verbundvorhaben Kooperatives Air Traffic Management im Rahmen des 3. Luftfahrtforschungsprogramms	9
Andreas Nees, Dr. Andreas Herber, Dr. Manfred Korn VODAL – Erweiterung des Forschungssimulators auf Data Link	12
Stefan Tenoort, Stefan Schick Tanz BADA-ERIS - Eine Datenbank zur Analyse des Flugverhaltens von Luftfahrzeugen	15
Oliver Haßa Sequencing and Merging Simulationen bei F&E	19
Dr. Jens Konopka, Harald Fischer Messungen mit dem Wind-Temperaturradar am Flughafen Frankfurt	23
Impressum	30

Druckdatum dieser Ausgabe: 25. Juni 2004

Arbeiten des Bereichs F&E in der DFS

Dr. Volker Heil, TE, Ursula Faust, VKM

Anmerkung der Redaktion

Der Bereich TE hat einen (eher technisch ausgerichteten) Beitrag für den DFS-Geschäftsbericht 2003 geliefert, der von VKM sehr ansprechend überarbeitet wurde. Um diese sehr gelungene Beschreibung der Arbeiten des Bereichs F&E breiter bekannt zu machen, ist sie hier nachfolgend wiedergegeben.

Forschung und Entwicklung

„Die Fähigkeit zur Innovation entscheidet über unser Schicksal“, sagte der frühere Bundespräsident Roman Herzog in einer seiner Reden. Deshalb sind Forschung und Entwicklung (F&E) auch für die DFS GmbH eine wichtige Aufgabe. Ob es um die Steigerung der Flughafen- und Überflugkapazität geht, um die Nutzung neuer Technologien und Verfahren oder um die Entwicklung von Ausbildungssimulatoren: F&E konzentriert sich darauf, geeignete neue Erkenntnisse aufzuspüren und diese in abgesicherter und überprüfbarer Weise in die betriebliche Nutzung zu überführen. Aktuelles Erfolgsrezept ist, nicht nur mittel- bis langfristig Innovationspotenziale zu erschließen, sondern mit den gleichen Ressourcen auch kurzfristig Effizienz und Qualität zu steigern. Der Nutzen neuer Systeme und Arbeitsverfahren wird frühzeitig ermittelt, die Einführung risikomindernd unterstützt und dann der Nutzen verifiziert. Forschungsorientierte Spezialkenntnisse und Infrastruktur werden gleichzeitig zur Unterstützung und Verbesserung des Tagesgeschäfts eingesetzt. Über die Mitarbeit in Förder- oder Drittmittelprojekten werden sowohl die Kosten teilweise kompensiert als auch Kompetenz und Erkenntnisgewinn erhöht.

Schwerpunkt der Aktivitäten im Flughafenbereich ist der Flughafen Frankfurt. Eine Luftfahrt-Kooperation unter Führung der DFS GmbH war im 3. Luftfahrtforschungsprogramm der Bundesregierung erfolgreich: Wie man die An- und Ab-

flüge unter Berücksichtigung der vielfältigen Randbedingungen besonders geschickt planen und durchführen kann, ist der Hauptgegenstand des mehrjährigen Forschungsvorhabens „Kooperatives Air Traffic Management“ (K-ATM). Eine wichtige Ausgangskomponente, das Anflugplanungs- und -führungssystem 4-D-Planer (plant den Flugverlauf in den drei Raumdimensionen sowie der Zeit als vierter Dimension), ist im September 2003 in Betrieb gegangen. Das DFS-Systemhaus hat den vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) erstellten Prototyp unter Nutzung des DFS-Forschungssimulators AFS (Advanced Function Simulator) zur Produktreife entwickelt.

Die bisherige bodennahe Vorhersage des Wirbelschleppen-Warnsystems (WSWS) wird derzeit erweitert durch Einbeziehung des Höhenbereichs, der aus Sicht der Piloten beim Anflug besonders wichtig ist. Der Aufbau und die Inbetriebnahme eines für diesen Zweck weltweit einzigartigen Wind-Temperatur-Radars dauert mehrere Jahre. Erste Tests haben die grundsätzliche Funktion bestätigt. Der zunächst technisch orientierte Probetrieb soll noch im Jahr 2004 beginnen.

Den F&E-Schwerpunkt im Überflugbereich bildet – wie in den Vorjahren – die Unterstützung des im Geschäftsbereich Center angesiedelten Programms VAFORIT (Very Advanced Flight Data Processing Operational Requirements Implementation). Diese neue Generation eines Flugdatenverarbeitungssystems für den streifenlosen Betrieb auf Basis einer 4-D-Trajektorienrechnung wird im Jahr 2006 zunächst in der Kontrollzentrale Karlsruhe eingeführt.

Um bereits lange vor der Einführung die Handhabbarkeit und Akzeptanz des Systems sowie die erwarteten kapazitäts- und produktivitätssteigernden Effekte evaluieren und nötigenfalls verbessern zu können, nutzt auch VAFORIT den AFS. Einerseits bietet dieser eine sehr realisti-

sche Testumgebung für die Software. Andererseits können die F&E-Spezialisten ihr zum Teil in europäischen Forschungsprojekten erworbenes Know-how in die Entwicklung einbringen. Schwerpunkte im Jahr 2003 waren die Testunterstützung, Systemvalidierung, Detaillierung und Prüfung zukünftiger Arbeitsverfahren sowie vorbereitende Arbeiten zur Einführung von Datalink. Aus VAFORIT heraus ist bereits eine europäische Initiative zur Implementierung der nächsten Entwicklungsstufe entstanden (iTEC: interoperability Through European Collaboration).

Ähnlich wie das zukünftige VAFORIT-System kann auch das aktuelle DFS-Flugsicherungssystem P1/ATCAS vom AFS mit simulierten Daten „angetrieben“ werden. Das ermöglicht – in 2003 für Bremen aufgebaut - eine äußerst realitätsnahe Systemeinweisung vor der Inbetriebnahme.

Der AFS ist auch der Ausgangspunkt des Projekts NEWSIM (neuer Simulator). NEWSIM ersetzt die abgängigen Aus- und Weiterbildungssysteme für Radarlotsen an der DFS-Akademie und den Niederlassungen. Das erste NEWSIM-System mit 16 hochmodernen Ausbildungsplätzen ist im September 2003 in der Akademie in Betrieb gegangen.

Die F&E-Kompetenz wird bevorzugt über europäische und nationale Förderprojekte weiter entwickelt. Die bisherigen Schwerpunkte – 5. und 6. Rahmenprogramm sowie das Programm „Trans-europäische Netze – Transport“ der Europäischen Kommission – wurden durch Aktivitäten zum dritten deutschen Luftfahrtforschungsprogramm sowie strategisch passende Consultingaufträge ergänzt. So kann sich die DFS GmbH sowohl aktiv in europäische Forschungsnetzwerke einbringen und von diesen profitieren als auch den Luftverkehrsstandort Deutschland zukunftsorientiert stärken und einen ansehnlichen Dritt-mittelanteil erzielen. Neben dem bereits erwähnten deutschen Großprojekt K-ATM wurden europäische Projekte zur zukunftssträchtigen ADS-B-Nutzung (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast), zur Validierung von Betriebsverfahren im Streckenbereich sowie zum Rollverkehrsmanagement fortgeführt, beendet und neu akquiriert. Hervorzuheben ist in allen Fällen die

enge Abstimmung mit den Luftraumnutzern und der Industrie. Über die – überwiegend aus ähnlichen Themenbereichen stammenden – Consultingaufträge gelang der Einstieg in das auch zivil aufstrebende Arbeitsgebiet „unbemannte Flugobjekte“. Insgesamt hat die DFS GmbH damit eine sehr gute Basis für zukünftige Innovationen.

Diverse der vorgenannten Aktivitäten sind Gegenstand von Beiträgen im „TE im Fokus“. Die Ausgaben sind im DFS Intranet, Bereich F&E, erhältlich. Zu nennen sind z.B.:

- AFS als Treiber für P1/ATCAS ► Ausgabe 01/2001
- NEWSIM ► Ausgabe 01/2002
- TE-Unterstützung für VAFORIT ► Ausgabe 01/2003
- Demonstrationsphase „Electronic flight strips für P1“ ► Ausgabe 01/2003
- NEON-Simulationen ► Ausgabe 02/2003
- WSWS ► Ausgabe 01/2003 und 01/2004
- Data Link ► Ausgabe 01/2004
- K-ATM ► Ausgabe 01/2004

Untersuchung von Verkehrsinformationsdiensten (TIS-Study)

Oliver Reitenbach, Stefan Stanzel, TEA

Einleitung

Bereits vor einigen Jahren beteiligte sich die DFS im Rahmen des Projekts *Traffic Awareness for General Aviation (TAGA)* an der Untersuchung des Nutzens einer Verkehrslagedarstellung im Cockpit von Flugzeugen der Allgemeinen Luftfahrt. Zur Übertragung der Verkehrslagedarstellung ins Cockpit wurde ein Traffic Information Service-Broadcast (TIS-B)-Experimentalsystem aufbauend auf dem Datalink-Medium VDL Mode 4 aufgebaut. Sowohl Eurocontrol als auch die DFS gehen jedoch heute davon aus, dass vorerst lediglich das Datalink-Medium Mode S Extended Squitter im 1090 MHz-Frequenzband zur Realisierung erster ASAS-Flugzeug-Anwendungen (ASAS = Airborne Separation Assistance System) genutzt werden wird.

Der Fokus des Projekts „Untersuchung von Verkehrsinformationsdiensten (Traffic Information Services)“, kurz „TIS-Study“ genannt, lag nun auf

der technischen Untersuchung möglicher Verkehrsinformationsdienste im SSR-Frequenzband (1030/1090 MHz).

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollen bei der Bewertung einer möglichen Nutzung eines Verkehrsinformationsdienstes sowohl für Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt als auch der Verkehrsfluffahrt dienen.

Zielsetzung

Die wesentlichen Ziele der DFS im Rahmen der vorgestellten Studie waren die Untersuchung:

- des *Traffic Information Service (TIS)*, der als Mode S Specific Service definiert wurde und sich seit geraumer Zeit in den Vereinigten Staaten im operationellen Einsatz befindet;
- des *Traffic Information Services – Broadcast (TIS-B)*, der momentan als Mode S Extended Squitter (Mode S ES 1090 MHz) Anwendung

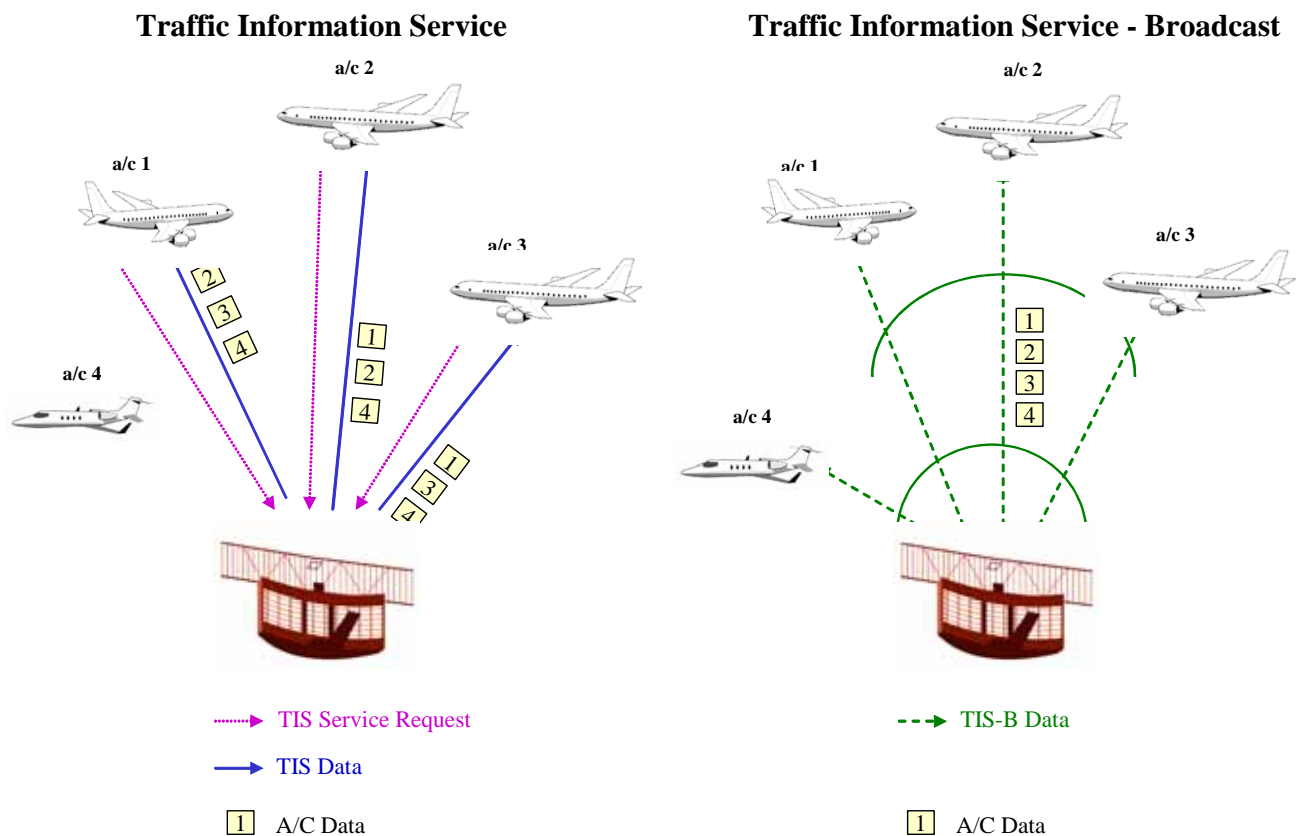


Abb. 1: Schematischer Vergleich TIS und TIS-B

von der ICAO und RTCA spezifiziert und standardisiert wird; und

- des *Traffic Information Services – Broadcast* (TIS-B), unter Nutzung der Mode S Abfragefrequenz (1030 MHz).

Die Untersuchung des technischen Status dieser Verkehrsinformationsdienste basierte auf den gegenwärtigen Versionen der *Minimum Aviation System Performance Standards* (MASPS) und der *Minimum Operational Performance Standards* (MOPS), sowie Arbeitspapieren, die derzeit im ICAO *Surveillance and Conflict Resolution Systems* (SCRPS) Panel zu diesem Themengebiet diskutiert werden.

Vorgehen

Da alle in der Studie beschriebenen Realisierungen eines Verkehrsinformationsdienstes auf der Mode S Technologie basieren, wurden zunächst die hierfür relevanten Grundlagen zusammengefasst.

Für die Untersuchung von TIS/TIS-B im SSR Frequenzband sind zwei grundlegende Fragestellungen untersucht worden:

- Welche technischen Vor-/Nachteile hat die Nutzung eines Broadcast-Dienstes (Traffic Information Service Broadcast, TIS-B) gegenüber der Nutzung eines verbindungsorientierten Dienstes (Traffic Information Service, TIS)?
- Welche technischen Vor-/Nachteile hat die Nutzung des SSR-Abfragekanals (1030 MHz) gegenüber der Nutzung des SSR-Antwortkanals (1090 MHz) zur Übertragung der Traffic Information Service Broadcast (TIS-B) Meldungen?

