



1/06

25. Juli 2006

ISSN 1861-6364
(Printversion)

ISSN 1861-6372
(Internet-Version)

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

In dieser Ausgabe:

- Aktivitäten des Bereichs F&E im Jahr 2005
- CORAL Version 2 - A/D Converter, Recorder and Analyzer
- Methodik zur experimentellen Bestimmung des Kapazitätssteigerungspotenzials neuer ATM Systeme
- Erfahrungen aus den europäischen Projekten C-ATM und Gate-to-Gate
- Erste Realzeitsimulation im Projekt MSP-D/L



DFS Deutsche Flugsicherung

Inhalt

Dr. Volker Heil, Dr. Andreas Herber

Aktivitäten des Bereichs F&E im Jahr 2005 2

Harald Fischer

CORAL Version 2 - A/D Converter, Recorder and Analyzer..... 7

Dr. Thomas Bierwagen, Dr. Andreas Tautz

**Methodik zur experimentellen Bestimmung des Kapazitätssteigerungspotenzials
neuer Air Traffic Management Systeme 12**

Dr. Matthias Poppe

Erfahrungen aus den europäischen Projekten C-ATM und Gate-to-Gate 23

Stephan Herr, Dr. Andreas Herber

Erste Realzeitsimulation im Projekt MSP-D/L 27

Impressum..... 34

Druckdatum dieser Ausgabe: 25. Juli 2006



Der Bereich F&E der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
ist nach DIN EN ISO 9001:2000 zertifiziert.

Ende Mai 2006 fand die dreitägige Auditierung des seit Ende Januar 2006 in Kraft gesetzten Managementsystems des Bereichs Forschung und Entwicklung durch die DQS statt. Dabei wurden weder Abweichungen festgestellt noch ein Maßnahmenplan erhoben. Inzwischen liegt das Zertifikat der DQS vor und der Bereich ist damit offiziell zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2000.

Aktivitäten des Bereichs F&E im Jahr 2005

Dr. Volker Heil, Dr. Andreas Herber et al.

Einleitung

In bekannter Weise werden in den folgenden Abschnitten die Tätigkeiten des Bereichs Forschung & Entwicklung im Jahr 2005 aufgeführt. Diese Sammlung bildete die Basis für den Jahresrückblick des Bereichs Technik der DFS, findet sich jedoch dort nur in deutlich gekürzter Form. Eine detaillierte Auflistung findet sich im Jahresbericht TE im F&E-Portal (MB-2005-12)

WSWS (Wirbelschleppen-Warnsystem)

Die Endabnahme für das Wind-Temperaturradar mit Radio Acoustic Sounding System, WTR/RASS, als zentrale Komponente des Wirbelschleppen-Warnsystem, WSWS, wurde ausgesprochen, nachdem seine Messdaten in einer dedizierten Messkampagne mit denen eines LIDARS (Laser basiertes Verfahren zur Messung von Windgeschwindigkeiten über größere Distanzen) validiert worden sind.

Damit wurde aber auch bestätigt, dass das WSWS als solches wegen zu geringem Kapazitätsgewinn betrieblich nicht sinnvoll genutzt werden kann.

Technisch und funktional ist das System dagegen ein voller Erfolg. Es gibt weltweit kein vergleichbar gutes Messsystem für Wind und Temperatur bis zu 1500 m Höhe. Das Projekt WSWS wurde in 2005 beendet. Dennoch ist ein Weiterbetrieb der Anlagen sinnvoll. Der mittlerweile verfügbare Datensatz bildet eine wertvolle Grundlage für weiter gehende Untersuchungen zum Einfluss meteorologischer Faktoren auf den Luftverkehr. So wurden beispielsweise WTR/RASS Daten für Untersuchungen der BFU mit herangezogen und die Daten sind online unter www.metoffice.com/research/interproj/cwinde/... profiler/ verfügbar.

Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS)

A-SMGCS war in 2005 wie auch in den Vorjahren zweites Schwerpunktthema im Bereich Airport-Area. Neben der Fortsetzung seiner Mitar-

beit im EU-Förderprojekt EMMA führte der Bereich TE die DFS-interne Prämissenkontrolle zur Ausstattung deutscher Flughäfen mit A-SMGCS-Komponenten fort.

Projekt ADAM

Die Arbeiten am Projekt ADAM (Advanced Display Assessment and Validation Measurements) wurden nach dem erfolgreichen Abschluss der ersten Simulationsserie Ende 2004 nach Plan fortgesetzt. Im 1. Quartal 2005 wurde mit Unterstützung der örtlichen Technik ein Simulationssystem KARLDAP am Standort Karlsruhe aufgebaut. Auf diesem System konnte im 2. Quartal 2005 die Referenzmessung am KARLDAP System im vollen Umfang durchgeführt werden. Nach Abschluss der Arbeiten wurden die vorhandenen Daten ausgewertet und die Ergebnisse dokumentiert. Eine umfangreiche und intensive Diskussion der Ergebnisse im Management wurde initiiert. Anschließend wurde das Projekt ADAM planmäßig zum 31. Oktober 2005 abgeschlossen. Damit ist es gelungen, weltweit erstmalig einen statistisch hoch signifikanten Vergleich eines existierenden mit einem zukünftigen System (hier früher Entwicklungsstand von VAFORIT) durchzuführen. Solche Vergleiche sind in Zukunft bei Bedarf auch für andere Systeme möglich, sollten wegen des hohen Aufwands jedoch auf größere Systemveränderungen beschränkt bleiben.

Unterstützungsleistungen für das Programm VAFORIT

Wie in den Vorjahren hatte auch im Jahr 2005 die Unterstützung des Programms VAFORIT des GB CC auf allen Ebenen hohe Priorität. Die Zusammenarbeit zu dessen Projekten EVA, VA-FDPS und VATCAS konnten im Jahr 2005 abgeschlossen werden, auf Gesamtsystemebene erfolgten Arbeiten in folgenden Bereichen:

- In Fortführung der Zusammenarbeit mit der Niederlassung Karlsruhe bezüglich zukünftiger Arbeitsverfahren im Karlsruhe UAC mit

VAFORIT wurden im Jahr 2005 die vorbereitenden Arbeiten für Realzeitsimulationen zur Validierung der zukünftigen Sektor- und Routenstruktur durchgeführt.

- Im Projekt „Advanced Display Assessment and Validation Measurements“ (ADAM) führte der Bereich TE umfangreiche Realzeitsimulationen in Verbindung mit einer Beobachtungsstudie im laufenden Betrieb am heutigen System durch
- Mit der Vorbereitung der Inbetriebnahme des P1/VAFORIT Systems hat auch die Niederlassung Karlsruhe Bedarf für die Familie der SimSys-Systeme gehabt. Im Jahr 2005 wurde von TE erstmalig eine wesentlich weitergehende Infrastruktur aufgebaut, die so verschiedene Anwendungen wie technische Tests, betriebliche Tests, Familiarisation und Schulung des Betriebspersonals erlaubt.

Projekt MSP D/L (Multi Sector Planner und Data Link)

Der Projektantrag wurde im Februar 2005 genehmigt. Folgende Arbeitspakete wurden in 2005 planmäßig abgeschlossen:

- Erstellung funktionaler Anforderungen an die Simulationsplattform zur Durchführung der geplanten Realzeitsimulationen.
- Durchführung einer TAAM Schnellzeitsimulation (mit LDM/FS). Die Ergebnisse werden gemeinsam mit den Ergebnissen der ersten Realzeitsimulation ausgewertet.
- Erarbeitung der zu validierenden zukünftigen Sektor- und Routenstruktur (mit VAFORIT in Karlsruhe) unter Federführung der NL Karlsruhe.
- Durchführung von vorbereitenden Maßnahmen zur ersten Realzeitsimulation im März 2006.

Unterstützung von CNS-Projekten

- Multilateration: Die DFS (Bereich CNS) hat gemeinsam mit den Partnerorganisationen Austrocontrol (Österreich) und Skyguide (Schweiz) das Projekt CEWAM (Central European Wide Area Multilateration) begonnen. Ziel ist ein kostengünstiger Einsatz von Multilateration für die Luftraumüberwachung. In 2005

wurden in mehreren Workshops ein gemeinsames Verständnis erarbeitet und die gemeinsamen Ziele festgelegt. CNS wurde hierbei von TE unterstützt.

- FSCL 2007+ (Future SSR Channel Load): Untersuchungen zu ACAS und Ext. Squitter, sowie die Analyse und Bewertung von Änderungsvorschlägen, wurden wie vereinbart begonnen. Dabei lag der Schwerpunkt der Analysen bisher auf der Bewertung von Änderungsvorschlägen zu ACAS. Für diesen Themenbereich wurden folgende Berichte in 2005 erstellt:

- Alternative Implementierung Interference Limiting (IL) Procedures
- IL Change for ACAS above 9500ft
- Einfluss falscher NTA counts

Zusätzlich wurde der Einfluss einer Dynamisierung des Untersuchungsmodells bei der ESG geprüft und dokumentiert.

Weiterhin wurden TIS/TIS-B Untersuchungen vorbereitet, so dass zeitgerecht Anfang 2006 Ergebnisse für das von Eurocontrol geförderte Cristal-Projekt zur Verfügung gestellt werden konnten. Ebenso ist mit Vorbereitungen für spezielle, von CNS gewünschte Untersuchungen (PAM, Ausfall Clustercontroller) begonnen worden.

- RFM (Radio Field Monitor): Die Arbeiten wurden gemäß Anforderung durch den Projektleiter weitergeführt.

Trackerevaluierungen

Mit Trackerevaluierungen wurden auch in 2005 verschiedene Projekte innerhalb der DFS unterstützt. Ein optimiertes P1/ATCAS wurde für die „Verlagerung Frankfurt APP in das Center Langen“ erfolgreich validiert. Mit erweiterten Auswertungen konnten die Vorteile der speziell an Approach-Anwendungen angepassten Verarbeitung nachgewiesen werden. Im Nachgang wird über die Einbindung von evaluierungsähnlichen Monte-Carlo-Simulationen in Routinetests diskutiert.

Einen weiteren Schwerpunkt bildete 2005 die Überprüfung der ATM-Systeme auf Eignung für Mode S. Nach Unterstützung bei Planung und Abstimmung wurde ein erster vollständiger Testlauf mit P1/ATCAS durchgeführt. Für TracView gab es einen Vortest.

VATCAS wurde außerplanmäßig einer Nachuntersuchung unterzogen. Zusätzlich wurde die Untersuchung von ARTAS hinsichtlich der Eignung im DFS-Umfeld abgestimmt und beauftragt und ein erster Vortest im Dezember durchgeführt.

ACAS Kompetenzteam

Das plötzliche Steigen eines Flugzeuges im Karlsruher Luftraum wurde untersucht. Aus den Simulationen mit aufgezeichneten Radardaten konnten keine Anhaltspunkte für dieses Verhalten ermittelt werden. Der Vorfall wird von der BFU untersucht.

ADS-B Empfänger SBS-1

Seit Mitte September 2005 ist eine „low cost“ ADS-B-Empfangsstation "SBS-1" im CNS-Labor des Bereiches TE "installiert". Der SBS-1 ADS-B Empfänger ist netzunabhängig und mobil einsetzbar. Die Arbeiten von TE wurden innerhalb der DFS bekannt gemacht und inzwischen wurde das System auch Vertretern des GB CC vorgeführt. Weitere Informationen zum SBS-1 finden sich im DFS Intranet und im TE-Portal.

Projekte mit externer finanzieller Unterstützung

Insgesamt hat der Bereich Forschung und Entwicklung mit seinem knapp 50-köpfigen Team im Jahr 2005 wieder rund 1 Mio. € aus Förderprojekten „erwirtschaftet“ und vollfinanzierte Unteraufträge für die DFS Consulting in Höhe von 4 Personenjahren übernommen:

Im Projekt EMMA sind alle Vorbereitungen dazu getroffen worden, Anfang 2006 den Benefit von A-SMGCS Level 1+2 (Zuwachs an Sicherheit und Effektivität) in realen Verkehrsabläufen an den Flughäfen Prag, Mailand und Toulouse durch Meßreihen nachzuweisen. Dazu sind A-SMGCS Level 1+2 installiert worden, die Lotsen an den neuen Systemen geschult und die erforderlichen Betriebsverfahren erarbeitet und veröffentlicht worden. Die DFS (TE und GB TWR) hat sich dabei insbesondere an der Erarbeitung der konzeptionellen Arbeiten zum A-SMGCS (Nutzung, Testkonzepte, Testdurchführung) beteiligt; 2006 wird sie schwerpunktmäßig an der Analyse und Bewertung der Tests mitarbeiten.

Im Rahmen des Projektes NEAN Update Programme Phase 2 (NUP2) hat die DFS im Jahr 2005 die Anwendung „Airborne Approach Spacing (AAS)“ untersucht. Deren Ziel ist die Nutzung einer zukünftigen automatischen Spacing-Funktionalität in ADS-B-ausgerüsteten Flugzeugen für den Anflug auf einen Flughafen. Die DFS untersuchte speziell eine mögliche Nutzung der AAS-Anwendung für den Frankfurter Approach durch eine Realzeitsimulation.

Ziel des Projekts CRISTAL TIS-B (bei Eurocontrol auch CRISTAL Germany genannt) ist die Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten eines Traffic Information Service Broadcast (TIS-B)-Systems sowohl für die Allgemeine Luftfahrt als auch für die kommerzielle Luftfahrt. Hierzu soll eine ADS-B/TIS-B-Bodenstation basierend auf der Datenlink-Technologie 1090 Extended Squitter in die bereits im DFS-Forschungszentrum bestehende Experimentalinfrastruktur integriert werden. Im Rahmen der ersten Projektphase erfolgte der Aufbau eines TIS-B-Experimentalsystems basierend auf der Technologie 1090 MHz Extended Squitter.

Im Projekt Gate-to-Gate wurden die Validierungsarbeiten mit Schnellzeit- und Realzeitsimulationen fortgesetzt. Das Projektende wurde auf Oktober 2006 verschoben. Das operationelle Konzept des Projektes Co-operative Air Traffic Management (C-ATM) wurde einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt und wird als wichtiger Beitrag zu SESAR (Single European Sky ATM Research) angesehen. Eckpfeiler sind 4D Trajektorienmanagement, Collaborative Decision Making und Airborne Separation Assistance Systems. Außerdem wurde die Ausschreibung für das Projekt Super-Highway gewonnen, welches ein innovatives langfristiges ATM-Konzept entwickelt.