Im Hauptteil der Studie wurden die TIS und TIS-B Technologie erläutert und deren Eigenschaften verglichen (u.a. bezüglich Funktionsweise, Datenformate und prinzipieller Infrastruktur). Dabei stellten sich insbesondere die folgenden Charakteristiken heraus:

- TIS ist ein Punkt-zu-Punkt Dienst, der jeweils den relevanten Verkehr für ein bestimmtes Luftfahrzeug zur Verfügung stellt. TIS-B ist ein Punkt-zu-Mehrpunkt Dienst, der sämtliche Verkehrsinformationen für einen vorab definierten

geographischen Bereich (Traffic Information Volume) allen Luftfahrzeugen in gleicher Weise zur Verfügung stellt.

- Bedingt durch die technischen Eigenschaften des TIS Dienstes erlaubt dieser eine Unterstützung der See&Avoid-Anwendungen, wohingegen TIS-B auch zur Unterstützung von *Airborne Separation Assistance System* (ASAS)-Anwendungen geeignet erscheint.
- TIS wird in den Vereinigten Staaten als operationeller Dienst für die allgemeine Luftfahrt angeboten. Hierbei wird TIS ausschließlich als „unterstützender“ Dienst betrieben. Weitere Implementierungen von TIS außerhalb der Vereinigten Staaten sind derzeit nicht geplant. Der TIS-B Dienst befindet sich derzeit im Zustand der internationalen Standardisierung und Validierung. Eine Reihe von Forschungsvorhaben in den Vereinigten Staaten und Europa deuten daraufhin, dass diesem Dienst mittelfristig ein größeres Implementierungspotenzial zubilligt wird als TIS.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Untersuchung bildete die Analyse des Implementierungsaufwandes von TIS und TIS-B in eine bestehende Flugsicherungsinfrastruktur. Demnach ist keiner der beiden Dienste unmittelbar in der vorhandenen Mode S Infrastruktur nutzbar. Deshalb wären entsprechende Modifikationen und Erweiterungen für beide Dienste zu realisieren. Die Implementierung des TIS Dienstes würde eine Erweiterung der jeweiligen Mode S Radaranlage mit sich bringen. Beim TIS-B Dienst hingegen müssten das Radardatenverarbeitungssystem angepasst und neue Bodenstationen realisiert werden. Auf Grund der Tatsache, dass in beiden Fällen nicht unbeträchtliche Investitionen zu tätigen wären, muss eine Entscheidung für eine bestimmte Implementierung basierend auf den tatsächlichen Anforderungen der Luftraumnutzer und dem technischen Potenzial des Verkehrsinformationsdienstes unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte zu gegebener Zeit erfolgen. Abschließend wurde eine Alternative des TIS-B Dienstes skizziert, die die Abfragefrequenz des Mode S Radarsystems (1030 MHz) verwendet. Ein Vorteil dieser Variante ist, dass auf vorhandene Infrastruktur (Bord und Boden) zurückgegriffen werden könnte. Nachteilig erweist sich derzeit, dass diese Lösung nicht auf so breite

internationale Zustimmung stößt wie eine „Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) ähnliche“ Realisierung unter Verwendung von Mode S ES (1090 MHz).

Ausblick

Regierungen, Luftfahrtorganisationen und Flugsicherungen führen zur Zeit verschiedene Programme durch, die für die Thematik „Verkehrsdarstellung in der Allgemeinen Luftfahrt“ relevant

sind. In Hinblick auf die operationelle Einführung neuer Konzepte und Technologien sind die europäischen ADS und Mode S-Programme und das amerikanische Safe Flight 21-Programm von besonderer Bedeutung.

Das Eurocontrol ADS Programm hat das Ziel, alle erforderlichen Maßnahmen für die Entwicklung, Validierung und Implementierung von ADS-Systemen in Europa zu ergreifen, da dieses eine grundlegende Vorbedingung der operationellen Verbesserungen für European Air Traffic Mana-

	TIS	TIS-B
Data Link Technology available	Mode S (MSP)	Mode S (ES), UAT, VDL M4
Type of Communication	Unicast: Point-to-Point	Broadcast: Point-to-All
Service Initiator	Airborne	Ground
Capacity	max. 8 aircraft	depending on transmission technology
Application	“See and Avoid” for GA	GS/AS Package 1 application, transition to ADS-B, complementary data source to ADS-B
Traffic State Vector (TSV)	relative TSV to TIS receiving aircraft	absolute TSV
Application Area	TMA	Surface, TMA, en-Route
Clients	General Aviation	Commercial Aviation
Data Source	single Mode S Interrogator including TIS processing	Target plots derived from different surveillance sensors are fused in a Surveillance Data Processing and Distribution System
Implementation Complexity		
- ground	middle	high
- airborne	low	middle
Accuracy	low	middle - high
Target Update Rate	depending on radar cycle (nominal 5 sec)	depending on transmission technology (Mode S (ES), UAT, VDL M4)
Infrastructure required	low	high
Standardisation	MOPS TIS	MASPS TIS-B, MOPS 1090 ADS-B/TIS-B, SARP's Amendment planned.
Service in Operation	United States of America	until now only trial and validation activities; world-wide
Operational Guidelines available	Yes	under development
Surveillance Data Processing	Ground	Ground and Airborne

Abb. 2: Charakteristiken der TIS-Techniken

gement Programme (EATMP) im Gebiet der European Civil Aviation Conference (ECAC) ist. Start der Implementierung und der operationellen Verwendung von ADS-B in den ECAC-Staaten ist für 2007 vorgesehen, der Beginn der ADS-B-Überwachung in den ECAC-Staaten für 2008. Die Eurocontrol-Empfehlung für den zu verwendenden Datenlink ist Mode S Extended Squitter (Mode S ES) oder VDL Mode 4, eventuell als Kombination beider Systeme.

Das Ziel des Eurocontrol Mode S Programmes ist es, die Mode S-Überwachung baldmöglichst in den ECAC-Staaten einzuführen, um konventionelle (M)SSR-Radartechniken ((Monopulse) Secondary Surveillance) zu ersetzen, die ihre Kapazitätsgrenzen erreichen. Als Beginn des operationellen Einsatzes von Mode S Radaranlagen mit Nutzung von Elementary Surveillance im ATM war 2003, mit einer Übergangsphase bis 2005, in Belgien, Frankreich, Deutschland, Luxemburg, den Niederlanden und der Schweiz vorgesehen. Danach soll der Übergang zu „Mode S Enhanced Surveillance“ erfolgen. Zu diesem Zeitpunkt (März 2005) muss auch der VFR-Verkehr mit Mode S Elementary Surveillance ausgerüstet sein.

Safe Flight 21 ist ein Programm der FAA. Das Projekt hat zum Ziel, den Piloten auf einem Cockpitdisplay Verkehrs-, Wetter- und Geländeinformationen anzuzeigen. Auch sollen den Controllern mehr und genauere Daten zur Verfügung gestellt werden. Um dies zu erreichen, werden GPS, ADS-B, Flight Information Service Broadcast (FIS-B) und Traffic Information Service Broadcast (TIS-B) Anwendungen verwendet. Innerhalb des Programms wurden auch Evaluierungen bezüglich geeigneter Datenlinks durchgeführt. Das FAA hat bekannt gegeben, dass eine Entscheidung zur Nutzung des Universal Access Transceiver (UAT) ADS-B-Datenlink für die typische Allgemeine Luftfahrt getroffen wurde. Alle anderen Flugzeuge sollen den Mode S Extended Squitter Datenlink (1090 MHz) verwenden.

Verschiedene nationale Programme beschäftigen sich mit der operationellen Einführung von Verkehrsdiensten. Am weitesten vorangeschritten sind die Bemühungen in Australien, das ADS-B über Mode S Extended Squitter bis 2006 einführen will.

Nutzung der Ergebnisse

Die DFS nutzt die Erkenntnisse der Projektarbeit bei der Bewertung einer möglichen Nutzung eines Verkehrsinformationsdienstes (Traffic Information Service Broadcast, TIS-B) zur Verbesserung des Service-Angebots sowie zur Realisierung neuer Anwendungen für Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt ebenso wie der Verkehrsluftfahrt.

Für die DFS als Flugsicherungsdienstleister wird es aber für den wirtschaftlichen Erfolg unbedingt nötig sein, frühzeitig zu erkennen, welche Technologien sich künftig gegenüber anderen durchsetzen werden, um die Weichen für die endgültige Produktentwicklung und die Vorbereitung der bodenseitigen Infrastruktur rechtzeitig und richtig zu stellen. Die Anforderungen, die sich aus den operativen Rahmenbedingungen der zur Zeit durchgeführten Programme, Forschungsprojekte und Implementierungsvorhaben ergeben, leisten einen wichtigen Beitrag, künftige Produkte und Dienstleistungen marktnah zu gestalten.

Der ausführliche Ergebnisbericht der TIS-Studie ist in der Dokumentations-Datenbank im F&E-Portal (im DFS Intranet) als Dokument PB 2004-03 verfügbar.

	Elementary Surveillance	Enhanced Surveillance	ADS-B (Extended Squitter)
Description	<ul style="list-style-type: none"> Mode Select = selective addressing of aircraft automatic acquisition of „call sign used in flight“ altitude data in 25ft increments (today 100ft) requires Mode S radars and transponders (compatible with ACAS) 	<ul style="list-style-type: none"> downlink of airborne derived parameter (e.g. heading, speed, selected vertical intention) ground: no change to existing Mode S radars necessary, minimum ATM system upgrade avionics: parameter to be loaded into Mode S transponder 	<ul style="list-style-type: none"> ADS-C not applicable to high-density areas ADS-B applications „package 1“ under definition
Benefits	<ul style="list-style-type: none"> higher probability of detection than SSR improved safety solves SSR Mode A code shortage improved capacity reduction in SSR (1090MHz) channel load more capacity for ADS-B 1090MHz Extended Squitter 	<ul style="list-style-type: none"> reduced controller workload improved capacity build on available Mode S aircraft and ground infrastructure plus incremental upgrades exploit existing infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> ADS-B serves air-air, air-ground and ground-ground applications ADS-B is an enabler for future ATM-concepts → capacity business cases need to be established to support investment decisions
Schedule	<ul style="list-style-type: none"> March 2004: all new IFR aircraft March 2005: all IFR and new VFR aircraft March 2008: all aircraft 	<ul style="list-style-type: none"> March 2005: IFR a/c with MTOW > 5.700kg in Mode S airspace March 2007: end of transition period 	<p>(Eurocontrol ADS Programme)</p> <ul style="list-style-type: none"> stage 0: concept, requirements, tech. assessment, CBA stage 1: specifications, feasibility, trials, improved CBA stage 2: pre-operational system develop. & validation (2002-2007) stage 3: first implementations („package 1“; proposed 2007+)
Status	<ul style="list-style-type: none"> airspace user acceptance for Elementary Surveillance mandates for Elementary Surveillance in core Europe issued upgrade of ground sensors, communication networks and data processing systems in plan 	<ul style="list-style-type: none"> clear commitments from three states (UK, France, Germany) accepted by major European airlines (e.g. Lufthansa) harmonised mandates issued in 2003 (UK, France, Germany, other European states plan to follow) 	<ul style="list-style-type: none"> ongoing R&D activities AEMATA/JAFTI ADS-B link recommendation supported by DFS close co-ordination on CNS issues with major customer Lufthansa aggressive schedule requires significant human and financial resources (shortfall since aviation faces critical financial problems)

Abb. 5: Evolution der Surveillance Techniken (Quelle: Eurocontrol, Mode S Implementation Programme)

Verbundvorhaben Kooperatives Air Traffic Management im Rahmen des 3. Luftfahrtforschungsprogramms

Oliver Albert, TEH, Dr. Rainer Kaufhold, Dr. Roland Mallwitz, TEA

Einleitung

Hinter der Bezeichnung „Kooperatives Air Traffic Management (K-ATM)“ verbirgt sich ein Forschungsvorhaben, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit im Rahmen des 3. Luftfahrt-Forschungsprogramms mit ca. 9 Mio Euro gefördert wird und auf einen Zeitrahmen 2003 bis 2007 angelegt ist. Mit der Zielsetzung einer optimierten Kapazitätsausnutzung des Flughafens Frankfurt bringt das Vorhaben Dienstleister (DFS, Fraport, Lufthansa), Flugzeug- und Systemhersteller (Airbus, Thales, delair) sowie Forschungseinrichtungen (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Technische Universitäten Berlin, Braunschweig, Darmstadt, Dresden) unter Federführung der DFS an einen Tisch.

Gegenüber den früheren Luftfahrtforschungsprogrammen 1 und 2 (vorwiegend Technologiethemata) werden in der dritten Auflage erstmals Luftverkehrsthemen gefördert. Damit wird seitens des Bundes der Tatsache Rechnung getragen, dass eine nachhaltige Lösung der im Luftverkehrssystem existierenden Probleme nicht allein durch die Bereitstellung neuer Technologien erreicht werden kann. Vielmehr muss auch die Art und Weise ihrer operationellen Anwendung durch die Luftverkehrsträger und Dienstleister mitberücksichtigt werden.

Problemstellung

Internationale Großflughäfen, idR. mit Hubfunktion (z.B. Frankfurt, Amsterdam, London Heathrow), arbeiten heute bereits an der Kapazitätsgrenze oder erreichen diese in absehbarer Zeit, ohne die Möglichkeit durch bauliche Maßnahmen adäquat zu expandieren. Mit der jetzigen Struktur des Luftverkehrs (Hub-Spoke-Betrieb) stellen damit die Hubs aller Voraussicht nach den maßgeblichen Engpass für ein nachfragegerechtes zukünftiges Wachstum der zivilen Luftverkehrsbranche dar. Durch das Arbeiten an der Kapazitätsgrenze sind darüber hinaus keine Reserven verfügbar, so dass bei Störungen bzw. Engpass-situationen (typischerweise durch Wetter) die

Leistungsfähigkeit der Hubs stark einbricht, was einen entsprechenden wirtschaftlichen Schaden aller Beteiligten nach sich zieht.

Zielsetzung

Kernzielsetzung des Projekts ist die gemeinsame prototypische Entwicklung eines von Airlines, Flughafenbetreiber und Flugsicherung genutzten Planungssystems (CLOU – Cooperative Local Resource Planner), das eine durchgängige planbasierte Abwicklung aller Flugbewegungen am und um den Airport erlaubt. Insbesondere in Engpass-situationen soll damit eine optimierte Ausnutzung der Flughafenkapazität unter besonderer Berücksichtigung einer möglichst hohen Pünktlichkeit der Flüge bei gleich bleibend hohem Sicherheitsstandard erreicht werden.

Konsequenter Folgeschritt und damit eine weitere Zielsetzung des Vorhabens K-ATM ist die Umsetzung dieser kooperativ erarbeiteten Planungsgrundlage durch die einzelnen Akteure (Flugsicherung, Flughafen, Airline, Flugzeug) in ihren jeweiligen Handlungs- bzw. Zuständigkeitsbereichen. Arbeitsschwerpunkte der Flugsicherung in diesem Bereich des Vorhabens sind:

- die prototypische Weiterentwicklung des 4D-Planers zu einem kooperativen Anflugmanager (AMAN) durch Integration von Kundenzielsetzungen sowie Randbedingungen der Bodenabfertigung in die Anflugplanung,
- die prototypische Bereitstellung eines Abflugplanungssystems (DMAN) für Frankfurt auf der Basis des Produkts *darts* der Firma *delair* sowie die Kopplung mit dem AMAN im letzten Prototypenstadium.

Begleitet wird das Vorhaben durch Untersuchungen im Bereich der Sicherheit, wobei auch Erkenntnisse aus gefährlichen Begegnungen einfließen. Bei solchen Annäherungen werden vom Bordkollisionsschutzgerät ACAS so genannte Ausweichempfehlungen (Resolution Advisories,

RAs) für den Piloten generiert. Im Rahmen des Teilvorhabens SATT (SAfety Through Transparency) wird unter anderem untersucht, ob und in welchem Umfang diese Informationen aus den ATM-unabhängigen Kollisionswarnsystemen an Bord präventiv in der Luftraumplanung und/oder taktisch in den Systemen der Flugsicherung genutzt werden können. Die gewonnenen Erkenntnisse werden neben der Konsolidierung der in K-ATM untersuchten Planungsprozesse durch Regressionstests auch generell zum Erhalt von Sicherheit und Kapazität heran gezogen.

Ein weiteres Thema wird mit dem Arbeitsschwerpunkt Ground Based Augmentation System (GBAS) bearbeitet. Dieser hat zum Ziel, die zur Einführung von ICAO-konformen GBAS-Flugverfahren notwendigen betrieblichen / technischen Abläufe zu validieren und damit Grundlagen für mögliche neue Verfahren und Mittel zur

Umsetzung der kooperativen Planungsergebnisse zu schaffen.

Abbildung 1 stellt die Struktur des Verbundvorhabens dar, in der sich die einzelnen Themenschwerpunkte in Form von Teilvorhaben abbilden.

Stand des Vorhabens, Ausblick

Nach gut einem halben Jahr Projektdauer laufen in allen Teilvorhaben noch die konzeptionellen Arbeiten oder wurden teilweise schon abgeschlossen. Während im Teilvorhaben KOPLAN (CLOU Planungssystem) die Erarbeitung eines gemeinsamen Verständnisses des kooperativen Planungsprozesses im Sinne eines Betriebskonzeptes andauert, konnten im Teilvorhaben KOPIIM-ATC bereits erste Realzeitsimulationen mit einem unter anderem nach „Pünktlichkeit“

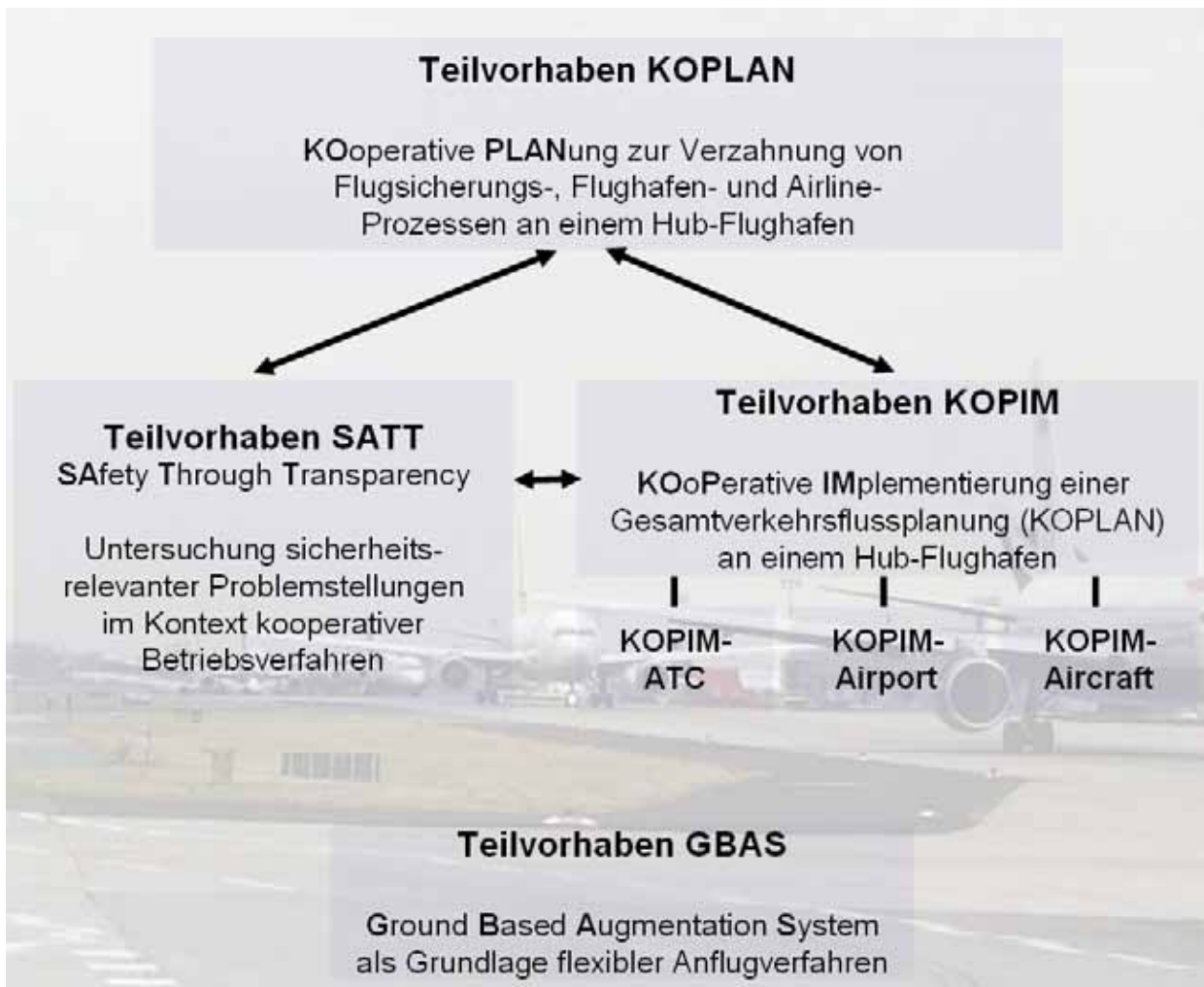


Abb. 1: Struktur des Verbundvorhabens



optimierenden 4D-Planer durchgeführt werden. DFS-seitige Schwerpunkte in 2004 sind die Fertigstellung des CLOU Betriebskonzeptes, der Beginn der CLOU Prototypenerstellung sowie die Bereitstellung einer Simulationsumgebung für den Departure Manager („darts“ Prototyp) für Frankfurt.

Für SATT wurde das Realisierungskonzept abgestimmt. Für 2004 steht die Entwicklung prototypischer Hardwarekomponenten im Vordergrund, mit denen Vorfälle automatisch registriert und RAs schneller als mit Radar an einer CWP (Controller Working Position) zur Verfügung gestellt werden können. Auf Basis der durchgeführten Messungen sollen dann Luftraumstrukturen und Verfahren und die Verarbeitung und Darstellung der Daten in ATM-Systemen überprüft werden. Ebenso werden Modelle verfügbar, mit denen die Stabilität der in den anderen Teilvorhaben untersuchten Planungsprozesse mit realistischen „Störungen“ getestet werden kann.

Abkürzungen

SATT	Safety Through Transparency
CLOU	Cooperative Local Ressource Planner
CWP	Controller Working Position
GBAS	Ground Based Augmentation System
K-ATM	Kooperatives Air Traffic Management
RA	Resolution Advisory
KOPIIM	KOoPerative IMplementierung
KOPLAN	KOoPerative PLANung

VODAL – Erweiterung des Forschungssimulators auf Data Link

Andreas Nees, VKK, Dr. Andreas Herber, Dr. Manfred Korn, TE

Einleitung

Der Einsatz von Datenfunksystemen wird für zukünftige Anwendungen (z.B. Multi-Sektor-Planner) innerhalb neuer ATM - Systeme eine wichtige Rolle einnehmen. Dabei werden die systemgestützten Anwendungen auf das Subsystem Datenkommunikationsfunksystem automatisch zugreifen und die Anweisungen / Informationen des Fluglotsen oder des ATM - Systems an das angesprochene Flugzeug und dessen Piloten übermitteln und natürlich auch umgekehrt. Die DFS hat sich durch den LCIP (Local Convergence and Implementation Plan) zur Implementierung von datenfunktgestützten Anwendungen (Controller-Data-Link-Communication, CPDLC) im Rahmen des Projektes LINK 2000+ von EUROCONTROL verpflichtet.

Das TE-Projekt VODAL soll nun für das Projekt VAFORIT eine Data Link-fähige Simulationsplattform zur Durchführung von Validierungen und Tests bereitstellen. Dazu soll der Forschungssimulator (Advanced Function Simulator, AFS) um die Data-Link-Funktionen gemäß bestehender Spezifikationen erweitert werden. Eine koordinierte Zusammenarbeit zwischen TE und dem Projekt Data Link Center des GB CC soll sichergestellt werden.

Neben dem eigentlichen Zweck der Schaffung der Evaluierungsumgebung für VAFORIT entsteht mit VODAL eine Infrastruktur, die für jegliche Untersuchung auf dem Gebiet der Data Link Anwendung genutzt werden kann.

Projektziele von VODAL¹

Ein früheres Projekt bei TE hatte die Erstellung eines Data Link Servers (DLS, Bodenseite) und der „passenden“ Flugzeugseite (ATN Pseudopilot Mapping Function APMAP, Bordseite) zum Ziel. Diese Komponenten arbeiten zwar technisch mit dem AFS zusammen, sind aber z.B. nicht in die Lotsen- und Piloten-HMIs integriert. Ziel des Pro-

jekts VODAL ist, eine integrierte Lösung zu erzielen. Dazu ist folgendes nötig:

- Implementierung der Data Link Funktionen in den Forschungssimulator (AFS, Advanced Function Simulator) mit seinen Teilsystemen Lotsen-Interface (VADS, Very Advanced Display System) und Piloten-Interface.
- Upgrade des Flugplan-Systems des Simulators (FlipCoF, Flight Plan Co-ordination Function) auf den OLDI – Standard v/3.0, damit eine Weiterleitung von Data-Link-Meldungen möglich wird.
- Realisierung einer Validierungsplattform als Treiber für das VAFORIT-System, indem alle externen Daten (sowohl benachbarter Flugsicherungszentralen als auch mit Data-Link ausgerüsteter Flugziele) erzeugt werden.
- Analyse und Anpassungen am Modul APMAP (ATN Pseudopilot Mapping Function), damit Data Link Eingaben auch seitens des Simulationspiloten möglich sind.
- Erstellung eines AFS - Betriebskonzeptes Data Link entsprechend den Standards ODIAC ORD v/1.0 und LINK 2000+.

Data Link Dienste

Die nachfolgend genannten Data Link Dienste die mit Inbetriebnahme von P1/VAFORIT in Karlsruhe für die Luftraumnutzer angeboten werden sollen, werden bei der Erweiterung des Forschungssimulators berücksichtigt:

1. Data Link Initiation Capability (DLIC):

DLIC ist der Einbuchungsvorgang (log on) des Bordsystems in das Aeronautical Telecommunication Network (ATN) der Flugsicherung und dient dem Zwecke der Anmeldung des Fluges im Bodensystem. Das Einbuchen kann automatisch durch das Bordsystem oder manuell durch die Piloten gestartet werden. Eine Initiierung durch ATC ist nicht möglich.

2. ATC Communication Management (ACM):

¹ Andreas Nees war Projektleiter VODAL bis zum 31.05.04, Dr. Manfred Korn ist jetziger Projektleiter.

ACM gestattet die transparente und synchronisierte Übergabe der Daten- und Sprachkommunikation zwischen verschiedenen Kontrollzentralen und Sektoren.

3. ATC Clearances (ACL):

ACL beschreibt den Meldungs austausch, der über Data Link stattfinden soll, sowie die Regeln für die Kombination von Sprach- und Datenkommunikation im europäischen Bereich beispielsweise für die Erteilung von Freigaben. Typischerweise wird dabei ein Schwellwert von 2 Minuten angesetzt, d.h.

- Sog. „zeitkritische“ Freigaben, für die innerhalb von 2 Minuten eine Bestätigung durch den Piloten beim Lotsen eingegangen sein muss, werden per Sprechfunk übertragen;
- Alle anderen, weniger zeitkritischen, Freigaben werden per Data Link übertragen

4. ATC Microphone Check (AMC);

AMC ermöglicht es dem Lotsen, eine Anweisung an die Piloten aller Data Link fähigen Luftfahrzeuge zu senden, mit der geprüft werden soll, ob durch diese der Sprachkanal blockiert wird.

AFS Validierungsplattform

Die zukünftige AFS Validierungsplattform soll das P1/VAFORIT – System mit den klassischen Umweltdaten (Radar, Flugpläne) stimulieren und

gleichzeitig eine mit Data Link ausgestattete Nachbarzentrale nachbilden. Die Luftseite wird ebenso in Form von mit Data Link ausgestatteten Luftfahrzeugen zur Verfügung gestellt. Somit kann die bord- und bodenseitige Data Link – Kommunikation zwischen den Flugzeugen und den Kontrollzentralen zu Testzwecken simuliert werden (s. Abb. 1); dabei kann alternativ eine relativ einfache ATN-Emulation oder ein reales ATN mit realen Bord-Boden-Links eingesetzt werden. Für die luftseitige Verbindung von AFS und VAFORIT System wird die reale ATN-Schnittstelle eingesetzt werden. Ein Einsatz zur Erprobung von Arbeitsverfahren mit Data Link und zum Test des neuen ATM – Systems ist vorgesehen.

Zur Steuerung der Datenkommunikation wurde das Pseudopiloteninterface DFS – Pilot bereits um ein Meldungsfenster erweitert (s. Abb. 2). Die Anweisungen des Lotsen können bestätigt (oder auch abgelehnt) und automatisch in das Command – Display des Flugzeuges als Steuerbefehl übernommen werden. Weiterhin kann der Pseudopilot auch Anfragen für die Änderung der Flughöhe oder die Geschwindigkeit an den Fluglotsen übermitteln.