Im Rahmen von K-ATM wurde der prototypisch auf Frankfurt angepasste Departure Manager der Firma Delair (darts) im Rahmen von Realzeitsimulationen im Tower-Simulator bewertet. Dabei wurde eine Simulationsumgebung realisiert, in der erstmals die wechselseitigen Abhängigkeiten der Arbeitsabläufe von Tower und Apron in einer Simulation integriert untersucht werden konnten. Die Ergebnisse der Bewertung flossen in das von Fraport geführte DMAN Projekt zur Entwicklung eines operationell nutzbaren Departure Managers ein.

Zur Bewertung einer integrierten Planung von Arrivals und Departures über die Kopplung von Arrival- und Departure Manager wurde durch die Verbindung und Erweiterung von AFS und TOSIM eine Simulationsplattform für Realzeitsimulationen entwickelt, die Arbeitsplätze von Center, Approach, Tower und Apron integriert. Eine erste Version des gekoppelten Prototypen von 4D-Planer und darts konnte nach einer Reihe von funktionalen Tests bereits in Realzeitsimulationen von Lotsen aus dem operativen Dienst erprobt werden. In 2006 soll der Prototyp weiterentwickelt und kontinuierlich in Realzeitsimulationen bewertet werden.

Mit dem CLOU-Prototyp (Cooperative Local Resource Planner) wurde vom DLR im Auftrag der DFS die erste Version eines kooperativen Planungssystems realisiert und bei der DFS einer Reihe von Funktionstests unterzogen. Der CLOU stellt eine Reihe von Kenngrößen zur Verfügung, mit der die prognostizierte Situation gleichzeitig für die verschiedenen Stakeholder bewertbar wird. So werden beispielsweise Kenngrößen für den erwarteten Delay (ATC) den Durchsatz (Airport) und die Pünktlichkeit (Airline) generiert. In 2006 sollen die Prognosen des CLOU-Prototypen anhand verschiedener typischer Szenarien bewertet und anschließend die Funktionalität weiterentwickelt werden.

Das Projekt SAMSON (Surveillance mit ADS-B und Multilateration am Standort Flughafen Nürnberg) untersucht Möglichkeiten zur preiswerten Ausrüstung von kleinen und mittleren Flughäfen mit ADS-B und Multilateration zur Überwachung der Flughafen-Bewegungsflächen. Basistechnologie ist ADS-B mit Mode S Extended Squitter (1090ES), welche sukzessive, nach Möglichkeit bis zu Multilateration, erweitert werden soll. Phase 1 (Infrastrukturanalyse) ist abgeschlossen. Phase 2 (Multi-Sensor ADS-B System) wird derzeit durchgeführt. Das System ist in Nürnberg installiert und wird Anfang 2006 mit Schwerpunkt Technik untersucht. Danach erfolgt eine betriebliche Begutachtung durch FNG und DFS bis Ende Phase 2 (geplantes Ende ist Mitte 2006).

Auch in 2005 unterstützte TE den GB Consulting bei der Durchführung von vollständig extern finanzierten Projekten, u.a. DTOP Simulation (Echtzeit-Simulation „Dual Threshold Operations am Flughafen Frankfurt am Main“), WASLA/HALE III (Entwicklung der Betriebsverfahren für den Euro Hawk als zukünftige Nutzer-

gruppe am Luftverkehr), Realzeitsimulationen (Sequencing & Merging Simulationen) zum Thema Sequencing & Merging Verfahren (ASAS Package 1) die im realen Frankfurter Luftraum mit realen Verkehrsbeispielen. Für das Eurocontrol CASCADE Programm wurden die Arbeiten in 2005 weitgehend abgeschlossen, Restarbeiten werden aber notwendig, da Eurocontrol für eine Teilaufgabe die vereinbarte Zuarbeit erst in im Februar 2006 leistet.

Die Untersuchungen zur Kompatibilität eines militärischen TCAS wurden in enger Abstimmung fristgerecht und zur vollen Zufriedenheit des Kunden (ACSS, USA) abgewickelt.

Trackeruntersuchungen zu Funktion und Leistungsfähigkeit des von RNLAf beschaffte AutoTrac II-System konnten fristgerecht bis Ende März abgearbeitet werden.

ATM Simulator-Zentrum

a) AFS Inbetriebhaltung und Nutzung

Der Advanced Function Simulator AFS wurde im Jahr 2005 ca. 1600h für Simulationen genutzt. Dies entspricht einer Auslastung von über 80% bezogen auf einen normalen Arbeitstag (7,7h). Nutzungsschwerpunkte waren Gate-to-Gate und K-ATM im Sinne von Förder- und Forschungsprojekten, VAFORIT seitens des Geschäftsbereichs Centers und 2 FVK Lehrgänge für die Akademie. Im TE-Gebäude wurde ein P1/ATCAS-System aufgebaut und mit dem AFS integriert. Dieses Simulationssystem wurde unter der Federführung der Akademie verwendet, um die Einweisung des Berliner Betriebspersonals in das zukünftige P1-München durchzuführen.

Die Simulationssoftware wurde im Rahmen des Produktmanagements betreut und bedarfsgerecht weiterentwickelt, insbesondere wurden wichtige Anpassungen und Verbesserungen für VAFORIT und P1-München vorgenommen.

Im Rahmen einer AFS-NEWSIM Software-Zusammenführung und Vereinheitlichung wurden mehrere „harmonisierte ATCoach-Release“ der Fa. UFA Inc. installiert und erfolgreich angenommen. Die Simulationen für K-ATM sind auf der Basis eines harmonisierten Releases durchgeführt worden. Dabei wurde die erste Phase der Kopplung des AFS mit dem Towersimulator ToSim der Akademie im Herbst 2005 erfolgreich abgeschlossen.

b) NEWSIM

- NEWSIM wurde am 20. Juni 2005 in der Niederlassung Karlsruhe in Betrieb genommen. Der NEWSIM wurde vor seiner nun erfolgten Inbetriebnahme seit Beginn dieses Jahres als Teil des Simulationssystems SimSys-KARLDAP verwendet, um damit ADAM Simulationen absolvieren zu können. Nachdem diese erfolgreich verlaufen sind, konnte der NEWSIM wieder zurückgebaut werden und kommt nun seiner eigentlichen Aufgabe als Trainingssimulator nach.
- Der NEWSIM Bremen ist am 24. Juni 2005 in Betrieb gegangen. Damit sind alle dezentralen NEWSIM-Installationen komplett. Die ersten Trainingsruns zur „Restrukturierung der Bremen FIR“ fanden im unmittelbaren Anschluss statt.

c) Simsys

- Am 22. April 2005 wurde das in der Niederlassung Mitte entwickelte Simulatorsystem (Simsys) offiziell an die zukünftigen Nutzer in Langen übergeben. Mit der Kopplung des Advanced Functions Simulator (AFS) mit dem Local Support System Frankfurt (LSS) wurde ein Simulatorsystem mit einem realen P1-System realisiert. Simulierte Funkverbindungen zwischen den sechs Simulationspilotenarbeitsplätzen und den sechs P1/ATCAS Lotsenarbeitsplätzen werden über Voice over IP möglich. Die technische Umsetzung vom Bereich Forschung und Entwicklung wurde bereits im Dezember 2004 abgeschlossen, im Februar 2005 fand die betriebliche Abnahme statt. Nutzen für die Niederlassung: Seit März 2005 wird das System zur Erstellung von Schulungsszenarien genutzt. Bis November 2005 wurde das Betriebspersonal Frankfurt Approach in das System P1/ATCAS in Langen eingewiesen. Im Dezember 2005 fand die Verlagerung der Betriebsstätte vom Frankfurt Tower zur Niederlassung Langen statt.
- Im Center Karlsruhe wurde ein Simulationssystem für das künftige operationelle ATM-System P1/VAFORIT eingerichtet. Damit kann das Betriebspersonal Karlsruhe nun in das neue papierstreifenlose System eingewiesen werden. Der Simulator wurde von TE bereitgestellt und

versorgt das P1/VAFORIT-System mit Radar-, AFTN- und OLDI-Daten. Die Integrationsarbeiten an dem Simulationssystem (SimSys VAFORIT) wurden am 3. Juni 2005 erfolgreich abgeschlossen. VAFORIT und das Projekt Vati-K können das Simulatorsystem nun nutzen. Neben Bremen und Langen besitzt mit dem SimSys VAFORIT jetzt eine weitere Niederlassung der DFS ein Simulationssystem als Treiber eines operationellen ATM-Systems.

- Der AFS im TE-Gebäude wurde um ein P1/ATCAS-System (SimSys München bei TE) erweitert. Mit dem entstandenen SimSys wurde das Betriebspersonal Berlin/Süd seit Ende Oktober 2005 in das P1/ATCAS-System eingewiesen.
- Im Center Karlsruhe wurde für das Projekt ADAM ein Simulationssystem geschaffen, das den AFS mit dem ATC-System Karldap integriert. Damit konnte Karldap mit allen notwendigen externen Daten versorgt werden.

d) Projekt ESA [Europäische Standardisierung des AFS]

Das Projekt ESA startete Anfang des Jahres 2005 mit der Konzeptionsphase. Im Rahmen der Konzeptionsphase wurden mehrere Lösungsansätze erarbeitet und bewertet. Durch die zeitlichen und technischen Randbedingungen wurde für die Durchführung des Projektes ein zweistufiger Ansatz gewählt.

- In der ersten Stufe soll der Advanced Function Simulator (AFS) die „AVENUE Compliancy“ (europäischer Quasi-Standard für ATM-Experimental- und Validierungsplattformen) erreichen.
- In der zweiten Stufe des Projektes ESA soll eine Interoperabilitätsschnittstelle für die Center-Center-Kommunikation am AFS eingerichtet werden, mit deren Hilfe die Validierung des zukünftigen Center Systems Core P1/iTEC unterstützt werden kann.

Ende 2005 wurde eine Qualifizierungsmaßnahme für TE-Mitarbeiter im Bereich der Middleware CORBA (Common Object Rquest Broker Architecture) durchgeführt.

CORAL Version 2

A/D Converter, Recorder and Analyzer

Harald Fischer, TEA

Einleitung

Im Jahr 2000 hat der Bereich TEA das System A/D Converter, Recorder and Analyzer (CORAL) in Betrieb genommen. Mit dem System CORAL ist es möglich, die auf den Radarkanälen 1030MHz und 1090MHz übertragenen Signale ohne Verlust aufzuzeichnen und offline zu analysieren. Eine detaillierte Leistungsbeschreibung des Systems findet sich in der Ausgabe 1/2001 von TE im Fokus.

Mit dem Analyseteil der CORAL Version 1 war es möglich, aufgezeichnete Daten ähnlich einem Oszilloskop darzustellen und auszuwerten. Eine automatisierte Auswertung wurde nur rudimentär unterstützt. So war es zwar möglich, das Signal automatisch nach Pulsamplituden zu durchsuchen und bestimmte Zeitabschnitte der Aufzeichnung darstellen zu lassen. Weitere Analysen mussten dagegen entweder manuell oder durch externe Softwarepakete realisiert werden.

Seit 2001 unterstützt TEA den DFS Bereich CNS bei der Realisierung eines Funkfeldmonitors (Radio Field Monitor – RFM). Eine grundlegende Funktion des Funkfeldmonitors ist die Aufzeichnung und automatische Analyse der Radarfrequenzen 1030MHz und 1090MHz. Da durch CORAL bereits ein System vorhanden ist, das Teile der gestellten Anforderungen erfüllte, lag es nahe, auf Basis des Grundsystems folgende Erweiterungen einzuführen.

Erweiterte Funktionalitäten von CORAL Version 2

- Abtastung, Quantisierung und Speicherung von Videosignalen
- Konfigurierbare Abtastrate (10, 16, 20MHz)
- Konfigurierbare Quantisierung (8, 10, 12Bit)
- Eingangsimpedanz des Aufzeichnungssystems wählbar (50Ω und 1MΩ)
- Unterbrechungsfreie Aufzeichnung von 6 Stunden Dauer

- Flugzeugtaugliches Aufzeichnungssystem (Spannungsversorgung)
- Fernbedienbarkeit von Aufzeichnungs- und Auswertesystem
- Online Oszilloskop
- IO-Prozessor Schnittstelle
- Kalibrierung des Analysesystems
- Parametrierbarer Pulsdetektor
- Automatische Signalanalyse auf Puls- und Signalbasis
- Rollenbezogener Funktionsumfang

Das Aufzeichnungssystem

Das Aufzeichnungssystem bietet gegenüber der ersten Version eine Vielzahl neuer Möglichkeiten. Die eingesetzte Wandlerkarte zur Digitalisierung des analogen Eingangssignals bietet eine Eingangsimpedanz von 50Ω und 1MΩ. Die Anpassung des Messsystems an unterschiedliche Messaufbauten ist somit einfach zu realisieren. Einen bedeutenden Fortschritt gegenüber dem Vorgängermodell stellt die einstellbare Abtastrate von bis zu 20MHz dar. Die bislang verfügbare Rate von 10MHz war ein Kompromiss zwischen technisch Machbarem und den Minimalanforderungen. Zwar waren schon 2001 Wandlerkarten mit deutlich höherer Abtastrate verfügbar, jedoch war es mit Standard-PC-Technik noch nicht möglich, die entstehenden Datenmengen in Echtzeit auf einen nicht flüchtigen Speicher zu schreiben. Durch den Fortschritt im PC-Bereich ist es nun möglich, eine zweikanalige Aufzeichnung mit 16MHz Abtastrate in Echtzeit durchzuführen. Die Abtastrate von 20MHz bleibt für einkanalige Aufzeichnungen reserviert. Neben der Abtastrate ist nun auch die Quantisierung einstellbar. Konnten die Signale bislang nur mit 8-Bit (256-Stufen) aufgelöst werden, so ist jetzt eine Quantisierung mit 12-Bit (4096-Stufen) möglich. Dieser Fortschritt bezüglich Taktung und Speichertiefe bedeutet für das System CORAL, dass es potentiell auch für Anwendungen mit entspre-

chend höheren Anforderungen eingesetzt werden kann.