Eine vollautomatische Übernahme von Anweisungen des Lotsen in die Flugzeugsteuerung ist für Testzwecke konfigurierbar. Die Flugzeuge können dann vom Lotsenarbeitsplatz aus „fern-

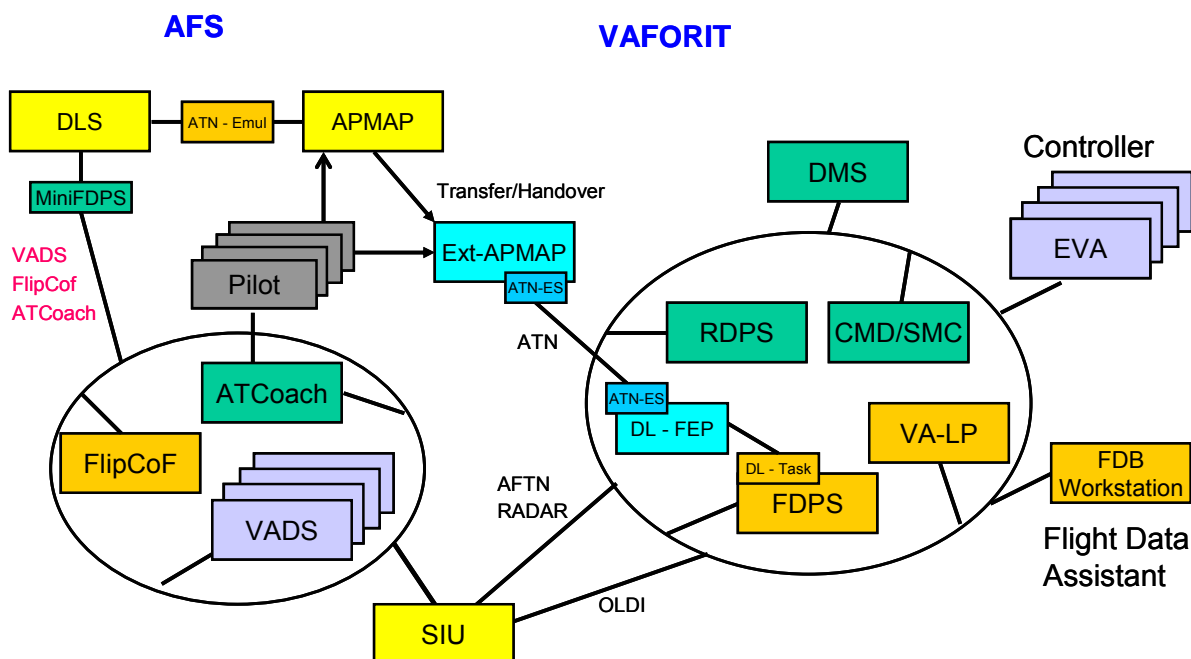


Abb. 1: Erweiterung des AFS als Validierungsplattform für externe Systeme

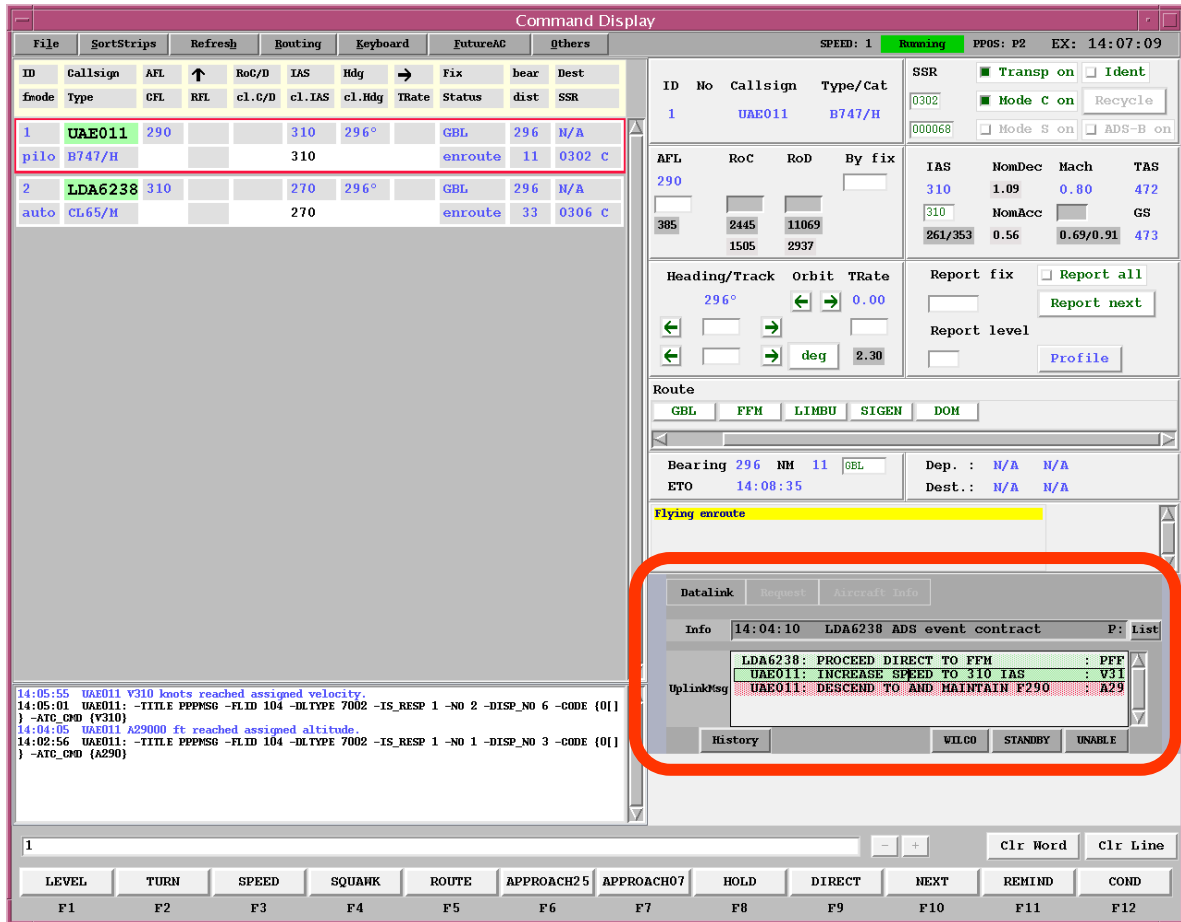


Abb. 2: Erweiterung des Piloten-Interface für die Nutzung von Data Link am AFS (markiert = Data Link Fenster)

bedient“ werden.

Die Übergabe der Data Link – Kommunikation an den nächsten Sektor oder eine andere Kontrollzentrale ist ebenfalls möglich. Die erforderliche FDPS-Data Link Funktionalität wurde in die Very Advanced Display Software VADS eingebaut und erfolgreich getestet. Mit den Arbeiten zur Integration von Data Link in das Radardisplay konnte bereits begonnen werden.

Ausblick

Erste Demonstrationen von Data Link - Funktionalitäten mit dem erweiterten Forschungssimulator sollen im August und September 2004 stattfinden. Dabei werden vorhandene Verkehrsszenarien im Bereich des UAC Karlsruhe dazu verwendet, um mit Betriebspersonal aus Karlsruhe die Arbeit mit ausgewählten Data Link Anwendungen zu demonstrieren. Die Ergebnisse dieser Simulationen sowie weitere Projektergebnisse werden in zukünftigen Artikeln der Forschungszeitschrift vorgestellt werden.

Abkürzungen

ACL	ATC Clearances
ACM	ATC Communication Management
AFS	Advanced Function Simulator
AMC	ATC Microphone Check
APMAP	ATN Pseudopilot Mapping Function
ATN	Aeronautical Telecommunication Network
DLIC	Data Link Initiation Capability
ECIP	European Convergence and Implementation Plan
FlipCoF	Flight Plan Co-ordination Function
LCIP	Local Convergence and Implementation Plan
ODIAC	Operational Development of Initial Air/Ground Data Communications Services
ORD	Operational Requirements Document
VADS	Very Advanced Display System

BADA-ERIS

Eine Datenbank zur Analyse des Flugverhaltens von Luftfahrzeugen

S. Tenoort, S. Schick Tanz, TEH

Einleitung

Im Rahmen des „EATMP Reference Industry-Based ATM Simulation and Trials Programme“ (ERIS) entstand unter der Führung des Eurocontrol Experimental Centres (EEC) eine Simulationsplattform zur Validierung neuer ATM Konzepte, sowie deren technischer Komponenten.

Eine wesentliche Zielsetzung war die realitätsnahe Simulation des Flugverhaltens aller Flugzeugtypen, sowohl im Hinblick auf die Einhaltung realer Flugleistungsparameter (z.B. Steigrate), als auch bezüglich der Abbildung operationeller Einflussfaktoren (z.B. airlinespezifische Geschwindigkeitsprofile).

Zu diesem Zweck verwendet das EEC ein parameterbasiertes Punktmassenmodell (BADA-Modell), dessen Parameter flugzeugtypspezifisch angepasst werden. Das BADA-Modell stützt sich im wesentlichen auf Angaben der Flugzeughersteller zu den verschiedenen Leistungsparametern. Dazu gehören Angaben zu Steig-/Sinkrate, max. Abfluggewicht, Geschwindigkeiten (calibrated airspeed CAS, Mach), erreichbare Flughöhen etc.

In der Realität werden die Flugprofile von Flugzeugen aber von einigen weiteren Einflussfaktoren mitbestimmt, wie Abfluggewicht, Wetterbedingungen, unterschiedlichen Triebwerkstypen, ATM Verfahren, Betriebsanweisungen der Fluglinien und Verhalten von Piloten und Fluglotsen, so dass es deutliche Unterschiede zwischen realem und dem vom Modell prognostiziertem Flugverhalten geben kann.

Die Untersuchungen sind auch für die DFS selbst relevant, da auch die DFS-Simulatoren (z.T. mit Erweiterungen) auf BADA aufbauen. BADA kommt außerdem im VAFORIT VA-FDPS für die Trajektorienberechnung zum Einsatz.

Das Vorhaben

Die zentrale Frage des Projekts BADA-ERIS lautete deshalb, wie kann man den Realismus des simulierten Flugverhaltens verbessern, wenn es

Unterschiede zwischen realen und Modellparametern gibt?

Die kontinuierliche Weiterentwicklung dieses Modells sollte sich daher auf eine umfangreiche Analyse realer Flugverlaufsdaten abstützen, um zusätzliche Einflussfaktoren auf den Verlauf tatsächlicher Flugprofile, mit dem Ziel der späteren Modellierung im BADA Modell, zu identifizieren.

Im Auftrag von EUROCONTROL und für den Bereich CO hat der Bereich F&E maßgeblich die Themen Bereitstellung, Aufbereitung und Analyse realer Flugverlaufsdaten bearbeitet. Die Vorgehensweise gliederte sich dabei in zwei Phasen:

- Phase 1: Bereitstellung eines Softwaretools zur Speicherung, Aufbereitung und Analyse von Massendaten realer Flugverläufe
- Phase 2: Nachweis signifikanter operationeller Einflussfaktoren und Überprüfung der Übertragbarkeit in die Simulationswelt (Advanced Function Simulator, AFS)

Basierend auf der im Hause verfügbaren Standard-Software SAS (Statistical Analysis Software) entwickelte TE eine Reihe von Funktionen, mit deren Hilfe:

- reale Radar-, Flugplan- und Wetterdaten in großem Umfang korreliert in einer Datenbank zur Verfügung gestellt werden,
- eine Inhaltsanalyse der enthaltenen Daten anhand bestimmter Kriterien (z.B. Flugzeugtypspezifisch) erzeugt wird,
- die gezielte Extraktion von Datenuntermengen anhand frei konfigurierbarer Datenbankabfragen möglich ist
- eine deskriptive statistische Analyse (Häufigkeit, Mittelwert und Standardabweichung) verschiedener Flugleistungsparameter, wie z.B. Steigrate, CAS und Mach, flugphasenabhängig automatisch erstellt und grafisch aufbereitet wird.

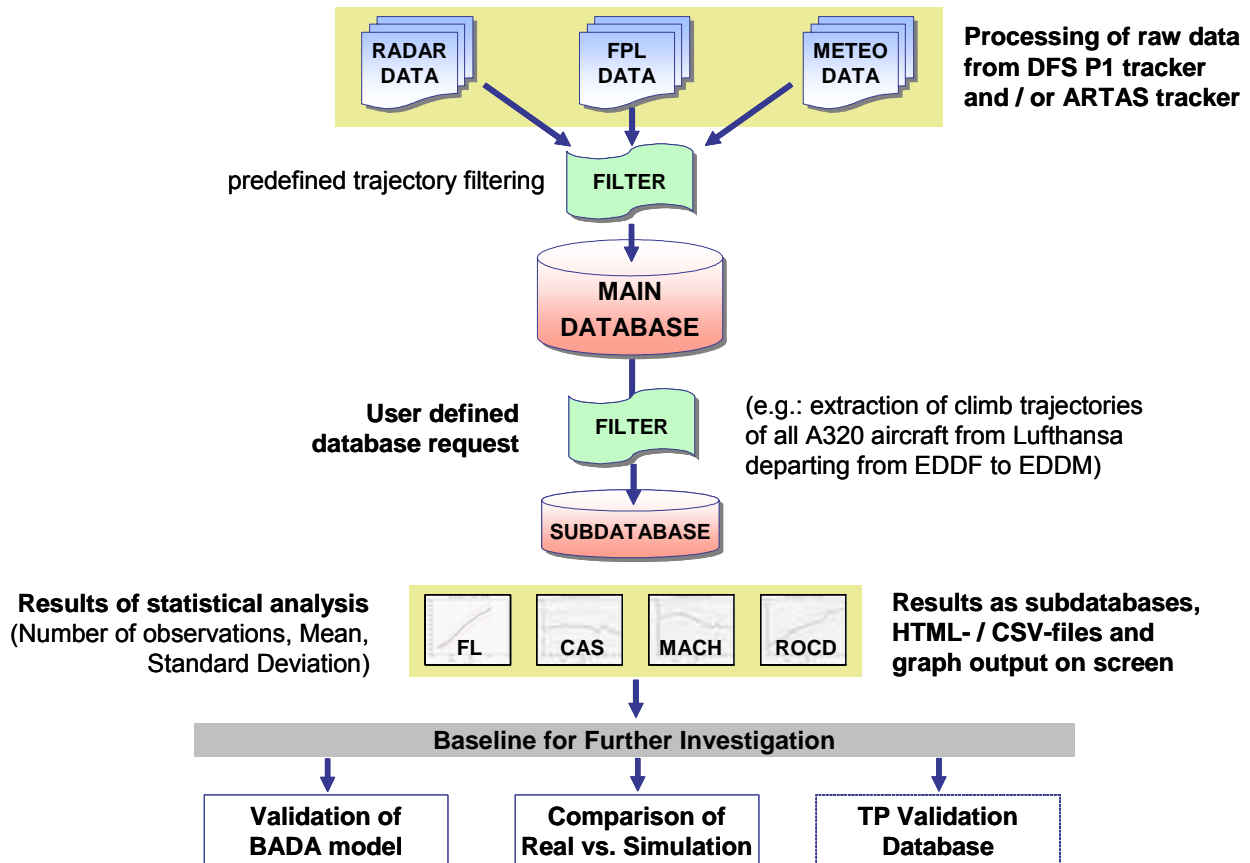


Abb. 1: Schematischer Aufbau der Datenbank

In Abb. 1 ist der Aufbau der Datenbank schematisch dargestellt. Radar- bzw. Trackdaten, die aus dem P1 System zur Verfügung stehen (s. Abb. 2), werden mit den Flugplandaten korreliert und mit den entsprechenden Wetterdaten (Luftdruck, Temperatur, Windrichtung und -stärke) verbunden. Die Flugplandaten sind notwendig, um Flugzeugtyp und Fluggesellschaft zuordnen zu können. Die Wetterdaten werden zur Berechnung der leistungsrelevanten Geschwindigkeiten TAS, CAS und Mach, basierend auf den in den Trackdaten enthaltenen Geschwindigkeiten über Grund, benötigt.