Die Erweiterung der Parametrierbarkeit und neue Funktionen führen natürlich zu einer komplexeren Bedienoberfläche. Um die intuitive Bedienbarkeit trotzdem beibehalten zu können, wurden den Funktionen Nutzerrollen zugeordnet. Der Standardbenutzer findet alle vom Vorgängersystem bekannten Einstellmöglichkeiten vor und kann das System nach kurzer Einarbeitung nutzen. Dagegen sind sämtliche Funktionen bezüglich Parametrierung nur nach Eingabe eines Kennworts zugänglich. Somit kann das irrtümliche Ändern von Parametern weitgehend ausgeschlossen werden.

Die Bedienoberfläche und der Rekorderkern sind in separaten Programmen realisiert. Die Kommunikation zwischen beiden Programmen läuft über TCP-Sockets. Sofern der Rekorder-PC über eine Netzwerkanbindung verfügt, kann er von einem beliebigen Windows-PC, auf dem das Bedienprogramm installiert ist, gesteuert werden. Dies gilt ebenso für die Analysesoftware. Sofern sich auf dem Aufzeichnungssystem auch der Kern der Analysesoftware befindet, können Datenauswertungen per Fernsteuerung gestartet werden. Ein Datentransfer der Rohdaten ist nicht erforderlich, was bei dem anfallenden Datenvolumen in der Größenordnung „Gigabyte/Minute“ auch nur in Ausnahmefällen und für kurze Zeitspannen möglich wäre. Es muss allerdings beachtet werden, dass aus Kapazitätsgründen nur entweder Rekorderbetrieb oder Analysebetrieb möglich ist.

Um einen ersten Eindruck von der aktuellen Kanalbelastung zu erhalten, war es bislang erforderlich, eine kurze Aufzeichnung zu machen

und diese im Analyseprogramm darzustellen. Aus dieser ersten Analyse konnte dann beispielsweise ein geeigneter Schwellwert für die Datenkompression ermittelt werden. Um diesen Umweg über eine Probeaufzeichnung zu vermeiden, wurde in die Bedienoberfläche des Aufzeichnungssystems eine online Oszilloskopdarstellung integriert. Wählt man das Formularfeld für die Parametereinstellung aus, wird das aktuell anliegende Signal dargestellt. Das Analyseprogramm ist für diesen Vorgang nicht mehr erforderlich.

Die Analysesoftware

Die Analysesoftware ist modular aufgebaut und besteht aus den Blöcken:

- Datenzugriff
- Pulsdetektor
- Signaldetektor und Dekoder
- Statistik

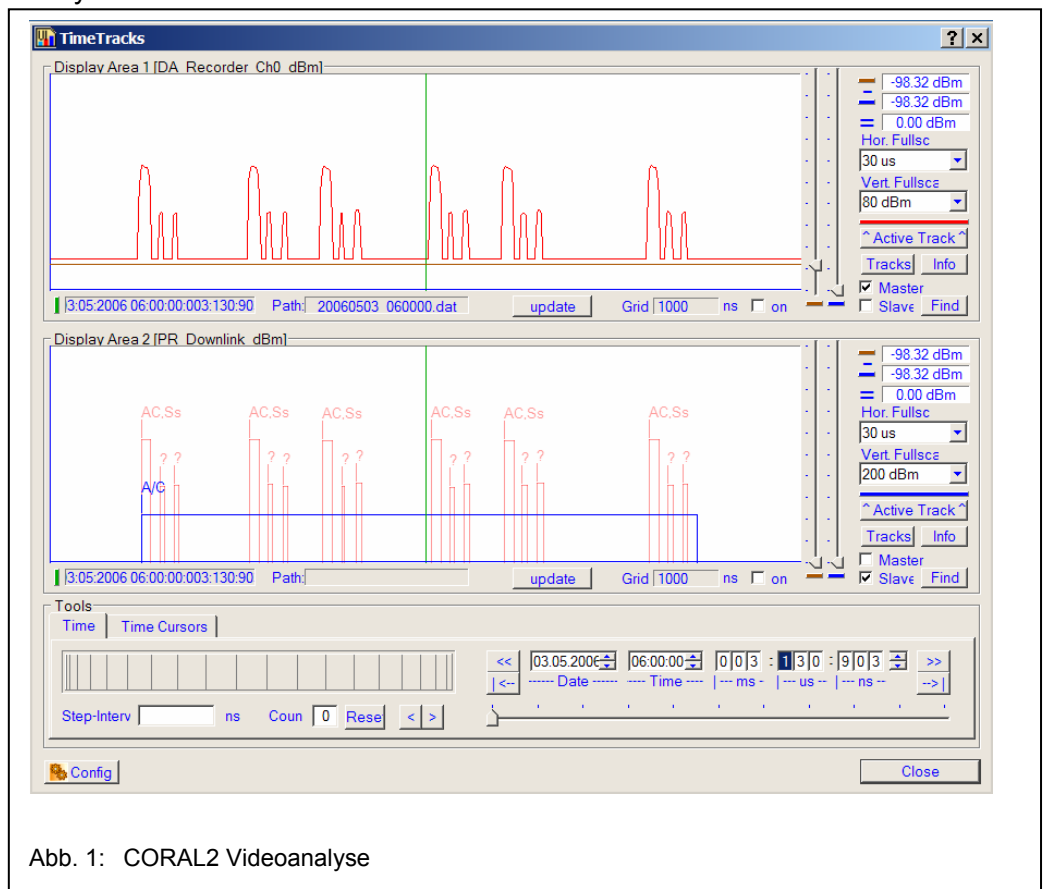


Abb. 1: CORAL2 Videoanalyse

Das Modul Datenzugriff stellt die Verbindung zwischen den aufgezeichneten Daten und den

Verarbeitungs- und Darstellungsroutinen her. Es stellt für die Analysemodule eine einheitliche Schnittstelle zur Verfügung, unabhängig vom Datenformat der Aufzeichnung. So können auch archivierte Aufzeichnungen des CORAL-Systems Version 1 mit der neuartigen Analysesoftware bearbeitet werden.

Item Infos		
1. Pattern Beg:	03:05:2006 06:00:00:003:119:540	
1. Pattern End:	03:05:2006 06:00:00:003:141:740	
1. Pattern Length:	22200 ns	
1. Abs. Level:	-52.75 dBm	
1. Garbling:	no	
1. Poss. Type a:	A/C [70 %] 'Mode A/C Reply'	
1. Bits:	00101001010000	
1. Conf:	11111111111111	
1. Errors:	unknown	
1. Mode A Code:	0360	
1. Mode C Code:	ERROR ft	

Abb. 2: Detailanalyse Mode A/C Signal

Das Datenzugriffsmodul bietet die Möglichkeit, die aufgezeichneten Werte über eine Kennlinie zu transformieren. Ist z.B. die Kennlinie vom Empfangssystem bekannt, können die aufgezeichneten Werte, die den Spannungswert an der A/D-Wandler Karte repräsentieren, in die am HF-Empfänger angelegene Leistung umgerechnet werden. Somit sind nicht nur relative sondern auch absolute Bewertungen der empfangenen Signale möglich.

Nach dem Einlesen und gegebenenfalls Transformieren der Werte können diese als Videosignal dargestellt werden. Sowohl der Zeitbereich als auch die Amplitudenskalisierung sind variabel, so dass das Signal in der gewünschten Detailtiefe angezeigt werden kann.

Die Signalanalyse läuft in mehreren aufeinander folgenden

Schritten ab. Erster Schritt ist stets die Pulsanalyse. Bei der Pulsanalyse werden die aufgezeichneten Signale nach Kriterien untersucht, die für die in den Radarkanälen zu erwartenden Pulse signifikant sind. Derart detektierte Pulse werden in verschiedene Klassen einsortiert und für die weitere Verarbeitung zwischengespeichert.

Momentan erkennt das System Mode A/C/S (uplink und downlink) und DME-Pulse. Erfüllt ein Signalausschnitt zwar allgemeine Puls-kriterien, wie z.B. eine vorgegebene Amplitude, kann jedoch keinem der erwarteten Pulsmuster zugeordnet werden, wird dieser Signalausschnitt als „not classified“ markiert. Durch dieses Vorgehen wird sichergestellt, dass am Ausgang des Pulsdetektors möglichst wenig der ursprünglich im Signal enthaltenen Information verloren geht. Unter Information wird in diesem Zusammenhang alles eingeordnet, was als signifikante Leistung in

dem untersuchten Frequenzband erkannt wird. Steigt der Anteil der nicht klassifizierbaren Pulse, kann ein menschlicher Experte eine Detailanalyse des Videos durchführen, um diese Puls- oder Signalformen zu beurteilen. Falls diese Puls- oder Signalformen bestimmten Ereignissen oder Quellen zugeordnet werden können, kann die

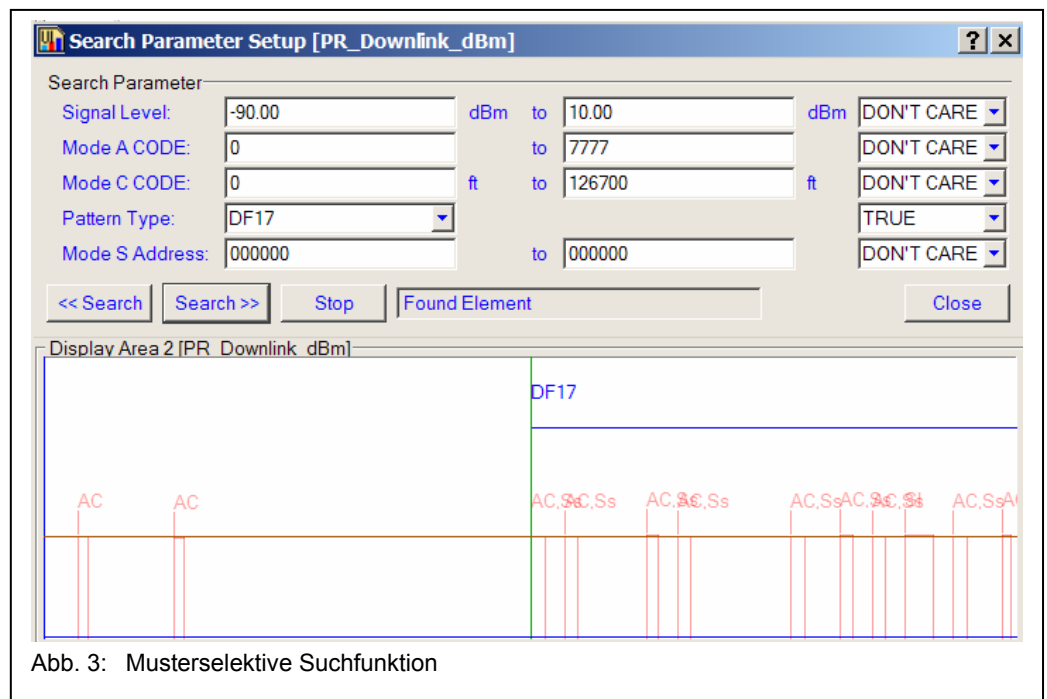


Abb. 3: Musterselektive Suchfunktion

Analysesoftware erweitert werden, um solche Pulse oder Signale zukünftig automatisch zu erkennen und zu klassifizieren.

Aufbauend auf den detektierten und klassifizierten Pulsen werden in der zweiten Analysestufe Signale rekonstruiert. Für bekannte Signalverläufe, in der momentanen Ausbaustufe sind dies Mode A/C/S und DME-Signale, werden Pulsabstände, Pulspositionen und Amplitudentoleranzen ausgewertet. Entspricht der untersuchte Signalabschnitt einem bekannten Signalmuster, wird dieser entsprechend markiert. In Abbildung 1, oberer Bildabschnitt Display Area 1, ist das aufgezeichnete Videosignal abgebildet. Man erkennt ein Mode A/C Telegramm, das möglicherweise durch Mehrwegeausbreitung mehrfach in die Antenne einstrahlt. Im unteren Bildabschnitt, Display Area 2, ist der Ausgang der Puls- und Signalrekonstruktion dargestellt. An den Pulsen, rot eingefärbt, ist aufgelistet, welcher bekannten Form sie entsprechen, in diesem Fall Mode A/C oder Mode S short. Die reflektierten Pulse werden als unbekannt eingeordnet und mit „?“ markiert. Die Signalanalyse erkennt, dass aus den Mode A/C-Pulsen ein vollständiges Telegramm gebildet werden kann und zeigt dieses als blau eingefärbten Bereich an. Weitere Details auf Signal- oder gar auf Pulsbasis können durch anklicken abgefragt werden, siehe Abbildung 2.

Die gegenüber dem Vorgängersystem erweiterte Signalanalyse erlaubt es, die Suchfunktionalität erheblich auszuweiten. War es bislang ausschließlich möglich, Amplitudenwerte und Zeitpunkte als Suchkriterium einzusetzen, kann nun nach Dateninhalten gesucht werden. Abbildung 3 zeigt in der oberen Hälfte das Suchmenü, in der unteren Hälfte das Ergebnis einer Suche nach einem Mode S Telegramm, Downlinkformat 17.

Neben der Detailanalyse auf Videobasis ist es ebenfalls möglich, statistische Analysen über längere Zeiträume durchzuführen und diese ta-

bellarisch auszugeben. In der aktuellen Ausbaustufe lassen sich die Kanalbelastung auf Puls- und Signalbasis, sowie die Verteilung dieser Belastung auf die bekannten Signalformen berechnen. Ein Beispiel zeigt Abbildung 4. Im Rahmen des SAMSON-Projektes wurde im März 2006 eine Funkfeldaufzeichnung am Standort Flughafen Nürnberg durchgeführt. Eine Vergleichsmessung wurde einige Wochen später, zu einer vergleichbaren Tageszeit, in Langen durchgeführt. Die Aufzeichnungsdauer betrug jeweils 5 Minuten, analysiert wurde die Anzahl der empfangenen ADS-B Signale. Auch wenn die Aufzeichnungen aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen, z.B. Antennenanlage, unmittelbare Nähe zum Rollfeld am Standort Nürnberg, quantitativ nur eingeschränkt vergleichbar sind, zeigen sie doch die erheblich höhere Funkfeldbelastung im Umfeld Frankfurt verglichen mit Nürnberg. Durch eine regelmäßige Auswertung des Funkfeldes an einem festen Standort und mit gleich bleibender Installation könnten sowohl langfristige Änderungen des Funkfeldes, wie z.B. durch Veränderung des Luftverkehrsaufkommens, als

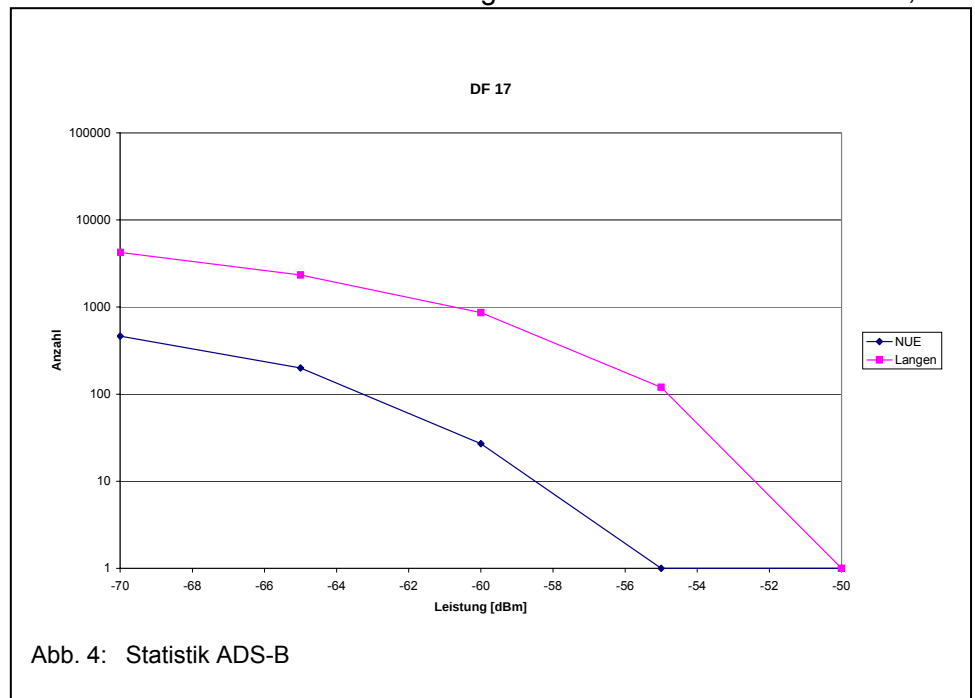


Abb. 4: Statistik ADS-B

auch kurzfristige Änderungen, z.B. Zu/Abschaltung einer Radaranlage im Einflussbereich der Messinstallation, bewertet werden. Ähnlich könnte auch die örtliche Abhängigkeit des Funkfeldes mit CORAL2 bewertet werden. Hierzu müssten mit einer mobilen Messstation Funkfeldaufnahmen an verschiedenen Standor-

ten durchgeführt werden, die dann quantitativ miteinander vergleichbar wären.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Kombination aus CORAL-R und CORAL-A, Version 2, bietet die Möglichkeit zur Digitalisierung, Speicherung und nachträglichen Analyse des Radarfunkfeldes. Erste Auswertungen haben ergeben, dass die Analysesoftware zuverlässig arbeitet und die Signale, die den internationalen Vorschriften genügen, mit einer hohen Entdeckungswahrscheinlichkeit aus dem Videosignal herausfiltert. Nicht konforme Pulse oder Signale werden als solche klassifiziert und können in weiteren manuellen Verarbeitungsschritten bearbeitet werden.

Beide Subsysteme sind vollständig fernbedienbar. Somit kann ein CORAL-System, sofern eine Netzwerkverbindung vorhanden ist, an einem beliebigen Standort zur Funkfeldaufzeichnung und Analyse betrieben werden.

Das System bietet alle Voraussetzungen, statistische Auswertungen des Radarfunkfeldes auf Routinebasis durchzuführen. Somit könnten Auswirkungen auf das Funkfeld, die z.B. durch die Umrüstung auf Mode S Radar oder die zunehmende Ausrüstung (und Aktivierung) von Luftfahrzeugen mit ADS-B fähigen Transpondern entstehen, unmittelbar ermittelt werden.

Abkürzungen

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast
MTL	Minimum Trigger Level
DME	Distance Measuring Equipment
SAMSON	Surveillance mit ADS-B und Multilateration am Standort Flughafen Nürnberg

Methodik zur experimentellen Bestimmung des Kapazitätssteigerungspotenzials neuer Air Traffic Management Systeme¹

Dr. Thomas Bierwagen, Dr. Andreas Tautz, TEH

Übersicht

Das System Luftverkehr als ein Garant wirtschaftlichen Wachstums in Europa wird im Hintergrund beeinflusst durch die Maßnahmen der Flugsicherung. Aufgabe der Flugsicherung ist es dabei, stets den sicheren, ökonomischen und zügigen Verkehrsfluss im kontrollierten Luftraum – in der Bundesrepublik Deutschland sowohl für zivile wie für überörtliche militärische Missionen – zu gewährleisten. Für diese Aufgabenstellung lag und liegt die absolute Priorität bei der Sicherheit. Seit dem 1.1.1993 ist die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) als privatwirtschaftliches Unternehmen mit dieser Aufgabe betraut. Damit ist die Effizienz des Gesamtsystems Luftverkehr unter anderem auch von der Arbeit der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH abhängig.

In diesem Kontext und dem Aspekt der Sicherheit nachgelagert gewinnt die Effizienz und Produktivität der Flugsicherung zunehmend an Bedeutung. Parallel dazu entsteht nicht nur ein wirtschaftlicher, sondern auch ein regulativer Druck auf die europäischen Flugsicherungsdienstleister durch die Deregulierung des europäischen Flugsicherungsmarktes im Rahmen der Initiative „Single European Sky“ der Europäischen Kommission. In diesem Rahmen wird eine Zertifizierung kompletter Flugsicherungsbetriebssysteme (Air Traffic Management Systeme oder kurz ATM Systeme) vor deren Inbetriebnahme gefordert. Diese Regelung würde dann für alle neuen ATM Systeme in Europa gelten.

Für den Dienstleister steht dabei aus betriebswirtschaftlichen Erwägungen die Frage nach dem Produktivitätszuwachs im Vordergrund. Jedoch wurde der Produktivitätszuwachs – in diesem Fall abgebildet auf die Frage nach dem Kapazitätssteigerungspotenzial – bisher nur mit analyti-

schen Methoden grob abgeschätzt. Ein Verfahren zur verlässlichen Messung dieses Zuwachses fehlte bisher europaweit.

Daher hat die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH ein derartiges Verfahren entwickelt, das sowohl zur Bestimmung des Kapazitätssteigerungspotenzials als auch für eine mögliche Zertifizierung neuer ATM Systeme genutzt werden kann. Das Verfahren basiert auf einer Kombination von gekoppelten Realzeitsimulationen in der alten und der neuen ATM Systemwelt mit umfangreichen Beobachtungsstudien und Analysen des laufenden Betriebs einer Flugsicherungskontrollzentrale. Für die Inbetriebnahme eines neuen ATM Systems in der DFS wurde das Verfahren erstmalig erfolgreich angewendet.

Im Folgenden wird das Vorgehen für die Untersuchung, insbesondere der theoretischen Ansatz, die Ziele und Hypothesen und das experimentelle Design, beschrieben. Ausgehend von der Vielzahl von Einzelbeobachtungen wird die interdisziplinär angelegte Überprüfung der Hypothesen und die Synthese der Ergebnisse erläutert. Eine Betrachtung der Anwendbarkeit, Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit des Verfahrens auf andere Systeme und Standorte in der Flugsicherungswelt – insbesondere auch die Nutzbarkeit zu Zertifizierungszwecken kompletter ATM Systeme in Europa – und ein Ausblick auf die weiteren Schritte der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH zu diesem Themenkomplex schließen den Beitrag ab.

Methodische Betrachtung

Begriffsbestimmung

Der Begriff des Kapazitätssteigerungspotenziales ist in der wissenschaftlichen Welt wenig belegt. Er entsteht in der DFS aus den Erfahrungen mit der Einführungen von ATM Systemen und kombiniert zwei verschiedene Fragestellungen miteinander.

¹ Dieser Beitrag erschien erstmalig in: Brandt, P. & Olbert, F.: DGLR Jahrbuch 2005 Band I + II zum Deutschen Luft- und Raumfahrtkongress 2005. DGLR: Bonn (2005).

Bei den bisherigen Einführungen von neuen ATM Systemen hat sich gezeigt, dass es einen deutlichen Unterschied zwischen einer möglichen Systemkapazität und der tatsächlich erreichten Kapazität gibt. Dieser Unterschied liegt im Wesentlichen darin begründet, dass die mögliche Systemkapazität als ein technisch orientierter und vorab aus vorliegenden Unterlagen abgeschätzter Wert jeweils zu optimistisch eingeschätzt wurde. Hinzu kommt, dass die Interaktion der verschiedenen Akteure im Mensch-Maschine-System nicht hinreichend beachtet wurde. Insbesondere der Akteur Mensch wurde oft falsch eingeschätzt – sei es, weil betriebliche Aspekte unterschätzt wurden oder weil bekannte physiologische und psychologische Effekte nicht hinreichend beachtet wurden.

In der Forschung nach der Ursache für die vorliegenden Diskrepanzen wurde insbesondere die Fehleinschätzung des Akteurs Mensch inzwischen erkannt. Im Weiteren wurden die Diskrepanzen auf zwei Aspekte abgebildet, die einen größeren Stellenwert bei der Einführung neuer ATM Systeme erhalten haben: die Akzeptanz für das System und das Training mit dem System.

Die Frage nach der Akzeptanz ist dabei vor allem im Übergang auf das neue System von Bedeutung. Denn mit der sich einstellenden Routine im täglichen Arbeitsalltag und mit der sich kontinuierlich erneuernden Personalstruktur ergibt sich eine schleichende Akzeptanz.

Das Training auf das System hat länger wirkende Folgen. Es ist oft zu beobachten, dass die Mitarbeiter auch lange nach einer Systemeinführung mit dem neuen ATM System noch genauso weiterarbeiten wie mit dem bisherigen ATM System. Sie passen ihre Arbeitsweise nur dort an, wo es durch das System zwingend erforderlich ist – aber nicht um das System im positiven Sinne besser zu nutzen, sondern um mögliche negative Auswirkungen innerhalb des Systems und rückwirkend auf sich selbst (den Bediener) zu vermeiden. Diese Herangehensweise kann so lange funktionieren, wie die Systemveränderungen nur graduell sind und sich die Arbeitsweise und Arbeitsteilung im Mensch-Maschine-System im Wesentlichen nicht verändert. Erfolgt aber ein größerer Evolutionsschritt, scheitert diese Herangehensweise oder impliziert eine Verringerung der möglichen Kapazität auf Grund der nicht systemkonformen Bedienung.

Die Frage nach dem Kapazitätssteigerungspotenzial kombiniert folgerichtig zwei verschiedene Fragestellungen miteinander:

1. Wie viel Kapazität lässt sich mit dem zu untersuchenden ATM System bei der Einführung erreichen?
2. Wie viel zusätzliche Kapazität lässt sich mit dem zu untersuchenden ATM System erreichen, wenn der Nutzer das System akzeptiert und so nutzt, wie es vorgesehen ist?

Die methodisch sich anschließende Frage, wie der Nutzer so an das neue System herangeführt werden kann, dass die zusätzliche Kapazität gegen Null geht, also die Kapazität bereits bei der Einführung maximiert wird, steht an dieser Stelle nicht zur Diskussion. Sie muss im Trainingsbereich, aber auch begleitend in der gesamten Systementwicklung beachtet und beantwortet werden.

Möglichkeiten der Erfassung

Die Frage nach der Messung der Kapazität eines ATM Systems beschäftigt mittelbar innerhalb der europäischen Flugsicherungsorganisation Eurocontrol eine ganze Organisationseinheit: die Performance Review Unit (PRU). Hier wird die Frage gestellt, wie die Kapazität der ATM Systeme der Mitgliedsstaaten derzeit aussieht und wie sie sich weiterentwickeln wird. Die Granularität der Untersuchungen liegt dabei auf der Ebene einzelner Kontrollzentralen und wird bottom-up vor Ort ermittelt und weitergegeben. In den einzelnen Kontrollzentralen werden die Kapazitätswerte weiter herunter gebrochen auf einzelne Flugsicherungssektoren. Für diese wird Kapazität definiert und ermittelt über den möglichen maximalen Durchsatz, also die maximale Anzahl der Luftfahrzeuge pro Zeiteinheit [1]. Ein Kapazitätsmaximum für einen Sektor ist aber kein reiner Messwert, sondern es wird in einer Abschätzung durch Experten auf der Grundlage retrospektiver Erfahrungen in dem jeweiligen Sektor festgelegt. Damit handelt es sich um eine Mischung aus objektiver und subjektiver Methodik. Gleichzeitig ist es die am weitesten verbreitete Methodik, die Kapazität letztlich über die maximale Anzahl von Luftfahrzeugen in einem Sektor und einer Zeiteinheit definiert. Die Ergebnisse dieser Erhebungen finden sich im Performance Review Report von Eurocontrol [2].

Die Capacity Analysis Methode (CAPAN) wurde ebenfalls von Eurocontrol [1] entwickelt und von der DFS adaptiert. Sie ermittelt mittels einer Schnellzeitsimulation für jeden Sektor über ein starres, aufgabenorientiertes Zeitschema die Arbeitslast im Sinne einer zeitlichen Belastung des Sektors. Die Kapazitätsgrenze ist dann erreicht, wenn die Belastung in einem Sektor das 70% Niveau überschreitet (vgl. [1], S. 5). Diese Methode der Kapazitätsermittlung ist ebenfalls weit verbreitet und geeignet insbesondere für bekannte und seit längerem eingesetzte ATM Systeme. Beim Einsatz für zukünftige Systeme setzt sie sich aber der Kritik aus, dass das aufgabenorientierte Zeitschema für die Arbeit mit einem neuen System a priori nicht bekannt ist. Vielmehr muss dieses in der Realität oder in Realzeitsimulationen erst ermittelt werden, um danach in einer Schnellzeitsimulation genutzt werden zu können. Gleichzeitig besteht die Notwendigkeit, dass neue Aufgaben und neue Aufgabenteilungen in dem Schnellzeitsimulationssystem abbildbar sein müssen – was nicht immer gegeben ist.