Mittels verschiedener Filterfunktionen werden dann nur die geeignetsten Flugprofile ausgewählt. So werden nur solche Flüge in der Datenbank berücksichtigt, bei denen der Einfluss durch ATC möglichst gering ist (s. Abb. 3). Zu diesem Zweck wurde ein so genanntes

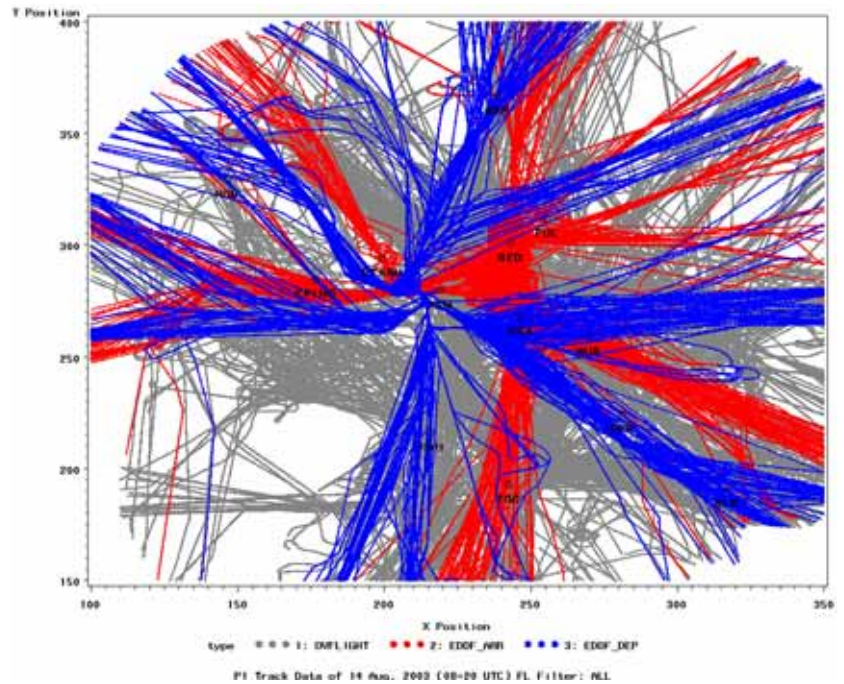


Abb. 2: Flugspuren des P1 Erfassungsbereichs

„Usability Criterion“ eingeführt, das im wesentlichen das prozentuale Verhältnis der Standardabweichung zum Mittelwert der Steig- oder Sinkrate jeder einzelnen Trajektorie wiedergibt.

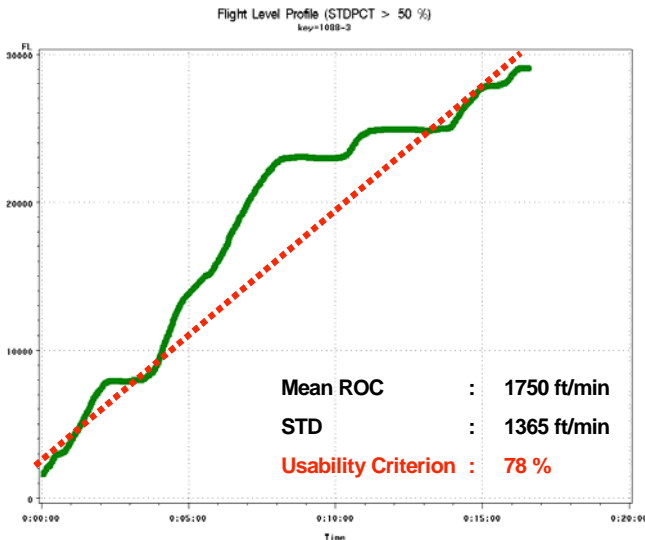


Abb. 3: Usability Criterion zur Filterung von Flugprofilen

Flugprofile mit einem Usability Criterion von größer 30 % werden standardmäßig nicht in die Datenbank aufgenommen

Mittels einer Eingabemaske kann nun eine Datenbankabfrage durchgeführt werden, um gezielt bestimmte Flugprofile analysieren zu können. Als Ergebnis dieser Abfrage erhält der Nutzer zum Einen Diagramme und Statistiken, zum Anderen einen Datenbankauszug, mit dem weitere Analysen durchgeführt werden können.

Die Datenbank besteht mittlerweile aus 27 Aufzeichnungstagen aus August und September 2003 und beinhaltet insgesamt 49.000 Flüge aus dem P1 Erfassungsbebereich. Weitere Aufzeichnungen stehen zur Verfügung und werden noch in die Datenbank integriert. Zusätzliche Aufzeichnungen sind

geplant, so dass zukünftig die Datenbank eine ausreichende Anzahl von Flugzeugtypen der verschiedenen Airlines und der unterschiedlichsten Start-Zielflughafenkombinationen enthält, um valide statistische Analysen der Einflussfaktoren auf das Flugverhalten durchführen zu können.

Anwendungen und Ergebnisse

Folgende Anwendungsmöglichkeiten bietet die Datenbank:

- Filtermöglichkeiten um Einzelanalysen des Flugprofils bestimmter Flugzeugtypen ausgewählter Airlines an bestimmten Tagen (z.B. Sommer gegenüber Winter) durchzuführen. Damit wird es möglich, die Leistungsparameter der Flugzeugtypen zu bestimmen.
- Vergleich des realen und simulierten Flugverhaltens.

Erstmals konnte überprüft werden ob, und wie stark sich die Flugprofile in einer Simulation mit dem AFS von den realen unterscheiden. Wie in Abb. 4 zu erkennen, gibt es bei bestimmten Flugzeugtypen, im Beispiel eine Boeing 737-600, z.T. gravierende Abweichungen. Alle drei simulierten Flugprofile mit unterschiedlichem

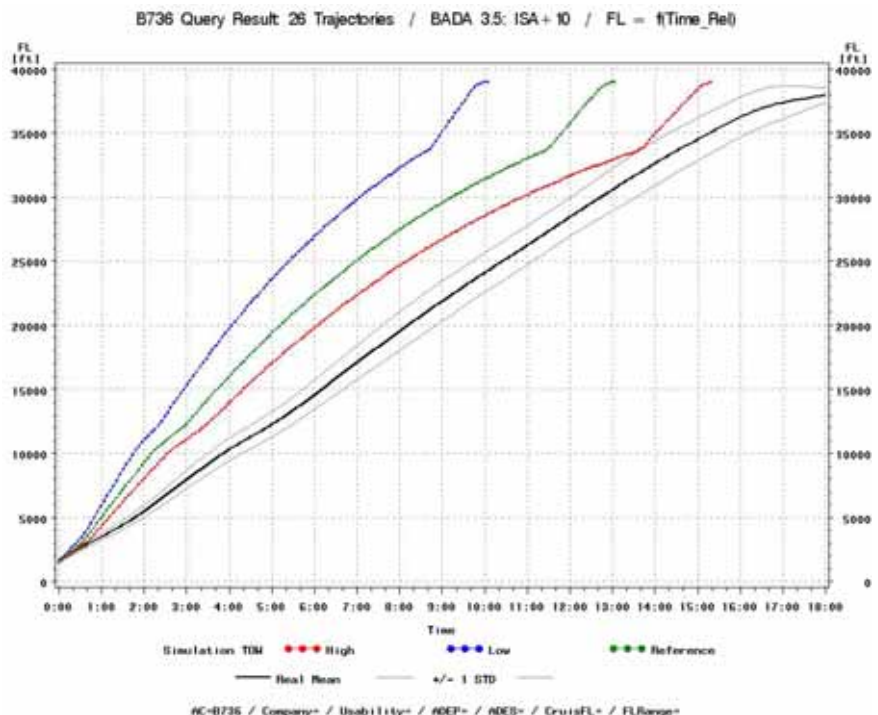


Abb. 4: Boeing B737-600: Simulation vs. reale Daten

Startgewicht liegen deutlich über dem realen Flugprofil. Außerdem erreichen die simulierten Flüge bei großen Flughöhen unrealistisch hohe Steigraten. Mit Hilfe der Datenbank konnten die Ursachen für diese Fehlverhalten identifiziert und mittlerweile Abhilfe geschaffen werden. Andere Flugzeugtypen verhalten sich in Simulationen hingegen modellkonform.

- Vergleich von verschiedenen Fluglinien. Da in dem BADA Modell auch fluglinienspezifische Betriebsanweisungen berücksichtigt werden, ist es von Interesse zu identifizieren, wie sich die Flugprofile verschiedener Fluglinien unter gleichen Bedingungen unterscheiden. In Abb. 5 ist als Beispiel eine Boeing 737-300 mit Abflug EDDK (Köln), bzw. EDDL (Düsseldorf) nach EDDM (München) dargestellt. Unter der Annahme, dass die Flüge ähnliche Abfluggewichte haben, ist zu erkennen, dass die BAG (Speedway, schwarze Kurve oben) gegenüber der DLH (Lufthansa, untere Kurve) höhere Steigraten umsetzt. Auch in den anderen Leistungsparametern finden sich Unterschiede zwischen den verschiedenen Fluglinien.
- Bestimmung des Einflusses des Abfluggewichts durch Wahl geeigneter Start-Zielflughafen Kombinationen bei gleichem Flugzeugtyp.
- Ermittlung von Flugzeugtypen mit ähnlichen Leistungsdaten. So können z.B. die Leistungsdaten von Flugzeugtypen bestimmt werden, zu denen es bisher keine Herstellerangaben gibt und im Modell als Substitut abgelegt werden. Weiterhin können verschiedenen Flugzeugtypen mit vergleichbaren Leistungsdaten mit nur einem Modell hinreichend genau abgebildet werden.
- Überprüfung der Genauigkeit von Flugprofilvorhersagen. So beruhen bestimmte Unterstützungsfunktionen zukünftiger Flugsicherungssysteme (z.B. VAFORIT) auf der Berechnung des Flugprofils (Trajektorie, Trajectory Predic-

tor), um mittelfristige Konflikte zu erkennen (MTCD). Ähnlich wie bei dem Vergleich *real gegen simuliert* können dazu Analysen zwischen berechneten und tatsächlichen Flugprofilen herangezogen werden, um die Prognosegüte zu verbessern.

Zur Unterstützung der oben genannten Analysen dienen neben Diagrammen der einzelnen Leistungsparameter auch statistische Tests mittels Varianzanalyse, um bedeutsame Unterschiede statistisch abgesichert bewerten zu können.

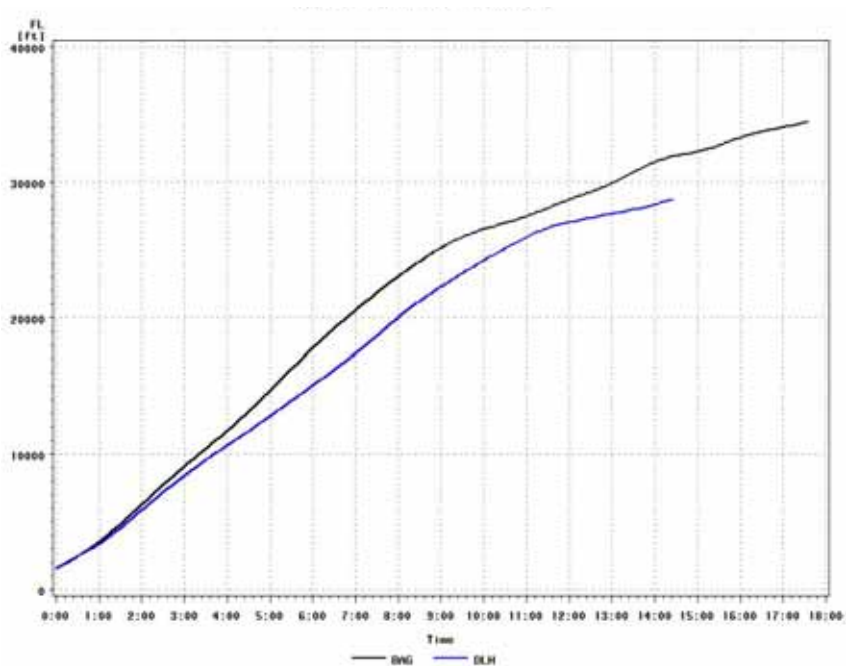


Abb. 5: Vergleich der Profile eines Flugzeugmusters zweier Airlines

Fazit und Ausblick

Eine Besonderheit bei diesem Projekt war, dass erstmals der Bereich F&E in der Funktion als Auftragnehmer SAS Programmcode entwickelt hat. Zusammen mit einer ausführlichen Dokumentation ist der Auftraggeber nun in der Lage eigene Analysen durchzuführen. Aufgrund des Erfolges des Projektes ist eine weitere Zusammenarbeit auf diesem Gebiet seitens des EEC in Planung.

Der Nutzen dieser Datenbank konnte schon in verschiedenen Anwendungsgebieten erfolgreich dargestellt werden und stößt auch auf großes Interesse seitens der internationalen ATC-Gemeinschaft.

Sequencing & Merging Simulationen bei F&E

Enhanced sequencing and merging operations: Ein Kapazitätsgewinn für Frankfurt?

Oliver Hassa, TEH

Einleitung

Die Verkehrsdichte im deutschen Luftraum zählt zu den höchsten weltweit. Insbesondere im Bereich der Flughäfen befindet sich das System Luftverkehr in der Sättigung. Eine weitere Steigerung der Verkehrszahlen führt zu einer wachsenden Zahl an Verspätungen. Um dies zu vermeiden, muss eine Erhöhung der Kapazität erreicht werden.

Hintergrund

Mit Airborne Surveillance (basierend auf Automatic Dependent Surveillance – Broadcast, ADS-B bzw. Traffic Information Service – Broadcast, TIS-B) als Enabler und neuer Bordavionik (Cockpit Display of Traffic Information, CDTI, und Airborne Separation Assistance System, ASAS) wird es zukünftig Luftfahrzeugen möglich sein, neue Funktionen und Aufgaben innerhalb des Systems Luftverkehr zu übernehmen [Casaux1995, EURO2001]. Diese Ausrüstung ermöglicht eine neue Aufteilung der Aufgaben zwischen Bord und Boden.

Die zuerst implementierbaren ASAS Applications wurden im „ASAS Package I“ zusammengefasst [EURO2002]. Zu diesem gehören sowohl Ground als auch Airborne Surveillance Anwendungen. Zu den Airborne Surveillance Anwendungen des Package I gehört die Application „Enhanced sequencing and merging operations“ (Airborne Surveillance Application – Sequencing & Merging, ASPA-S&M) [EURO2002].

Bei ASPA S&M wird das Einhalten des Abstandes zwischen zwei Luftfahrzeugen durch die Regelung der Fluggeschwindigkeit des hinteren Luftfahrzeuges vom Lotsen an den Piloten übergeben. Die Verantwortung für die Separation verbleibt am Boden.

Von dieser Application werden folgende Vorteile erwartet:

“The main expected benefit is increased controller availability, but increased capacity through better adherence to ATC separation minima is

also expected especially in high-density areas.” [EURO2002, Seite 26]

Für ASPA-S&M wurden innerhalb von EUROCONTROL-Projekten operationelle Verfahren entwickelt [Grimaud2001] und diese in Schnellzeit- und Echtzeitsimulationen erprobt [EURO2003b, EURO2004]. Dabei wurde sowohl die Boden- als auch die Bordseite untersucht. Innerhalb dieser Simulationen konnten die erwarteten Vorteile nachgewiesen werden. Allerdings beruhen diese Experimente auf vom französischen Luftraum abgeleiteten, vereinfachten Lufträumen und Verfahren.

Diese Art der Untersuchung ist notwendig, aber nicht hinreichend. Es stellt sich die Frage, ob diese Vorteile auch in einem realen Luftraum erreicht werden können. Genau dieser Fragestellung widmet sich das Projekt *Sequencing & Merging Simulations*. Als Luftraum wurde dafür die TMA Frankfurt sowie die umgebenden Sektoren (Extended TMA, E-TMA) ausgewählt, da dieser derzeit über die größte Verkehrsdichte in Deutschland verfügt.

Für die deutschen S&M Simulationen wurden die

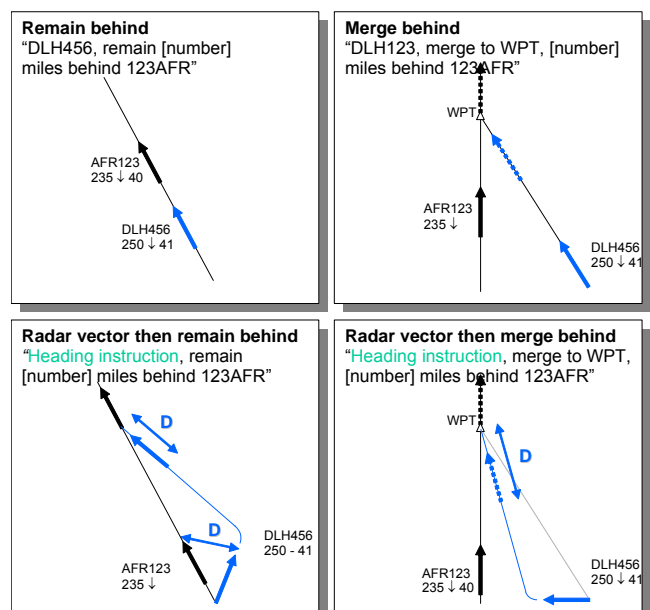


Abb. 1: Verfahren für die S&M Simulationen

folgenden Verfahren ausgewählt (siehe auch Abbildung 1):

- Remain behind
- Merge behind
- Radar vector, then remain behind
- Radar vector, then merge behind

Übersicht über das Projekt

Der Bereich TE führt für den Bereich CO (Hauptauftragnehmer) das Projekt Sequencing & Merging Simulations im Auftrag von EUROCONTROL durch. Ziel des Projektes ist eine erste Bewertung von möglichen Vorteilen durch ASPA S&M Verfahren unter realistischen Bedingungen.

Das Projekt besteht insgesamt aus vier Phasen. Einer einleitenden Studie folgt eine erste Echt-

zeitsimulation eines Teils der E-TMA. Eine Schnellzeitsimulation überträgt anschließend die Ergebnisse auf die gesamte E-TMA/TMA Frankfurt. Eine abschließende zweite Echtzeitsimulation untersucht die TMA und einen der Teil der E-TMA. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Nahtstelle zwischen TMA und E-TMA.

Die Studie ist nahezu abgeschlossen. Die erste Simulation ist beauftragt und wird zurzeit vorbereitet. Die beiden anderen Simulationen sind Optionen, die von EUROCONTROL beauftragt werden können. Das Projekt ist vollständig preisfinanziert.

ASAS Anwendungen wie ASPA S&M sind konform mit dem Entwurf des DFS ATM Concept 2005-2015 Center (Version 0.7) [DFS2003] und der EUROCONTROL ATM Strategy for 2000+ [EURO2003a]. Auch von den Stakeholdern wird eine entsprechende Untersuchung und eventuelle Einführung befürwortet bzw. sogar gefordert.

Eine Untersuchung dieser Thematik liegt daher im Interesse der DFS. Das Projekt S&M Simulations bietet somit die Gelegenheit, anstehende Forschungsarbeiten extern zu finanzieren.

Luftraum und Szenarien

Der Luftraum der ersten Simulationskampagne umfasst die E-TMA für das am stärksten belastete Initial Approach Fix (IAF) der TMA Frankfurt. Es handelt sich dabei um den Navigationspunkt PSA (Spessart) und die dazugehörigen Sektoren Ost Radar 1-4 sowie Boden 2 (siehe Abbildung 2). Die Landekapazität von Frankfurt wird bei der ersten Simulation als nicht eingeschränkt betrachtet.

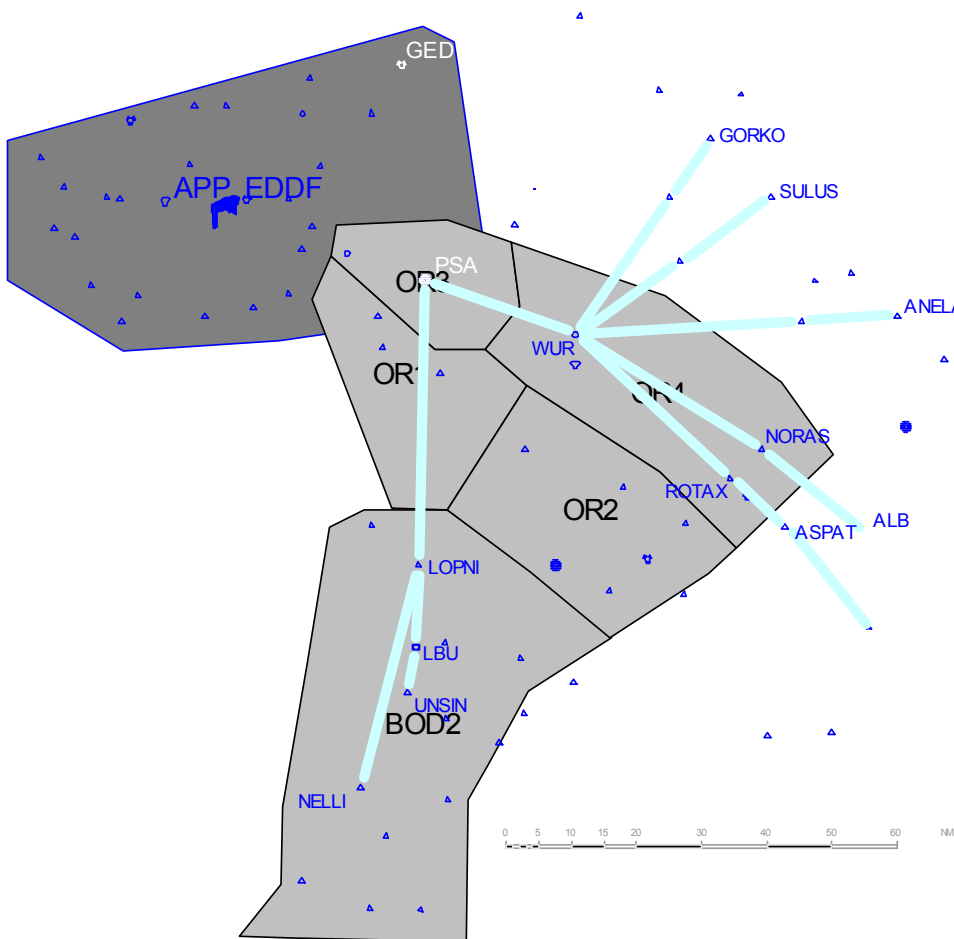


Abb. 2: Simulationsgebiet für die S&M Simulationen (hellgrau), Anflugwege (hellblau) und Frankfurt TMA (dunkelgrau)

Die Verkehrslast soll von 100% des heutigen Verkehrs über 125% bis hin zu 150% gesteigert werden. Dies entspricht 120 Flugbewegungen pro Stunde in Frankfurt. Neben der so genannten Baseline (ohne ASAS Ausrüstung) werden Szenarien mit 50% und 95% Ausrüstungsgrad untersucht.

Die erste Simulationskampagne wird in den Kalenderwochen 41 und 42 am AFS durchgeführt werden. Die Woche 40 wird zur Vorbereitung und als Trainingswoche genutzt.

Ausbau des Forschungssimulators

Im Rahmen der Projekte 4D-Planer, NUP EVA² und NUP AAS³ wurde der Advanced Function Simulator (AFS) des Bereiches TE bereits an den Luftraum (heutige Struktur) angepasst. Auch wurden für diese Projekte Erweiterungen am AFS vorgenommen (u. a. die Möglichkeit, ACC Sektoren automatisch zu betreiben, Einbindung des 4D-Planers in den AFS, Verbesserung der Luftfahrzeug-Performance im Flughafennahbereich, Prozeduren zur Kopplung von Zielen sowie ein entsprechendes Display für Lotsen und Simulationspiloten). Für das Projekt AMAN/DMAN wurde der AFS auch an die zukünftige Luftraumstruktur einschließlich einer vierten Bahn angepasst. Diese Erweiterungen werden für die S&M Simulationen übernommen und an die neuen Verfahren angepasst. Somit wurde ein erheblicher Teil der für die S&M Simulationen erforderlichen Voraussetzungen bereits im Rahmen anderer Projekte geschaffen.

Simulationen für S&M ohne ASAS-Ausrüstung (sog. Baseline Simulationen), die Ergebnisse der Studie und Aktivitäten im Bereich der Simulations- und Datenvorbereitung können sowohl für S&M als auch für AMAN/DMAN verwendet werden. Die Baseline Simulationen bieten zum ersten Mal die Gelegenheit, den geplanten Verkehr für 2008 oder später (4. Bahn Frankfurt, 120 Flugbewegungen in der Stunde) im Bereich Ost Radar zu erproben. Das Projekt S&M Simulationen bietet somit die Möglichkeit, Anteile von DFS Aktivitäten extern zu finanzieren.

Ausblick

S&M kann ohne große Veränderungen an der Bodeninfrastruktur durchgeführt werden. Wenige Änderungen im Bereich des Lotsen Display (Markierungsmöglichkeiten für delegierte Luftfahrzeuge dazugehörige „Rubberbands“) sowie an den Kontrollstreifen (Eintrag für ASAS-Ausrüstung) sind erforderlich. Sollte sich bei den Untersuchungen ein Kapazitätsgewinn durch die Einführung von S&M Verfahren für die DFS nachweisen lassen und bordseitig ein entsprechender Ausrüstungsgrad vorliegen, so könnten diese Vorteile mit relativ geringen Investitionen genutzt werden.

Abkürzungen

AAS	A irborne A pproach S pacing
ACC	A rea C ontrol C entre
ADS-B	A utomatic D ependant S urveillance - B roadcast
AFS	A dvanced F unction S imulator
AMAN	A rrival M anager
ASAS	A irborne S eparation A ssistance S ystem
ASPA	A irborne S urveillance A pplication
CDTI	C ockpit D isplay of T raffic I nformation
DMAN	D eparture M anager
E-TMA	E xtended T erminal M anoeuvring A rea
EACAC	E volutionary A ir-ground C o-operative A TM C oncept
EEC	E UROCONTROL E xperimental C entre
EVA	E xtended V isual A cquisition
NEAN	N orth E uropean A DS-B N etwork
NUP	N EAN U pdate P rogram
PO-ASAS	P inciples of O perations for the use of A irborne S eparation A ssurance S ystems
S&M	S equencing and M erging
TIS-B	T raffic I nformation S ervice – B roadcast
TMA	T erminal M anoeuvring A rea

² NUP EVA = Anwendung „Extended Visual Acquisition“ aus dem Projekt NUP

³ NUP AAS = Anwendung „Airborne Approach Spacing“ aus dem Projekt NUP

Referenzen

- [Casaux1995] Casaux, Francis: *"Airborne Separation Assistance System - The ASAS Concept"* SICAP/WG2, Sydney, Australia, 1995
- [DFS2003] *"DFS ATM Concept 2005 – 2015 Center"*, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen, Deutschland, 2003, Version 0.7
- [EURO2001] *"Principles of Operation for the Use of Airborne Separation Assurance Systems"* EUROCONTROL, Brussels, Belgium, 2001, PO-ASAS, Version 7.1
- [Grimaud2001] Grimaud, Isabelle; Hoffman, Eric; Zeghal, Karim: *"FREER Flight Evolutionary Air-ground Cooperative ATM Concepts (EACAC) - Procedures of delegation of separation from the controller to the flight crew"*, EUROCONTROL, EEC, Brétigny-sur-Orge, France, 2001
- [EURO2003a] *"EUROCONTROL Air Traffic Management Strategy for 2000+"*, EUROCONTROL, Brussels, Belgium, 2003, Edition 2003
- [EURO2003b] *"CoSpace 2002 Controller Experiment – Assessing the impact of spacing instructions in E-TMA and TMA"* EUROCONTROL, EEC, Brétigny-sur-Orge, France, 2003, EEC Report No. 386
- [EURO2004] *"CoSpace 2002 Flight Deck Experiment – Assessing the impact of spacing instructions from Cruise to Initial Approach"* EUROCONTROL, EEC, Brétigny-sur-Orge, France, 2004, EEC Report No. 388
- [EURO2002] *"CARE/ASAS Activity 5 Description of a first package of GS/AS applications"* EUROCONTROL, 2002, Version 2.2

Messungen mit dem Wind-Temperaturradar am Flughafen Frankfurt

Dr. Jens Konopka und Harald Fischer, TEA

Einleitung

Die DFS verfolgt bereits seit ihrer Gründung das Ziel, ein Wirbelschleppen-Warnsystem am Flughafen Frankfurt einzuführen. Der erste Versuch, eine Betriebserprobung durchzuführen, musste 1996 auf Grund von Bedenken seitens der Piloten als Endnutzer aufgegeben werden. Wesentlicher Kritikpunkt war die Beschränkung des Vorhersagebereichs auf die untersten 80 Höhenmeter. Im Falle von aufsteigenden Wirbelschleppen im Endanflug wäre dann kein ausreichender Sicherheitsabstand zwischen Wirbelschleppe und Luftfahrzeug mehr gewährleistet.