Eine weitere Methodik, die Integrated Task Analysis (ITA) von Eurocontrol [3][4], basiert auf einer Ermittlung der kognitiven Aufgabenlast durch Beobachtungen und Interviewtechniken. Daraus wird ein Kapazitätsgrenzwert abgeleitet. Diese Methode findet nur wenig Verbreitung. Sie folgt dem richtigen Gedanken, dass die kognitiven Aufgaben eines Fluglotsen einen wesentlichen Aspekt des Kapazitätsgrenzwertes abbilden. Gleichzeitig setzt sich die ITA Methodik aber der Kritik aus, dass sich kognitive Aufgaben nur schwer durch eine Beobachtungsstudie erfassen lassen.

Die von Eurocontrol entwickelte INTEGRA Methodik [5] folgt einer ähnlichen These. Sie unterscheidet in der Flugsicherungsaufgabe unterschiedliche Akteure wie z.B. den Executive Controller, den Planning Controller, aber auch das ATM System, das MTCD System oder das Data Link System. Die vorhandenen Aufgaben innerhalb der Flugsicherungsaufgabe werden den verschiedenen Akteuren gemäß Betriebskonzept zugewiesen und durch Ereignisse, die sich aus der Verkehrssituation ergeben, getriggert. Daraus wird für jeden Zeitpunkt und jeden Akteur ein „Information Processing Load“ (IPL) errechnet. Dieses IPL hat Ähnlichkeit mit der kognitiven Aufgabenlast der ITA Methodik, nimmt aber nicht

in Anspruch, kognitive Prozesse realitätsnah abzubilden. Die Kapazitätsgrenze eines Systems ist nach der INTEGRA Methodik dann erreicht, wenn der erste Akteur – sei es Mensch oder Maschine – seine persönliche Kapazitätsgrenze überschreitet. Damit ermöglicht die Methodik nicht nur, eine Kapazitätsgrenze zu bestimmen, sondern auch den einschränkenden Faktor gezielt zu benennen und durch Veränderungen der Aufgabenteilung die Kapazität des Gesamtsystems zu optimieren. Nachteil ist die notwendige experimentelle Bestimmung der individuellen Kapazitätsgrenzen der einzelnen Akteure in einem aufwendigen Kalibrierungsprozess.

Letztlich kann Kapazität auch vollständig an subjektiven Daten festgemacht werden. Hier wird das Konzept von Belastung und Beanspruchung aus der Psychologie genutzt. Belastung ist dabei die objektiv durch die Aufgabe aufgebrachte Last, während Beanspruchung die subjektiv durch den Menschen empfundene Last wiedergibt. Die Beanspruchung kann durch verschiedene Befragungsmethodiken ermittelt werden. Beispiele sind die von Eurocontrol verwendeten Instantaneous Self Assessments (ISA) Ratings [6] auf einer fünfstufigen Skala oder die bei der DFS verwendeten Nasa Task Load Index (NASA TLX) Ratings [7] auf einer zehnstufigen Skala. Beide verfolgen den Zweck, zu einem diskreten Zeitpunkt durch eine Bewertung des Versuchsteilnehmers die Beanspruchung zu ermitteln. Durch geeignete Messzeitpunkte und eine Korrelation mit der zum Messzeitpunkt gegebenen Verkehrslast für die untersuchte Person lässt sich so eine Kapazitätsgrenze ermitteln.

Gewählte Herangehensweise

Die für die Untersuchung gewählte Vorgehensweise kombiniert mehrere der oben erläuterten Verfahren zur Ermittlung der Kapazität.

Im Rahmen einer Aufgabenanalyse, die sowohl im laufenden Betrieb als auch in allen Realzeitsimulationen stattfand, wurden Aufgaben bzw. Aktivitäten der Versuchsteilnehmer in ihrer Häufigkeit und Dauer erfasst. Durch eine systematische Variation der beobachteten Arbeitsplätze über die Summe aller Simulationen und die Vielzahl der aus den Simulationen vorhandenen Beobachtungen lässt sich die Verteilung der (beobachtbaren) Aufgaben in Abhängigkeit verschiedener Faktoren wie z.B. Arbeitsposition, Ver-

kehrsmenge oder genutztem ATM System eindeutig beschreiben. Es bleibt festzuhalten, dass im Gegensatz zur ITA Methodik dabei die kognitiven Anteile als nicht beobachtbare Anteile nicht in den erhobenen Daten der Aufgabenanalyse enthalten sind. Sie fehlen und können nur als komplementär erschlossen werden.

Gleichzeitig wurde während der gesamten Untersuchung im Abstand von 10 Minuten auf allen Positionen ein NASA TLX Rating erfragt. Diese Ratings lassen ebenfalls eine Beschreibung in Abhängigkeit verschiedener Faktoren wie z.B. Arbeitsposition, Verkehrsmenge oder genutztem ATM System zu. Gleichzeitig lassen sich diese Daten mit den Daten aus der Aufgabenanalyse kombinieren, um beide Datenquellen gegenseitig zu überprüfen und so Hinweise auf sich unterstützende oder sich widersprechende Indikatoren in Richtung von Kapazitätswerten zu erlangen.

Aus diesen beiden Datenquellen lässt sich unter Beachtung von Randeffekten wie z.B. dem Trainingsstand und unter Annahme eines zu definierenden Niveaus an kognitiver Belastung ein Kapazitätswert – mindestens im relativen Vergleich zweier ATM Systeme – ermitteln und so die Fragestellung zur Kapazität aus Abschnitt 2 beantworten.

Die Antwort auf die Frage nach dem Kapazitätssteigerungspotenzial aus Abschnitt 2 hängt eng mit den dazu zu treffenden weiteren Annahmen zusammen. Sie kann aus den vorliegenden Daten nicht in ähnlicher Form „errechnet“ werden wie die Antwort auf die Frage nach der Kapazität. Gleichzeitig bietet eine Antwort aber deutliche Hinweise, worauf zu achten ist und welche Maßnahmen notwendig sind, um das Potenzial eines Systems vollständig auszuschöpfen.

Im Rahmen der angewandten Methodik setzt sich die Aufgabenlast des Fluglotsen aus einem beobachtbaren und einem nicht beobachtbaren Anteil zusammen. Beide Anteile für sich können optimiert werden, um eine Verbesserung der Kapazität des Gesamtsystems zu erreichen.

Bei den beobachtbaren Aufgaben lassen sich relativ präzise Aussagen zur Optimierung treffen. Wenn z.B. ein großer Zeitanteil auf die Eingabe von Daten in das System verwendet wird und dieser Anteil im neuen ATM System deutlich größer ist als im alten ATM System, so deutet diese Tatsache darauf hin, dass die Schnittstelle des Mensch-Maschine-Systems möglicherweise

optimiert und so dieser Zeitanteil absolut gesenkt werden kann.

Bei den nicht beobachtbaren Aufgaben, zu denen das Monitoring der Daten genauso wie das Lösen von Problemen gehört, lässt sich ableiten, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit diese Aufgaben oder Teile davon nicht mehr vom Menschen durchgeführt werden müssen und damit wegfallen können. Hier geht es in der Abschätzung also um Fragen der Akzeptanz und des Vertrauens in das System, die zentral für die Steigerung der Kapazität durch Wegfall von Aufgaben beim Menschen beitragen. Gleichzeitig ist bei dieser Abschätzung im Sinne der INTEGRA Methodik aber darauf zu achten, dass die Kapazitätssteigerung beim Operateur Mensch nicht zu einer Überlast in einem technischen System führt. Insgesamt lassen sich so klare Rahmenbedingungen bzw. notwendige Maßnahmen zur Ausschöpfung des Kapazitätspotenzials angeben. Das Kapazitätssteigerungspotenzial selbst bleibt aber im Gegensatz zur relativ verlässlich gemessenen Kapazität eine deutlich unsicherere Abschätzung. Gleichwohl stellt es einen wichtigen Wert dar, weil es in Kombination mit den notwendigen Maßnahmen die Transition hin zu einem optimierten Gesamtsystem beschreibt.

Aufbau der Untersuchung

Grundsätzlich enthält die Untersuchung drei Arbeitsschritte:

1. Beobachtungsstudie im laufenden Betrieb
2. Realzeitsimulation mit dem ATM System 1
3. Realzeitsimulation mit dem ATM System 2

Dabei zielt der Untersuchungsaufbau darauf ab, in allen drei Schritten möglichst identische und damit vergleichbare Untersuchungsbedingungen zu schaffen.

Ziele

Für die Untersuchung wurden folgende Ziele definiert:

- Ermittlung des Kapazitätssteigerungspotenzials des ATM Systems 2 im Vergleich zum ATM System 1 auf der Grundlage zukünftigen Verkehrsaufkommens (Zeitraum 2007-2010)
- Absicherung der Methodik im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf andere Anwendungsfälle

Auf Grund des Untersuchungsablaufs ergeben sich daraus zwingend Erkenntnisse zu zwei weiteren Aspekten, nämlich der Überprüfung der Arbeitsverfahren mit dem ATM System 2 und erste Aussagen zur Akzeptanz des ATM Systems 2 und der definierten Arbeitsverfahren für dieses System.

Hypothesen

Die Untersuchung geht von zwei grundsätzlichen Fragestellungen aus (siehe Abschnitt 2.1). Daraus werden die folgenden Hypothesen für die Untersuchung abgeleitet:

1. Die Kapazität im ATM System 2 ist größer als im ATM System 1
2. Das Kapazitätssteigerungspotenzial für das ATM System 2 ist positiv

Experimentelles Design

Die Beobachtungsstudie im laufenden Betrieb dient der Absicherung der Realitätsnähe für die beiden Realzeitsimulationen. Deshalb ist diese nicht in das experimentelle Design eingebunden. Sie beobachtet aber identische Lufträume in gleicher Weise wie in der Simulation.

Für die beiden Realzeitsimulationen ist das Design im Folgenden beschrieben.

Experimentelle Variablen

Für die Untersuchung der beiden ATM Systeme wurden mehrere Faktoren systematisch in verschiedenen Ausprägungen variiert. Die Variablen und Ausprägungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Variable	Ausprägung
Verkehrsmenge	80% bis 160% in 6 Stufen
Luftraum (Sektor)	4 Sektoren
Position	Radar, Koordinator
Erfahrung	Trainee, erfahrener Lotse

Tab. 1: Unabhängige Variablen

Alle Daten innerhalb des Simulationssystems wurden elektronisch aufgezeichnet. Zusätzlich wurde in jedem Simulationsrun einer der vier Sektoren auf den beiden Positionen Radar und Koordinator im Sinne einer Aufgabenanalyse beobachtet. Dabei wurden computerunterstützt entlang eines mehrstufigen Kategoriensystems

die Anfangs- und Endzeitpunkte jeder Tätigkeitskategorie erhoben. Die erhobenen Kategorien sind in Tabelle 2 dargestellt.

Im Sinne der Selbsteinschätzung der Untersuchungsteilnehmer wurde nach jeweils 10 Minuten die eigene Arbeit durch die Untersuchungsteilnehmer in einem NASA TLX Rating beurteilt. Am Ende eines Simulationsruns wurde die Arbeit im gesamten Run retrospektiv in einem weiteren NASA TLX Rating beurteilt. Eine Wichtung der NASA TLX Skalen fand aus methodischen Gründen nicht statt. Im Anschluss an dieses NASA TLX Rating wurde von jedem Untersuchungsteilnehmer ein Post Run Questionnaire ausgefüllt.

Sprechfunk	Eingabe Touch Input Device (TID)
Koordination im Team	Eingabe Radar
Koordination Telefon	Streifenbearbeitung / Eingabe Main Data Window
Ellenbogenkoordination	

Tab. 2: Beobachtungskategorien für die Fluglotsentätigkeit

Untersuchungsteilnehmer

An der Untersuchung nahmen insgesamt 24 Fluglotsen der DFS teil. Von diesen waren 16 Fluglotsen noch im Berechtigungserwerb (Trainees). 8 Fluglotsen waren bereits seit mehreren Jahren tätig. Diese 24 Teilnehmer wurden folgendermaßen auf 3 Teams aufgeteilt:

- 2 Teams nur mit Trainees (je 8 Personen)
- 1 Team nur mit erfahrenen Fluglotsen (8 Personen)

Über den Untersuchungszeitraum von insgesamt etwa 14 Wochen absolvierte jeder Trainee insgesamt 23 Tage Simulation inklusive Training. Die erfahrenen Fluglotsen absolvierten jeweils 19 Tage Simulation inklusive Training.

Versuchsdesign

Insgesamt wurden sechs verschiedene Verkehrsmengen je dreimal pro Versuchspersonengruppe und ATM System dargeboten. Daraus ergibt sich das in Tabelle 3 dargestellte Versuchsdesign.

	Verkehrsszenario					
	2004		2007		2010	
	80% Verkehrs- last	100% Verkehrs- last	115% Verkehrs- last	130% Verkehrs- last	145% Verkehrslast	160% Verkehrs- last
ATM System 1	9 Runs	9 Runs	9 Runs	9 Runs	9 Runs	9 Runs
ATM System 2	9 Runs	9 Runs	9 Runs	9 Runs	9 Runs	9 Runs
Gesamt	18 Runs	18 Runs	18 Runs	18 Runs	18 Runs	18 Runs

Tab. 3: Versuchsdesign

Experimentelle Bedingungen

Für die Durchführung der Untersuchung sind die experimentellen Randbedingungen im Sinne der Flugsicherungsaufgabe von großer Bedeutung. Daher werden diese im Folgenden dokumentiert.

Betriebskonzept

Bei dem ATM System 1 handelt es sich um ein konventionelles ATM System mit herkömmlichen Betriebskonzept. Das bedeutet insbesondere, dass dieses ATM System auf Papierkontrollstreifen basiert und einen nur geringen Automatisierungsgrad besitzt. Die Art und Weise, wie mit diesem ATM System gearbeitet wird – in der Flugsicherungssprache das Betriebskonzept –, entspricht den heute im Gebrauch befindlichen Betriebskonzepten.