In Konsequenz wurde der DFS Bereich Forschung und Entwicklung mit der Konzeption und Realisierung der Gleitpfaderweiterung des Wirbelschleppen-Warnsystems beauftragt. Ziel der Arbeiten ist, die Gültigkeit der Nichtgefährdungsvorhersagen des WSWS bis in 1500 m Höhe über Grund auszudehnen.

Dieser Artikel gibt einen kurzen Abriss über das Konzept des Wirbelschleppen-Warnsystems und die Motivation für die Gleitpfaderweiterung.

Wesentlicher Bestandteil des Systems ist das Wind-Temperaturradar mit Radio Acoustic Sounding System, WTR/RASS, das kürzlich fertig gestellt worden ist. Einige Eigenschaften und erste Messergebnisse werden vorgestellt.

Bodennahe WSWS Konfiguration

Die bereits seit 1995 vorhandene und arbeitende Ausbaustufe des WSWS nutzt die zeitlich hoch aufgelösten Winddaten von zehn Ultraschallanemometern, die auf 15 m hohen Masten ca. 900 m vor den Landeswellen 25R und 25L montiert sind. Die Daten werden über Glasfaserleitungen in den Gestellraum am Tower Süd transportiert und dort von speziell für diesen Zweck entwickelten Algorithmen zu Windprognosen für einen Prognosehorizont von bis zu 20 Minuten weiterverarbeitet.

Im nächsten Schritt errechnet eine vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR, und der Industrieanlagen Betriebsgesellschaft

mbH, IABG, entwickelte Software den maximal zu erwartenden lateralen Versatz der Wirbelschleppe, der dann schließlich zu den sog. Nichtgefährdungszeiten führt, dem Endprodukt, das den Lotsen in der Anflugkontrolle und im Tower Frankfurt letztendlich zur Anzeigen gebracht werden soll.

Bei Bedarf können die Nichtgefährdungszeiten in eine Restflugstrecke auf dem Endanflug umgerechnet werden, auf der bei Anwendung der entsprechenden Verfahren nicht mit dem Auftreten von Wirbelschleppen gerechnet werden muss.

WSWS-Gleitpfaderweiterung

Für die Gleitpfaderweiterung muss dieses Konzept entlang des gesamten Endanflugs verallgemeinert werden, was insbesondere die routinemäßige Messung der relevanten meteorologischen Parameter Wind und Temperatur erfordert.

Diese Größen stellen wichtige Einflussparameter für die Verlagerung und den Zerfall von Wirbelschleppen dar. Umgekehrt bestimmen die Charakteristika der Wirbelschleppen die Auflösung und die Genauigkeit, mit der Wind und Temperatur gemessen werden sollten.

Insbesondere sind Wirbelschleppen im Vergleich zu den atmosphärischen Zeitskalen relativ kurzlebige Objekte mit Lebensdauern im Bereich um zwei Minuten. Daher müssen auch turbulente atmosphärische Phänomene detektiert werden, wenn sie die Wirbelschleppen in negativer Weise beeinträchtigen können.

Daher sind Wind und Temperaturdaten, die, wie in der Meteorologie üblich, über Zeiträume von 60 Minuten oder länger gemittelt sind, nicht belastbar genug. Es muss ausgeschlossen werden können, dass innerhalb des betrachteten Einstundenintervalls ein Zwei-Minutenzeitraum vorlag, in dem der Wind aus einer anderen Richtung und mit einer anderen Geschwindigkeit wehte, der eine einzelne Wirbelschleppe beispielsweise entgegen der mittleren Anströmung transportierte.

Zudem ist die Kenntnis des aktuellen Windes allein ebenfalls nicht hinreichend für einen operationellen Einsatz, da Staffelung nicht ad hoc erstellt werden kann bzw. Luftfahrzeuge nicht beliebig schnell in die TMA geführt werden können.

Um eine Planbarkeit des Verkehrsflusses zu gewährleisten, muss daher auch der Wind und damit die Wirbelwanderung in der Höhe vorhergesagt werden. Die MeteoSolutions GmbH hat im Auftrag der DFS eine entsprechende Software für diesen Zweck entwickelt, siehe TE im Fokus 1/03, S. 24, Wirbelschleppen-Warnsystem: Prognosealgorithmus für die Windvorhersage.

Anforderungen an das einzusetzende Equipment

Die Anforderungen, die für den operationellen Einsatz eines WWS erfüllt sein müssen, sind immens, wobei sich die Schwierigkeiten nicht aus einzelnen geforderten Systemeigenschaften ergeben, sondern aus den Anforderungen in ihrer Gesamtheit.

- Betrieb an einem stark frequentierten Flughafen, an dem verstärkt mit dem Auftreten von Festechos u.a. durch Luftfahrzeuge gerechnet werden muss,
- Unbemannter 24 Stunden Betrieb an 365 Tagen im Jahr,
- Hohe Datenverfügbarkeit unter allen Wetterbedingungen,
- Hohe räumliche und zeitliche Auflösung des Systems,
- Untere Messgrenze bei 80 m über Grund.

Verschiedene denkbare Fernerkundungsverfahren sowie die Nutzung meteorologischer Daten aus den Frankfurt anfliegenden Luftfahrzeugen wurden in der Konzeptionsphase betrachtet. Dabei kristallisierte sich ein Radarwindprofiler mit Radio Acoustic Sounding System als einzige Variante heraus, die alle diese Randbedingungen zu erfüllen prinzipiell im Stande ist.

Radarwindprofiler messen im sog. Clear Air Modus die Reflexion von Radarwellen an mikroturbulenten Strukturen in der Atmosphäre. Sie sind heute an einigen hundert Standorten weltweit im Einsatz und beginnen allmählich die routinemäßigen und personalintensiven Radiosondenaufstiege zu ersetzen.

Allerdings ist ein reiner Windprofiler herkömmlicher Bauart nicht in der Lage alle o.g. Anforderungen zu erfüllen. Insbesondere die Festechoproblematik bedingt bei diesem Gerätetyp eine untere Messhöhe, die oberhalb der 80 m angesiedelt ist. Ferner verhindern die Festechos der Flugzeuge häufig die Verwendung der sog. Clear Air Daten, da hierdurch das Windsignal zumindest in einem größeren Höhenband überlagert wird.

Das Wind-Temperaturradar am Flughafen Frankfurt

Im Juni 2001 wurde als Ergebnis einer europaweiten Ausschreibung die Scintec AG aus Tübingen mit der Lieferung des WTR/RASS beauftragt.

Das WTR/RASS befindet sich am westlichen Ende des Flughafen Frankfurt, dort wo die Okrifteiler Straße von der Untertunnelung der Startbahn 18W in einer Rechtskurve nach Norden hin abbiegt.



Abbildung 1: Messfeld auf dem Flughafen Frankfurt. Im Vordergrund der Messcontainer mit der EDV vor den akustischen Quellen und dem Radar innerhalb des Schallschutzauns. Im Hintergrund ist ein Abflug auf der Startbahn 18 zu sehen.

Die Radarantenne ist als „phased array“ aufgebaut, das es gestattet, die Einzelelemente zeilen- und spaltenweise anzusteuern, um eine Strahl-schwenkung in die vier Himmelsrichtungen zu ermöglichen. Das WTR/RASS wurde so errichtet, dass die Hauptstrahlrichtungen genau parallel und senkrecht zu den Landebahnen verlaufen.

Das WTR/RASS in Frankfurt arbeitet im Pulsbetrieb bei einer Frequenz von 1290 MHz entspre-

chend einer Wellenlänge von 23 cm. Ein Einzelpuls hat eine Länge von 330 ns bezogen auf die doppelte Standardabweichung eines gaußförmigen Pulses.

Einerseits sind lange Pulse wünschenswert, um mehr Energie abzustrahlen und die belegte Bandbreite gering zu halten, andererseits werden kurze Pulse für eine feine Höhenauflösung benötigt. Mit den verwendeten 330 ns Pulsen wird eine Höhenauflösung von $330 \text{ ns} \cdot c/2 \approx 50 \text{ m}$ erzielt.

Die Samplingrate im Empfangszweig und die Verarbeitung der Rohspektren zu meteorologisch nutzbarer Information lassen sogar 30 m Höhenauflösung zu, wobei benachbarte Höhenstufen nicht als statistisch unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen.

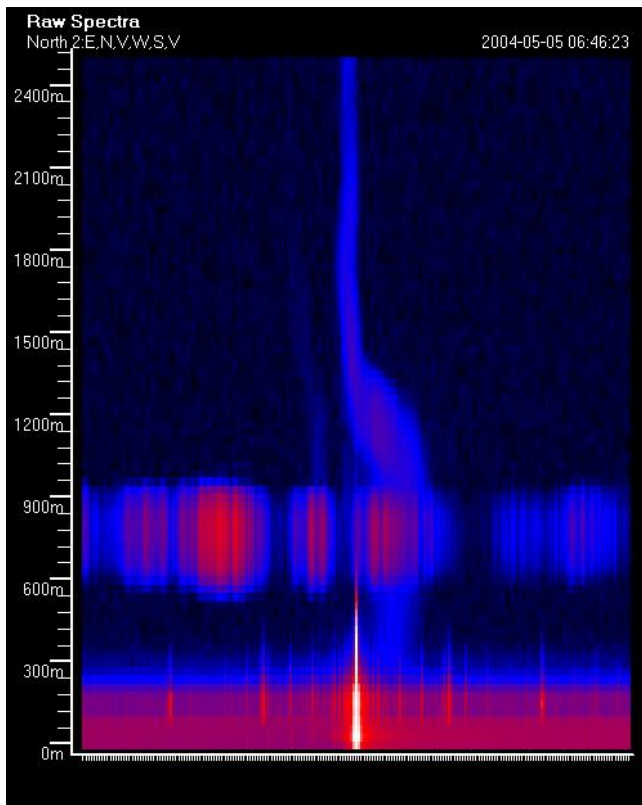


Abbildung 2: Clear Air Spektrum des Nordstrahls vom 05.05.2004.

Im Rohspektrum sind Rückstreuamplituden in der Frequenz-Laufzeit-Ebene aufgetragen. Das Frequenzdelta gegenüber der Betriebsfrequenz (Dopplerverschiebung) kann direkt in die Geschwindigkeit umgerechnet werden, mit der sich das Streuzentrum von dem Radar weg oder auf

das Radar zu bewegt. Die Laufzeit Δt vom Ausenden bis zum Empfang des Rückstreusignals entspricht gerade der doppelten Entfernung des streuenden Objekts vom Radar.

Abbildung 2 zeigt ein Clear Air Spektrum des Nordstrahls mit einigen typischen Phänomenen: Am unteren Rand sind einige Artefakte der Radarelektronik als rotes Band zu erkennen. In der Mitte findet sich der Strahl selbst bzw. Festechos von sich nicht bewegenden Objekten als weißer Strich. Diese Linie markiert auch den Nulldurchgang der Windgeschwindigkeit. Zwischen 600 und 900 m sind die Echos eines startenden Flugzeugs auszumachen. Darüber in 900-1400 m ist das Radarecho von Regen zu erkennen. Das Echo von sich auf das Radar zu bewegenden Objekten ist in dieser Darstellung rechts von der Nulllinie aufgetragen. Oberhalb von 1500 m stammt das Signal vom Wind selbst.

Das System in Frankfurt arbeitet mit sechs Strahlen, vier jeweils um $11,3^\circ$ gegen die Vertikale geneigte plus zwei nach oben gerichtete Strahlen. Durch zeilen- bzw. spaltenweise Ansteuerung lassen sich senkrecht zueinander stehende Strahlrichtungen realisieren. Die beiden nach oben gerichteten Strahlen unterscheiden sich hinsichtlich der Einspeisung der Hochfrequenz in die einzelnen Antennenelemente.

Werden die Einzelmessungen aus unterschiedlichen Richtungen miteinander kombiniert, so lassen sich die drei Windkomponenten und mit dem RASS-Verfahren, welches weiter unten erläutert wird, auch die Temperatur deduzieren.

Da die verschiedenen Strahlen zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Volumina durchdringen, unterliegt diese Analyse der Annahme, dass das Windfeld über dem Gerät horizontal homogen und zeitlich innerhalb eines Messzyklus konstant ist. Die sog. „Nord- und Südstrahlen“ laufen an der oberen Grenze des Messbereichs um ca. 600 m auseinander, die Einzelmessungen finden im Abstand von etwa einer Minute statt.

Die Messung wird z.B. dann verfälscht, wenn ein Strahl in eine Aufwindzone, der gegenüber liegende Strahl in eine Abwindzone hineinmisst.

RASS-Messverfahren

Ein Radarwindprofiler strahlt elektromagnetische Wellen im Dezimeterbereich ab und analysiert das von der Atmosphäre zurück gestreute und

Doppler verschobene Signal, das sehr nahe bei der Betriebsfrequenz liegt. Dabei muss eine Strahlungsleistung bereits knapp oberhalb des thermischen Rauschens detektierbar sein, so dass das System auch entsprechend sensibel auf externe Störungen reagiert.

Um diese Probleme zu umgehen, wird bei dem WTR/RASS in Frankfurt parallel ein zweites Messverfahren, das RASS-Verfahren angewendet. Dabei werden Schallwellen in die Atmosphäre gesendet. Die dadurch bedingten periodischen Dichteschwankungen stellen ein sich vom Radar mit näherungsweise Schallgeschwindigkeit weg bewegendes Reflexionsgitter für die elektromagnetischen Wellen dar. Das reflektierte Signal ist somit deutlich stärker gegenüber der Betriebsfrequenz des Radars Doppler verschoben, und die negativen Einflüsse durch Festechos können eliminiert werden.

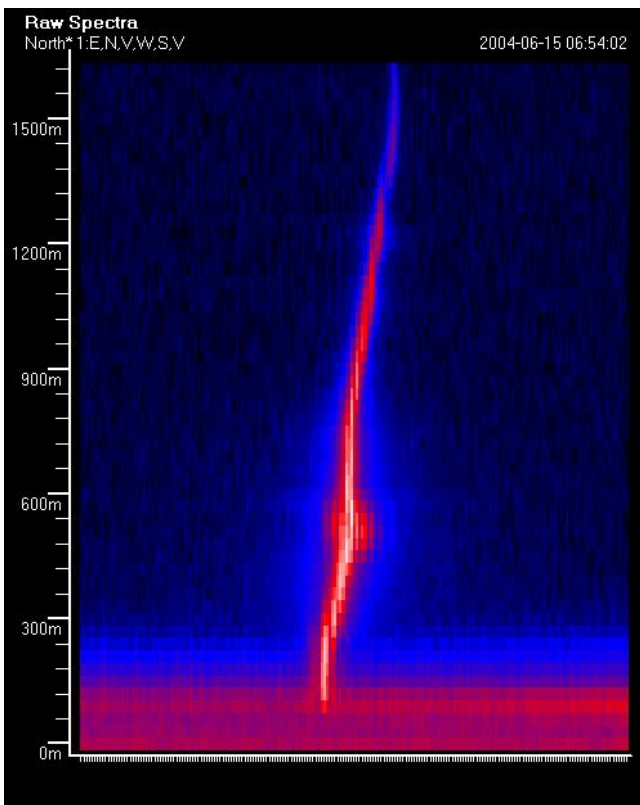


Abbildung 3: Rohspektrum des Nordstrahls aufgenommen am 15.06.2004.