Im Gegensatz dazu handelt es sich bei dem ATM System 2 um ein höher automatisiertes ATM System. Es arbeitet rein elektronisch und mit weitergehender Computerunterstützung. Daher wurde für dieses ATM System angepasst an die Gegebenheiten des in der Simulation verwendeten Luftraumes ein eigenes, neues Betriebskonzept entwickelt. Dieses sieht insbesondere Veränderungen in der Mensch-Maschine-Interaktion und in der Rollenverteilung bzw. den Zuständigkeiten im Team vor.

Luftraum und Verfahren

Als Luftraum wurde ein existierender Luftraum der DFS verwendet. Simuliert wurden vier Sektoren, von denen jeweils zwei lateral übereinander lagen. Die vertikalen Sektorgrenzen sind in Ta-

belle 4 zusammengestellt. Die Sektoren waren lateral benachbart.

Sektor	Untergrenze	Obergrenze
A Middle	29500 ft	34500 ft
A Top	34500 ft	Keine
B Middle	30500 ft	34500 ft
B Top	34500 ft	Keine

Tab. 4: Vertikale Luftraumgrenzen

Die angewendeten Verfahren im ATM System 1 entsprachen den heute betrieblich genutzten Verfahren. Im ATM System 2 wurden diese Verfahren fallweise entsprechend dem neu entwickelten Betriebskonzeptes angepasst.

Arbeitspositionen

In beiden ATM Systemen wurde mit konventionellen Arbeitspositionen gearbeitet. D.h. für jeden der vier Sektoren gab es eine Radarposition und eine Koordinationsposition. Daraus ergeben sich acht Untersuchungspositionen. Hinzu kommen zwei Positionen, die die Koordination mit den umgebenden Lufträumen abbilden. Zusätzlich wurde je Sektor ein Simulationspilot eingesetzt.

Verkehrsszenarien

Die Verkehrsszenarien wurden auf der Basis von aufgezeichneten Verkehrsdaten des DFS Lage- und Informationszentrums generiert. Basierend auf einer Verkehrsanalyse über 90 Tage aus dem Jahre 2004 wurde für die untersuchten Sek-

toren jeweils ein 100% Wert als Spitzenwert des heutigen Verkehrs definiert. Da an der Untersuchung 16 Trainees mit nur geringer Erfahrung teilnahmen, wurde das 100% Niveau anschließend für die gesamte Untersuchung um 30% abgesenkt. Basierend auf diesem neuen Ankerwert wurden die Verkehrsmengen gemäß Versuchsdesign in den Ausprägungen von 80% bis 160% über die Indikatoren Anzahl der Luftfahrzeuge pro Stunde und Anteil der Vertikalbewegungen pro Stunde erstellt. Zusätzlich wurden insgesamt 6 Trainingsszenarien in den Ausprägungen 50% (2), 70% (2) und 100% (2) erstellt.

Untersuchungsablauf

Der Untersuchungsablauf sah für alle drei Versuchspersonengruppen identisch aus. Für beide ATM Systeme erfolgte zunächst eine Trainingsphase. Daran schloss sich die eigentliche Untersuchung an, in der die Verkehrsszenarien gemäß Versuchsdesign abgearbeitet wurden. Die Trainingsphase dauerte für das ATM System 2 jeweils 5 Tage, für das ATM System 1 jeweils drei Tage für die Trainees. Die erfahrenen Fluglotsen erhielten für das ATM System 1 kein Training, weil es ihrem derzeit betrieblich genutzten System entsprach.

Ergebnisse der Untersuchung

Auf Grund der großen Menge aufgenommener Daten sind vielfältige Detailanalysen möglich. Im Folgenden werden nur einige wesentliche dieser Analysen dargestellt.

Die Daten wurden für die Auswertung zunächst auf vollständige Vergleichbarkeit hin analysiert. Bei unterschiedlichen Bedingungen in einer Messung zwischen ATM System 1 und ATM System 2 wurden die jeweiligen Messpunkte aus allen Daten entfernt². Weiterhin wurden die ersten 20 Minuten jedes Simulationsruns, in denen sich das Verkehrsbild erst langsam aufbaut, aus der Auswertung herausgenommen. Nach hinten wurden die Daten bis zur Minute 70 ausgewertet. So ergibt sich ein Auswertungszeitraum von ins-

² Z.B. kam es in Einzelfällen vor, dass in beiden Systemen wegen Krankheit eines Untersuchungsteilnehmers unterschiedliche Versuchspersonen untersucht wurden oder dass einzelne NASA TLX Ratings nicht ausgefüllt wurden.

gesamt 50 Minuten, der in beiden ATM Systemen völlig vergleichbar bearbeitet wurde. Zuletzt wurden die Daten in 10-Minuten Intervalle aufgeteilt, um luftfahrzeugbezogene Auswertungen durchführen zu können.

Ergebnisse der Beobachtungsstudie

Systemvergleich

In der Beobachtungsstudie wurden die Anfangs- und Endzeitpunkte für sieben verschiedene Aktivitätskategorien (vgl. Tabelle 2) beobachtet. Daraus lassen sich für jede Kategorie die durchschnittlichen und kumulierten Dauern in Sekunden berechnen. Gleichzeitig lassen sich Aussagen über die Parallelität verschiedener Tätigkeiten treffen. Um sich dem Ziel der Kapazitätsbestimmung zu nähern, ist jedoch der Verkehrsmengenbezug notwendig. Daher wurden in den beschriebenen 10-Minuten Intervallen für jede Position die mittleren Dauern bezogen auf ein Luftfahrzeug in Sekunden errechnet.

Diese Auswertung ist für die beiden ATM Systeme und die Radarposition in Abbildung 1 dargestellt. Die Verteilung über die Kategorien ist dabei nicht erstaunlich. Auf der Radarposition ist der wesentliche Arbeitsanteil die direkte Kontrolle und Führung der Luftfahrzeuge mittels Sprechfunk. Gleichzeitig zeigen sich deutlich die Automatisierungseffekte: im rein elektronisch arbeitenden ATM System 2 müssen alle Freigaben des Radarlotsen, die im ATM System 1 auf Papierkontrollstreifen dokumentiert werden, in das System eingegeben werden. Deshalb sind die Aktivitätsanteile für Eingabe im Touch Input Device (TID) und im Radarbild deutlich höher. Der Aktivitätsanteil für das Main Data Window (MDW)

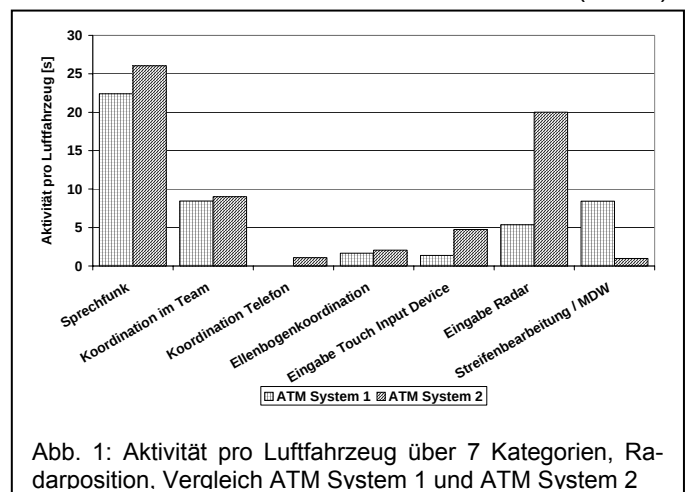


Abb. 1: Aktivität pro Luftfahrzeug über 7 Kategorien, Radarposition. Vergleich ATM System 1 und ATM System 2

als einer weiteren Darstellung zur Dateninteraktion zeigt gleichzeitig die Redundanz dieses Eingabemediums. Insgesamt zeigt sich ein systematischer Unterschied beider ATM Systeme, der statistisch hoch signifikant ist ($p < 0.01$). Die Aktivität pro Luftfahrzeug ist im ATM System 2 höher als im ATM System 1.

Ein sehr ähnliches Bild ergibt sich für die Koordinationsposition in Abbildung 2. Hier zeigt sich insbesondere ein deutlicher Automatisierungseffekt bei der Verringerung der Telefonkoordination im ATM System 2 und eine ebenfalls starke Zunahme der Dateneingabe im ATM System 2. Auch hier ist der Systemunterschied signifikant ($p < 0.01$).

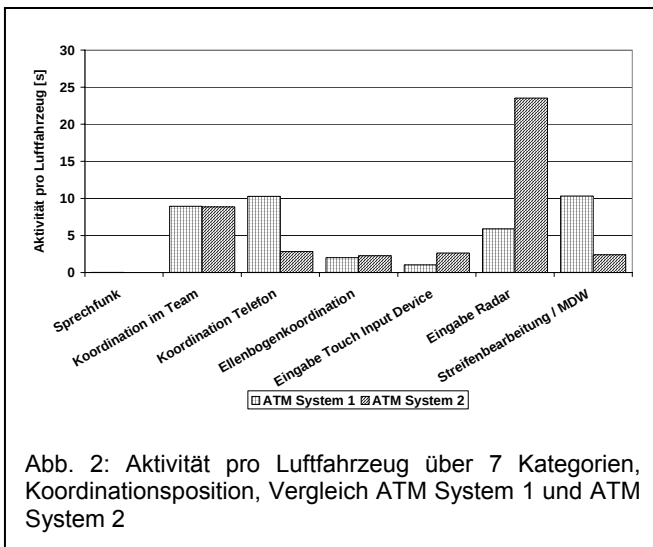


Abb. 2: Aktivität pro Luftfahrzeug über 7 Kategorien, Koordinationsposition, Vergleich ATM System 1 und ATM System 2

Realitätsvergleich

Als wichtige weitere Frage ist die Realitätsnähe der Simulation zu beurteilen. Dies wird dadurch möglich, dass die Beobachtungsstudie auch im laufendem Betrieb (der das ATM System 1 nutzt) durchgeführt wurde. Der Vergleich beider Datensätze für die Radar- und die Koordinationsposition ist in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt.

Hier zeigt sich, dass in der Simulation am mit der Realität identischen ATM System 1 auch fast identisch gearbeitet wurde. Auf beiden Positionen gibt es kaum Unterschiede. Lediglich der Unterschied auf der Koordinationsposition bei der Telefonkoordination ist signifikant unterschiedlich ($p < 0.05$). Dies erklärt sich durch die vereinfacht abgebildete Koordinationsumgebung in der Simulation durch einen einzigen Arbeitsplatz und ist damit erwartungskonform. Somit kann fest-

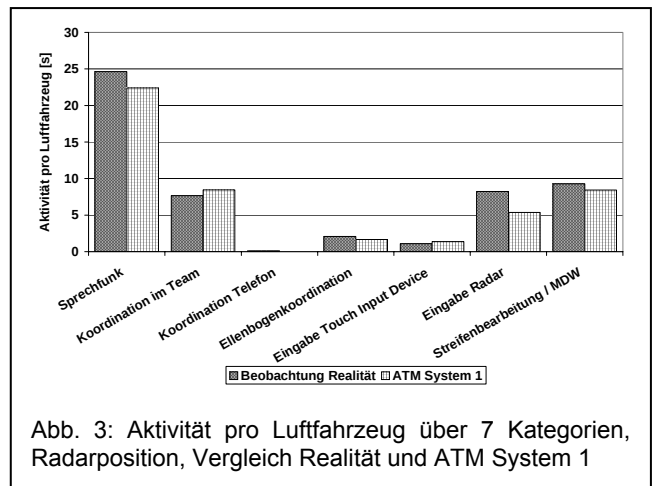


Abb. 3: Aktivität pro Luftfahrzeug über 7 Kategorien, Radarposition, Vergleich Realität und ATM System 1

gehalten werden, dass die Simulation die Realität offensichtlich weitestgehend realistisch abgebildet hat.

Ergebnisse der Beanspruchungsmessung

Systemvergleich

Um die Beanspruchung der Untersuchungsteilnehmer zu messen, wurden regelmäßig NASA TLX Ratings auf allen sechs Skalen erhoben. Für die Auswertung erscheinen allerdings die beiden Skalen „physische Anforderungen“ und „Leistung“ als nicht geeignet: physische Anforderungen sind in diesem Arbeitsumfeld nicht oder nur wenig relevant, und bei der Beurteilung der eigenen Leistung deuten einige Antworten darauf hin, dass die inverse Skalierung bei der Darbietung nicht beachtet wurde.

Die Auswertung für die vier verbleibenden Skalen und die beiden ATM Systeme ist über alle Versuchsbedingungen in Abbildung 5 dargestellt. Hier zeigt sich ein in allen Skalen hoch signifikan-

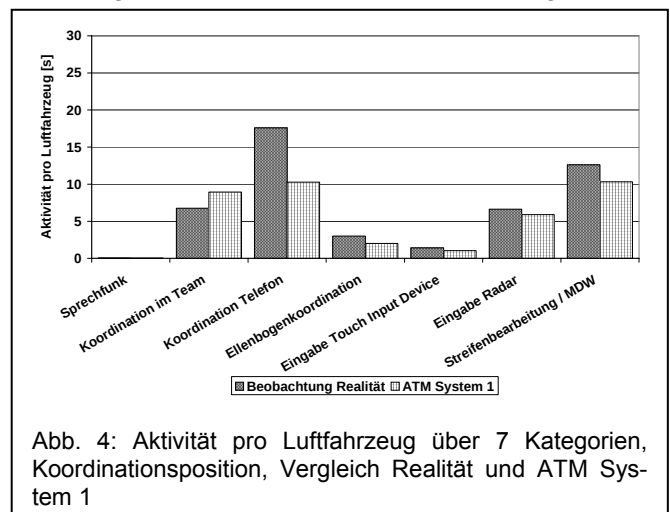
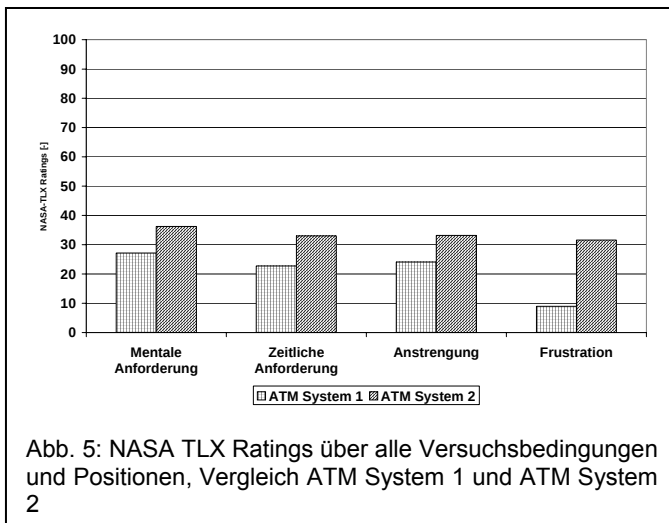


Abb. 4: Aktivität pro Luftfahrzeug über 7 Kategorien, Koordinationsposition, Vergleich Realität und ATM System 1



ter Unterschied zwischen den beiden ATM Systemen ($p < 0.01$). Dabei ist allerdings dem quantitativ größten Unterschied auf der Skala „Frustration“ eine geringe Bedeutung beizumessen. Es kann sich z. B. um einen Effekt mangelnden Trainings oder um eine Reaktion auf den Umgang mit einem neuen, nicht vertrauten System handeln.

Somit wird der aus der Beobachtungsstudie diagnostizierte Unterschied zwischen den beiden ATM Systemen auch durch die Beanspruchungsmessung gestützt.

Realitätsvergleich

Für die Beanspruchungsdaten kann ein Realitätsvergleich nur bedingt durchgeführt werden, weil in der Beobachtungsstudie im laufenden Betrieb andere Verkehrssituationen beobachtet wurden als in der Simulation. Im Gegensatz zu den Aktivitäten, die sich als Zeit leicht normieren lassen, ist dies für NASA TLX Ratings jedoch nicht möglich. Daher muss hier der Umweg über eine aufwendige Verkehrsmengenklassifikation genommen werden, deren Ergebnis noch nicht vorliegt.

Überprüfung der Hypothesen

Kapazität in den ATM Systemen 1 und 2

Wie oben bereits diskutiert wurde, lässt sich die Aktivität eines Fluglotsen in beobachtbare und nicht beobachtbare Anteile zerlegen. Damit lässt sich die Kapazität nur aus der Summe der Anteile erschließen. Gleichzeitig ist der nicht beobachtbare Anteil nur schwer zu erfassen. Unter der Annahme, dass beim Übergang zu einem

neuen ATM System die Arbeitsweise der Fluglotsen mit diesem neuen System weitgehend identisch bleibt und sich nur in den Punkten ändert, in denen das neue ATM System dies zwingend erfordert (d.h. der nicht beobachtbare Anteil der Aktivität bleibt weitgehend konstant), lässt sich die Kapazität aus dem Verhältnis der beobachtbaren Aktivitäten erschließen. Andererseits kann davon ausgegangen werden, dass die beobachtbaren und die nicht beobachtbaren Aktivitätsanteile in der Summe derzeit nur bei sehr hohen Verkehrsmengen einen begrenzenden Faktor darstellen. Daher ist der direkte Schluss für geringe bis mittlere Verkehrsmengen sicher fehlerbehaftet.

Auf diesem Hintergrund wird die Hypothese 1 („Die Kapazität im ATM System 2 ist größer als im ATM System 1“) sowohl durch die Daten der Beobachtungsstudie als auch durch die Daten der Beanspruchungsmessung nicht unterstützt. Vielmehr zeigt sich das gegenteilige Ergebnis: Unter der Annahme identischer nicht beobachtbarer Anteile lässt sich auf Basis der vorliegenden Daten für die Inbetriebnahme des neuen ATM Systems eine Kapazitätseinbuße vorhersagen.

Kapazitätssteigerungspotenzial

Vor dem Hintergrund dieser Betrachtung zur Kapazität bei Einführung des ATM Systems 2 gewinnt die Frage nach dem Kapazitätssteigerungspotenzials eine besondere Bedeutung.

Dazu lassen sich aus der Beobachtungsstudie und aus der Beanspruchungsmessung klare Indikatoren ableiten. Zentrales Anliegen zur Ausschöpfung des Potenzials des ATM Systems 2 muss die Reduktion von luftfahrzeugbezogenen Aktivitätszeiten sein. Hier bieten sich mehrere Ansatzpunkte.

Bei den beobachteten Aktivitäten ist es auffällig, dass die Interaktion mit dem System im Sinne von Systemeingaben einen hohen Anteil einnimmt. Folgerichtig kann eine Optimierung der Systeminteraktion auch einen großen Beitrag zur Reduktion der Aktivität leisten. Ein weiterer Beitrag könnte durch eine Reduktion des Sprechfunks mittels Einsatz von Data Link erbracht werden. Hier ist es aber mehr als unklar, welche Verschiebungen oder Substitutionseffekte sich ergeben würden. Deshalb ist es empfehlenswert, diesen möglichen Beitrag gesondert zu untersuchen.

chen. Die weiteren Kategorien der beobachtbaren Aktivität machen einen so geringen Anteil aus, dass ein Beitrag zum Kapazitätspotenzial weitgehend ausgeschlossen werden kann.

Bei den nicht beobachtbaren Aktivitäten lassen sich zwei große Anteile unterscheiden: zum einen das regelmäßige Monitoring aller Systeme und Interaktionsmedien, und zum anderen aktive Problemlöseprozesse nach Detektion einer entsprechenden Situation durch das Monitoring. Beide Aktivitäten werden mit großer Wahrscheinlichkeit nach der Inbetriebnahme des ATM Systems 2 zunächst in „gewohnter Weise“ beibehalten werden. Hier kommt es darauf an, durch das ATM System 2 technische Unterstützung anzubieten, in die die Bediener entsprechendes Vertrauen aufbauen können. Zentrales Element ist dabei die elektronisch unterstützte Konflikterkennung („Medium Term Conflict Detection“, MTCD) und Konfliktlösung („Conflict Resolution Assistance“, CORA). Beide Systeme müssen so zuverlässig arbeiten, dass die Operateure beginnen, sich auf diese Systeme zu verlassen. Erst dadurch kann eine Reduktion der beiden wesentlichen nicht beobachtbaren Aktivitätsanteile (Monitoring, Problemlösen) stattfinden, der Raum für weitere Kapazität im Gesamtsystem schafft.

Zur Zuverlässigkeit der elektronischen Unterstützung durch MTCD und CORA wird die Signalentdeckungstheorie herangezogen [8]. Sie ermöglicht es, a priori die notwendige Zuverlässigkeitsrate für die Systeme zu bestimmen. Genauere Betrachtungen zu diesem Ansatz stehen noch aus.

Damit kann die Hypothese 2 („Das Kapazitätssteigerungspotenzial für das ATM System 2 ist positiv“) als verifiziert betrachtet werden. Auf Grund der vorliegenden Daten wird von einem erheblichen Kapazitätssteigerungspotenzial für das ATM System 2 ausgegangen. Insgesamt zeigt sich aber auch, dass dieses Potenzial nur durch einen umfangreichen Optimierungsprozess erschlossen werden kann.

Ausblick

Die angewendete Methodik erlaubt eine präzise und detaillierte Bestimmung der Kapazität eines ATM Systems im Vergleich zu einem anderen ATM System. Gleichzeitig gewährt sie instruktive Einblicke in das Potenzial eines neuen ATM Systems. Beide Ergebnisse lassen sich deutlich vor

Inbetriebnahme und mit statistisch abgesicherten Aussagen erzielen. Damit stellt die Methodik zur experimentellen Bestimmung des Kapazitätssteigerungspotenzials neuer Air Traffic Management Systeme ein Hilfsmittel für die rechtzeitige Optimierung neuer ATM Systeme dar.

Die Methodik lässt sich einfach auf andere ATM Systeme, Standorte und benachbarte Fragestellungen (z.B. Luftraumoptimierung) ausweiten. Dabei ist allerdings auf Grund der hohen Aufwände eine fallweise Aufwand-Nutzen-Betrachtung im Vorfeld unerlässlich.

Da mit der Methodik ein ATM System im Zusammenspiel von Mensch und Technik in allen wesentlichen Rollen und mit allen Akteuren bewertet wird, lässt es sich ebenfalls zu Zertifizierungszwecken oder zum Aufdecken von Schwachstellen in (einführungsnahen) zukünftigen Konzepten und Systemen einsetzen.

Aus diesen Gründen hat die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH als einer der europaweit führenden Anbieter von Flugsicherungsdienstleistungen die beschriebene Methodik als standardisierte Vorgehensweise zur Einführung neuer ATM Systeme unternehmensweit etabliert.

Schrifttum

- [1] Flynn, G., Benkouar, A. & Christien, R.: Pessimistic sector capacity estimation. EEC Note 21/03. Eurocontrol: Bretigny sur Orge, 2003.
- [2] Eurocontrol (Hrsg.): Performance Review Report 8. Eurocontrol: Brüssel, 2005.
- [3] Kallus, K. W., Barbarino, M. & Van Damme, D.: Integrated Task and Job Analysis of Air Traffic Controllers Phase 1. Eurocontrol: Brüssel, 1998.
- [4] Kallus, K. W., Van Damme, D. & Dittmann, A.: Integrated Task and Job Analysis of Air Traffic Controllers Phase 2: Task analysis of En-route Controllers. Eurocontrol: Brüssel, 1999.
- [5] Gingell, R., Strachan, C., Taylor, A., Kinnerly, S. & Fox, S.: INTEGRA Metrics & Methodologies Execution Phase – Final Report. Eurocontrol: Brüssel, 2005.
- [6] Jordan, C.S.: Experimental study of the effects of an instantaneous self assessment workload recorder on task performance. Report No. DRA/TM(CAD5)/ 92011. Farnborough: Defence Evaluation & Research Agency, 1992.

- [7] Hart, S.G. and Staveland, L.E.: Development of a NASA TLX (NASA Task Load Index): Results of empirical and theoretical research; In P.A. Hancock and N. Meshkati (Hrsg.), Human Mental Workload, Amsterdam, 1988.
- [8] Green, D. M. & Swets, J. A: Signal detection theory and psychophysics. Wiley: New York, 1966.

Abkürzungen

ATM	Air Traffic Management
CAPAN	Capacity Analysis Method
CORA	Conflict Resolution Assistant
DFS	DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
ft	Fuß (ca. 0,3 m)
IPL	Information Processing Load
ISA	Instantaneous Self Assessment
ITA	Integrated Task Analysis
MDW	Main Data Window
MTCD	Medium term Conflict Detection
PRU	Performance Review Unit
TID	Touch Input Device
TLX	Task Load Index

Erfahrungen aus den europäischen Projekten C-ATM und Gate-to-Gate

Dr. Matthias Poppe, TEA

In Ergänzung zum Projekt Gate-to-Gate (G2G) wurde parallel dazu das von der Europäischen Union geförderte Projekt "Co-operative Air Traffic Management" (C-ATM) durchgeführt. Projektstart war im April 2004, Projektende im Januar 2006.

Dieser Artikel beschreibt die Erfahrungen aus dem Projekt C-ATM und fasst die Ergebnisse der G2G-Realzeitsimulationen in Bretigny aus Sicht von DFS-Lotsen zusammen.

Resümee der C-ATM Ergebnisse

Bei C-ATM handelte es sich um ein internationales Projekt, bestehend aus 22 Partnern, u.a. Lufthansa, AENA, Airbus, INDRA, NATS und EUROCONTROL. Es wurde von der Europäischen Kommission (DG TREN) innerhalb des 6. Rahmenprogramms gefördert.

Projektziele auf europäischer Ebene waren die Definition eines operationellen Konzeptes und

der technischen Boden- und Bordsysteme.

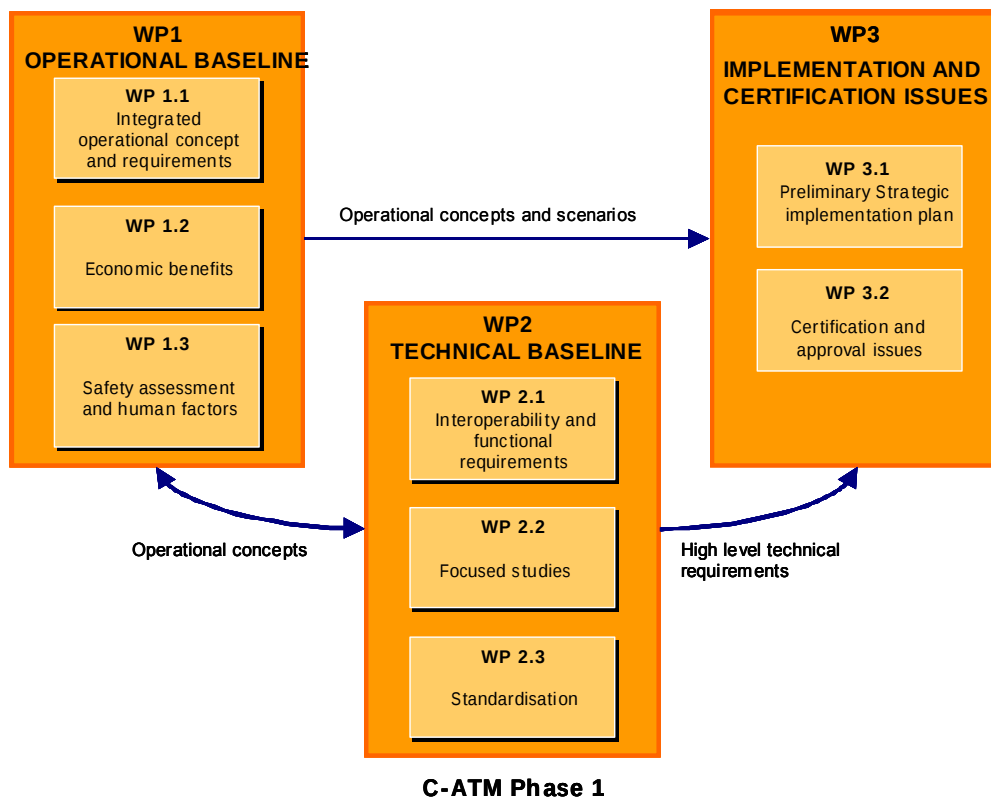
Außerdem wurden Validierungspläne und eine Transition Roadmap erarbeitet.

Die DFS hat sich als Partner mit den Bereichen TE und CC/FE beteiligt. Schwerpunkte waren die Mitarbeit bei der Entwicklung des C-ATM Operationellen Konzeptes und bei der Roadmap und Transition Planning (WP1.1, WP3.1).