Der Schall wird von akustischen Quellen generiert, die ebenfalls als sog. Phased Arrays aufgebaut sind und es erlauben, den Schall gebündelt in bestimmte Vorzugsrichtungen abzustrahlen.

Zwanzig dieser akustischen Quellen sind rund um die Radarantenne des WTR/RASS aufgebaut, wobei jede Quelle aus 1024 einzelnen Piezoelementen besteht.

Die Rückstreuung an den Schallwellenfronten erreicht dann ihr Maximum, wenn die Bragg-Bedingung erfüllt ist, d.h. die Wellenlänge der akustischen Wellen gerade halb so groß ist wie die der zu reflektierenden Radarwelle. Aus der Wahl der Radarfrequenz ergibt sich eine Schallfrequenz bei 3 kHz, d.h. in einem für das menschliche Empfinden sehr unangenehmen Bereich.

Deshalb und auf Grund der großen Schallleistung entsprechend 140 dBA in der Spitze ist das Areal der Radarantenne und der akustischen Quellen von einem Schallschutzzaun umgeben, um den seitlich ausgesendeten Schall abzu-dämpfen.

Da die Schallgeschwindigkeit allein von der Temperatur abhängig ist, kann mittels einer Messung der Schallgeschwindigkeit auch auf die Temperatur im Streuvolumen geschlossen werden. Die Temperatur wird dadurch förmlich hörbar, je höher die Temperatur desto höher der Ton des ausgesendeten Schallsignals.

Analog zum Clear Air Verfahren werden auch beim RASS sechs Strahlrichtungen verwendet, die dann entsprechend kombiniert neben den drei Windkomponenten noch die Temperatur in jeder Höhenstufe liefern.

Abbildung 3 zeigt das Ergebnis einer Einzelmessung des Nordstrahls. Auf der Abszisse ist die Frequenz aufgetragen, wobei abnehmende Frequenzen im Spektrum nach rechts aufgetragen sind. Die hier abgebildete Neigung der Reflexionsmaxima nach rechts ist typisch bei moderaten Windgeschwindigkeiten und hauptsächlich auf die Abnahme der Temperatur mit zunehmender Höhe zurückzuführen.

Das Rückstreumaximum lässt sich bis deutlich oberhalb von 1500 m verfolgen, ein Ergebnis, das bis vor Kurzem auch von Experten nicht erwartet wurde. Ursprünglich war der RASS Modus hauptsächlich für die unteren Messhöhen vorgesehen, dort wo Clear Air Messungen nur sehr selten ein befriedigendes Ergebnis liefern. Die ersten Erfahrungen zeigen jedoch bereits, dass das RASS oftmals auch in dem Höhenbereich oberhalb von 1000 m bessere Resultate liefert als das Clear Air Verfahren.

Welches Verfahren im Einzelfall das bessere ist, hängt von den äußeren Bedingungen Feuchte und Wind ab und lässt sich nicht a priori festlegen. Da das Frankfurter System – als einziges seiner Art – mit jeweils einem Radarstrahl sowohl die Clear Air als auch die RASS Information ermittelt, bestimmen die Signal-zu-Rausch Verhältnisse, wie die Resultate aus den beiden Modi kombiniert werden.

Erste Messergebnisse

Seit 27.05.2004 befindet sich das System im Dauereinsatz am Flughafen Frankfurt. Im Rahmen eines drei Monate andauernden Probebetriebs sollen die wesentlichen Charakteristiken des Geräts unter möglichst vielen unterschiedlichen Bedingungen getestet werden. Abbildung 4 zeigt exemplarisch Wind- und Temperaturprofile vom 3. Juni 2004.

Folgende Elemente sind in den Abbildungen zu finden. Sie werden an Hand des nachstehenden Beispiels vom 3. Juni 2004 erläutert:

- Stundenmittelwerte des Horizontalwindes werden in der Meteorologie üblichen Symbolik dargestellt. Bezüglich der Windrichtung entsprechen beispielsweise die

in der Legende angegebenen Winde jeweils einem Westwind, d.h. aus Westen kommend in Richtung Osten wehend. Die Windstärke in Knoten geht aus der Legende hervor.

- Bereiche, in denen Winddaten fehlen bzw. die Genauigkeit nicht ausreichend ist, sind mit einem (roten) Quadrat gekennzeichnet.
- Die von unten nach oben durchgehenden (blauen) Linien können lediglich einen qualitativen Eindruck des Temperaturprofils liefern. Erkennbar ist jedoch die Abnahme der Temperatur mit der Höhe, die z.B. im ersten Profil ganz links (entsprechend dem Zeitraum zwischen 00 und 01 Uhr UTC) um ca. 10 K auf 1500 m abnimmt.

Der Übersichtlichkeit halber zeigt Abbildung 4 lediglich Stundenmittelwerte, die zudem noch über mehrere Höhenstufen gemittelt wurden. Derartige Windprofile werden täglich aktualisiert im Intranet der DFS unter

http://forschungszentrum.lgn.dfs.local/TE_Documents/pd/WSWS/wtr_profil.pdf präsentiert.

WTR/RASS Flughafen Frankfurt am Main

Horizontalwind- und Temperaturprofile vom 2004-06-03

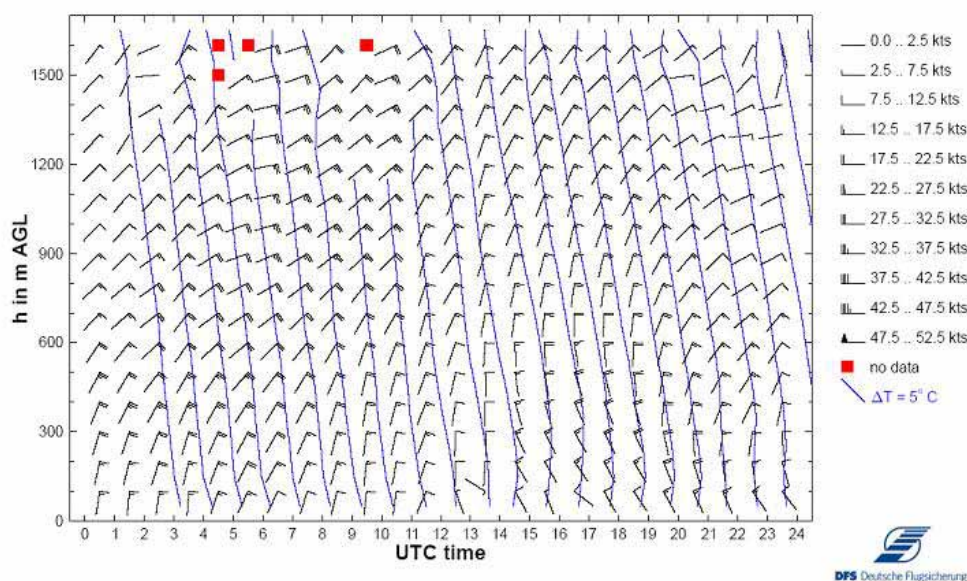


Abbildung 4: Horizontalwind- und Temperaturprofile vom 03.06.2004

Ein Stundenmittelwert kann auch dann noch relativ zuverlässig abgeschätzt werden, wenn einzelne Messwerte nicht unseren hohen Qualitätsanforderungen genügen. Für die Funktionalität eines WSWS ist jedoch die Verfügbarkeit der hoch aufgelösten Information relevant. Diesbezügliche Kennzahlen sind in einer weiteren Abbildung aufbereitet. Abbildung 5 zeigt ein solches Beispiel für denselben Tag.

Schließlich wird als weiteres Kriterium für die Genauigkeit der Messdaten noch das Profil des über den gesamten Tag gemittelten Vertikalwinds dargestellt. Diese Messgröße sollte in der Regel nur gering um 0 m/s schwanken.

Abbildung 6 schließlich illustriert die Erfordernis, Messwerte mit einer höheren zeitlichen Auflösung zu betrachten: Während die Stundenmittel-

werte lediglich eine geringe Variabilität der Horizontalwinde zwischen 13:00 und 17:00 Uhr UTC

WTR/RASS Flughafen Frankfurt am Main
Datenverfügbarkeit (hohe Auflösung) vom 2004-06-03

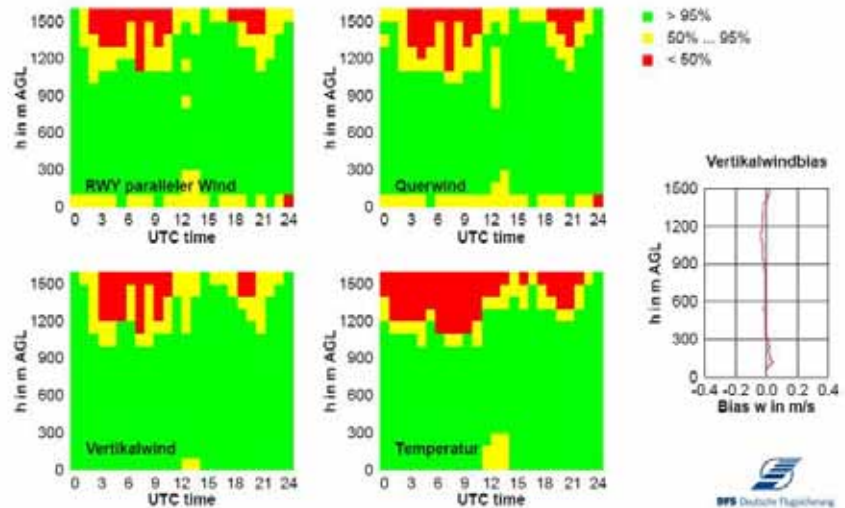


Abbildung 5: WTR/RASS Datenverfügbarkeit und Vertikalwindbias vom 03.06.2004

zeigen, ergibt die Analyse der einzelnen Messdaten ein anderes Bild. Fluktuationen mit Perioden von wenigen Minuten überlagern den mittleren Wind.

WTR/RASS Flughafen Frankfurt am Main
Horizontalwindprofile vom 2004-06-03 14:00

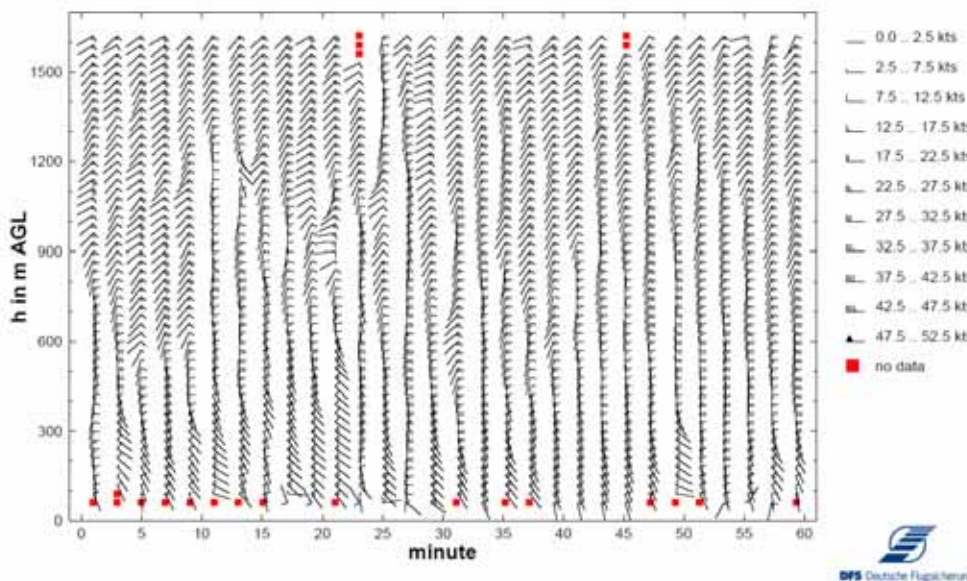


Abbildung 6: Zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Horizontalwindprofile vom 03.06.2004 14:00-15:00 Uhr UTC.

Diese Beobachtung bestätigt im Nachhinein nochmals die hohen Anforderungen und den hohen Aufwand der auf Seiten des Herstellers, aber auch auf Seiten der DFS in die Entwicklung des WTR/RASS geflossen ist.

Nur wenn auch derartige transiente Phänomene messtechnisch sauber erfasst werden, können belastbare Aussagen über das zu erwartende Verhalten der Wirbelschleppen getroffen werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem WTR/RASS am Flughafen Frankfurt ist zum ersten Mal ein System in Betrieb genommen worden, dass eine routinemäßige, zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Vermessung der atmosphärischen Grenzschicht ermöglicht.

Die Algorithmen zur Weiterverarbeitung der Messdaten zu Wind- und Wirbelschleppenverlagerungsprognosen sind ebenfalls fertig gestellt. Derzeit werden alle Komponenten auf ihre Robustheit und Zuverlässigkeit hin geprüft. Insbesondere soll das WTR/RASS seine Einsetzbarkeit unter Alltagsbedingungen im Rahmen eines dreimonatigen Probetriebs unter Beweis stellen.

In der zweiten Jahreshälfte 2004 wird mit dem dann zur Verfügung stehenden Datenmaterial auch die spannende und entscheidende Frage nach dem Umfang der betrieblichen Nutzbarkeit des Wirbelschleppen-Warnsystems beantwortet werden.



Impressum

TE im Fokus - Informationen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH.

TE im Fokus erscheint in der Regel halbjährlich. Dieser Bericht ist elektronisch (und in Farbe) im Internet (www.dfs.de, Bereich ATM Information, Forschung & Entwicklung) sowie über das DFS Intranet, Dokumentationsbereich im F&E Portal (<http://forschungszentrum.lgn.dfs.local>) verfügbar. 70 Exemplare werden in gedruckter Form aufgelegt.

Herausgeber: Bereich Forschung und Entwicklung, TE
DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
Am DFS-Campus 5
63225 Langen

Redaktion: Dr. Andreas Herber (andreas.herber@dfs.de),
Dr. Thomas Bierwagen (thomas.bierwagen@dfs.de),

Sekretariat: Petra Schuster (petra.schuster@dfs.de)
DFS Deutsche Flugsicherung
Telefon: 06103-707-5751
Telefax: 06103-707-5741

COPYRIGHT

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH unzulässig und wird zivil- und strafrechtlich verfolgt. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Copyright © 2004 by DFS Deutsche Flugsicherung GmbH - Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere für den Fall der Patenterteilung oder GM-Eintrag.