Die Mitarbeit am operationellen Konzept war dabei von großer Bedeutung, da hier die entscheidenden Weichenstellungen für das gesamte Projekt vorgenommen wurden. Der gewählte Top-Down Ansatz mit Erstellung eines

- High Level Operational Concepts (HLOC),
- Operational Concept Documents (OCD) und den detaillierten
- Operational Services and Environment Beschreibungen

hat sich bewährt. Dadurch wurde ein durchaus



realistisches aber dennoch zukunftsweisendes und ambitioniertes Gesamtkonzept erstellt.

Durch die Mitarbeit der Industrie, gerade auch Airbus, verschiedener Luftfahrtgesellschaften (insbesondere Lufthansa und Air France), Forschungseinrichtungen und Flugsicherungsorganisationen war ein breites Spektrum der im ATM-Bereich involvierten Stakeholder eingebunden.

Die DFS genießt in diesem Umfeld ein hohes Ansehen und war an allen maßgeblichen Entscheidungen und Weichenstellungen im Projekt beteiligt. Außerdem hatte die DFS die Führungsrolle bei der Erstellung der Transition Roadmap und war für das vertraglich vereinbarte Schlussdokument inhaltlich und formal verantwortlich. Auch beim operationellen Konzept hat die DFS eine Führungsrolle bei der Erstellung des En-Route Teils übernommen.

Alle Ergebnisdokumente sind auf der C-ATM Webseite



<http://www.c-atm.org>

zu finden.

Erfolgsfaktoren im Projekt C-ATM

Durch das Einbinden der Kunden (Airlines) über die Teilnahme an der sog. User Group wurde versucht, eine maximale Nutzer-Akzeptanz für ein zukunftsorientiertes ATM-Konzept zu erreichen. Diese Akzeptanz wurde auch in hohem Maße erreicht. Allerdings war es nicht in allen Konzeptbereichen der Fall, da selbst innerhalb der Airlines die Meinungen über das „beste“ Konzept divergieren. Zumindest wurden durch die Diskussionen in der User Group eine größtmögliche Transparenz und ein gegenseitiges Verständnis auch für die Sicht der jeweils anderen Seite erreicht.

Weitere Faktoren waren der Zugriff auf die detaillierten Projektergebnisse und der Know-how Transfer innerhalb der Projektpartner. In den Konzeptdokumenten spiegelt sich ein hoher Detaillierungsgrad wider, wie er sonst nur noch im Eurocontrol OCD (CONOPS) zu finden sein dürfte. In Ergänzung zu den Eurocontrol-Dokumenten wurde hier aber besonderer Wert

auf das „Trajectory Management“ gelegt, welches mit aktiver Unterstützung von Airbus erarbeitet wurde.

Ein weiterer Erfolgsfaktor war die Einnahme von Fördergeldern über die 50%-Aufwandserstattung durch die Europäische Kommission.

Zukunftsperspektiven

Die User Group als ein vom Projekt C-ATM unabhängiges Beratungsgremium hat sich bewährt. Die Leitung erfolgte durch einen neutralen Experten, und es waren dort Vertreter der Airlines (u.a. Lufthansa, British Airways, Air France) und der Flugsicherungsorganisationen (NATS, AENA, LFV, DFS) involviert. Es wurde offen über alle Themen diskutiert, nicht immer im Einverständnis. Daraus leitete die Gruppe dann Empfehlungen für das Projekt ab. Diese Rückmeldung und Kommentierung sowie teilweise aktive Steuerung durch „User Requirements“ war sehr fruchtbar.

Die DFS wurde ihrem Ruf als verlässlicher und kompetenter Partner gerecht. Persönliche Kontakte wurden neu geschlossen bzw. bestehende Kontakte gefestigt. Dies ist ein nicht zu unterschätzender Faktor, da zukünftige Entscheidungen im Flugsicherungsbereich mehr und mehr auf europäischer Ebene getroffen werden, und somit dem „Lobbying“ und dem Vertreten von gemeinsamen Interessen in Gruppen mit anderen kompetenten Partnern in diesem Umfeld ein immer stärkeres Gewicht zufällt.

Es ist anzunehmen, dass die Ergebnisse dieses Projektes Eingang in weitere europäische Programme wie z.B. SESAR (Single European Sky ATM Research) finden. Die auch von der Europäischen Kommission anerkannte hohe Qualität der Berichte und die breite Beteiligung vieler europäischer ATM-Partner bilden hierfür eine hervorragende Grundlage.

Die DFS-Beteiligung an weiteren europäischen Konzept- und Validierungsaktivitäten erscheint sinnvoll und notwendig, gerade in Bezug auf den En-Route Bereich, da hier die entscheidenden Weichenstellungen auf der internationalen Ebene erfolgen werden. Wir haben auch in diesem Bereich ein anerkanntes hohes fachliches und methodisches Know-how. Ich empfehle dieses in Vorträgen und Konferenzen nach außen zu tragen und somit auch die Reputation im wissenschaftlichen Umfeld zu erhöhen.

Ergebnisse der Realzeitsimulationen vom Projekt GATE-TO-GATE liegen vor

Von Timo Messelberger, CC/F-U, Roland Scharff, CC/F-M, Jochen Baumgarten, CC/F-M

Im Februar bis April 2006 wurden bei Eurocontrol in Bretigny Realzeitsimulationen auf der AVENUE Compliant ESCAPE (ACE) Plattform mit Beteiligung von drei DFS-Lotsen durchgeführt. Dabei nahm Timo Messelberger an der 3-wöchigen En-Route **Simulation des Luftraumes Maastricht** (Sektoren: Delta, Ruhr, Munster) teil. Seine Erfahrungen sind nachfolgend zusammengefasst:

Datalink

- *bestes Tool der Simulation*
- *allerdings im Moment unrealistische 75% Ausstattung der Flugzeuge (zur Zeit 2% im echten Leben)*
- *entlastet Executive Controller extrem, z.B. Frequenzwechsel zum nächsten Sektor oder Speedcontrol durch Planer*
- *großes Potenzial zur Kapazitätssteigerung*

Medium Term Conflict Detection (MTCD)

- *für Executive bei hohem Verkehr nicht zu gebrauchen; zu viele Symbole, zu viele Farben, lenkt Blick des Lotsen vom Radar ab*
- *für Planer als Planungshilfe bei niedrigem bis mittleren Verkehr okay und ausbaufähig*
- *wurde von den Lotsen aus Maastricht eher als 5-min-STCA genutzt*
- *auch für vertikal stark belastete Sektoren z.B. TGO, WUR nicht oder nur sehr eingeschränkt benutzbar*

Airborne Separation Assurance Systems (ASAS)

- *für den oberen Luftraum nicht zu gebrauchen*
- *zu viel Zeitverschwendung für zu geringen Benefit -> Frequenzbelastung steigt wieder !!*
- *nur auf gemeinsamen Punkt (Fix) möglich*
- *mit „konventionellem“ Speed Control viel einfacher und schneller zu erledigen*

Ankündigung

Am 18. und 19. Oktober 2006 findet in Paris die Vorstellung aller GATE-TO-GATE Projektergebnisse statt (u.a. Plattformentwicklung, technische Spezifikationen, 27 Realzeit- und Schnellzeitsimulationen). Bei Interesse an den Ergebnissen sind weitere Informationen beim Projektleiter Dr. Matthias Poppe zu erfahren.

Hinweis:

zu den Projekten C-ATM und Gate-to-Gate finden sie Artikel auch in früheren Ausgaben dieser Zeitschrift:

- Ausgabe 1/05: Das Projekt Co-operative Air Traffic Management (C-ATM)
- Ausgabe 2/02: Das EU-Projekt "Gate-to-Gate" im internationalen Kontext

Roland Scharff und Jochen Baumgarten nahmen an den 3-wöchigen **Realzeitsimulationen der TMA Rom** teil. Ihre Erfahrungen sind:

Arrival Manager (AMAN)

- *BARCO AMAN*
- *Keine automatischen Updates, Sequence Manager (Arbeitsposition) macht Updates manuell → kontraproduktiv zum AMAN*
- *hier: AMAN macht (schlechte) Sequenzplanung*

Datalink

- *Antwortzeit konstant 30 sec., keine Fehler/Timeouts, dadurch nutzbar in ACC, aber in APP Umgebung keine sinnvolle Nutzung – zeitkritische Freigaben z.B. bei vertical clearances mit climb rate sind unrealistisch, wenn die Antwortzeit nicht bekannt ist*
- *Sowohl Planner als auch Executive nutzen D/L, Planner auch in Funktion als 2. Executive einsetzbar, z.B. Planner für Handover*
- *Arbeitslasterleichterung unklar wegen Aufwand für Monitoring der A/C, Umsetzen der Freigabe, Zeitkritikalität*
- *Planner hat keine Vorplanung durchgeführt auch wegen Simulationsplattform (späte Flugplandatenverfügbarkeit)*
- *Assume sollte nicht durch Planner erfolgen wegen Situational Awareness des Executive Lotsen*

Airborne Separation Assurance Systems (ASAS)

- *Anweisungen zu komplex, viel Arbeitsaufwand R/T und im HMI (D/L wäre hilfreich gewesen); Freigabe immer nur zum A/C möglich wenn er auf den Merge Point zufliegt*
- *Lotse für Staffellung verantwortlich weiß aber nicht was die A/C machen → hoher Aufwand für Monitoring bzw. Situational Awareness geht verloren*
- *Nicht ausgerüstete A/C dazwischen stellen ein hohes Sicherheitsrisiko dar (z.B. bei speed changes), kein Wissen beim Lotsen über A/C-Verhalten*
- *Probleme mit verschiedener A/C-Performance (z.B. turn angle, final approach speeds)*
- *Was macht der Pilot bei Problemen? → ungeklärt*
- *Departures wurden nicht betrachtet, kein Wind*

Elektronische Koordination (SysCo)

- *Sinnvoll, da viele Koordinationen notwendig waren und bei dieser Simulation Verfahren bzw. Absprachen nicht vorhanden waren*
- *Koordinationen mussten vom empfangenden Sektor bestätigt werden → sinnvoll*
- *Koordinierte Freigaben konnten mit D/L per Mausklick verschickt werden → positiv*
- *Überfrachtete Label mit CFL, AFL, XFL → störend*

Controller Access Parameters (CAP)

- *Z.B. actual heading, indicated airspeed, actual rate of climb*
- *Alles sehr Interessante/wichtige Parameter die dem Lotsen viele Nachfragen ersparen können, wenn er sie aus einem Extended Label bei Bedarf auslesen kann*

Erste Realzeitsimulation im Projekt MSP-D/L

Stephan Herr, Dr. Andreas Herber, TEA

1 Einleitung

Vom 01.03. bis 21.03.2006 fand am Forschungssimulator AFS die erste Realzeitsimulation im Rahmen des Projekts MSP-D/L statt. Aufgrund der betrieblichen Erfordernisse der Niederlassung Karlsruhe wurden zukünftige Arbeitsweisen und Verfahren mit einer neuen Luftraumstruktur und unter Einsatz des Multi-Sector-Planners untersucht. Zum Einsatz kam ein prototypisches ATM-System (TE-Eigenentwicklung), dessen Funktionalitäten soweit als möglich an P1/VAFORIT angelehnt sind. Der ursprünglich geplante zusätzliche Untersuchungsschwerpunkt Data Link wurde auf die zweite Realzeitsimulation verschoben.

2 Das Projekt

Gegenstand des Projektes ist die Weiterentwicklung und Untersuchung von Arbeitsweisen und Verfahren mit Systemfunktionalitäten - wie z.B. Data Link oder Medium Term Conflict Detection (MTCD), die in künftigen ATM Systemen zu erwarten sind. Ziel ist der Transfer der Ergebnisse in die spätere Anwendung, um den betrieblichen Nutzen künftiger ATM Systeme durch angepasste Verfahren und Luftraumstrukturen zu erhöhen.

Um die Untersuchungen möglichst praxisnah zu gestalten, wurde der Fokus der Betrachtung im Rahmen dieses Projekts auf den oberen Luftraum der Niederlassung Karlsruhe beschränkt, da nach der gegenwärtigen Centerplanung die entsprechenden Systemfunktionalitäten - mit P1/VAFORIT - dort zuerst zur Verfügung stehen werden.

2.1 Voruntersuchungen

Vor der eigentlichen Realzeitsimulation waren Voruntersuchungen notwendig, die unter Federführung der Niederlassung Karlsruhe durchgeführt wurden. Diese beinhalteten:

- Untersuchungen von Alternativen und Auswahl der in der Simulation zu nutzenden neuen Sek-

tor- und Routenstruktur des Karlsruher Luftraums.

- Die Auswahl der Arbeitsweisen und Verfahren für die Simulation.

Die Ergebnisse wurden dokumentiert und bei der Datenvorbereitung zur Simulation berücksichtigt [1].

3 Die Simulation

Zur Durchführung der Simulation waren folgende Voraussetzungen zu schaffen:

- Die Umsetzung der in der Voruntersuchung definierten Modelle zur Sektor- und Routenstruktur in der Simulationsumgebung.
- Die Entwicklung von Verkehrsszenarien mit heutigem und zukünftig prognostiziertem Verkehr für alle Untersuchungskonfigurationen.
- Die Implementierung der erforderlichen technischen Funktionalitäten in das prototypische ATM-System.
- Die Konfiguration des Simulators einschließlich aller Aufzeichnungssysteme für die verschiedenen Untersuchungskonfigurationen.
- Die Vorbereitung und Durchführung von Briefings- und Trainingseinheiten für die beteiligten Lotsen und Simulationspiloten.

Im Folgenden wird die Realzeitsimulation bezüglich simuliertem Luftraum, angewandter Verfahren und technischer Funktionalitäten näher erläutert.

3.1 Zielsetzung

Die Zielsetzung der durchgeführten Simulation bestand in der Untersuchung folgender Hypothesen:

- Mit der neuen Luftraumstruktur im Vergleich zur heutigen Struktur verringert sich die Lotsenarbeitslast bei gleich bleibender Sicherheit und Wirtschaftlichkeit.

- Der Einsatz des Multi-Sector-Planners ermöglicht die Bearbeitung des Verkehrs mit dem gleichen Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsniveau wie bei der traditionellen Rollenaufteilung.
- Die beiden obigen Hypothesen gelten sowohl für den heutigen Verkehr, als auch für den zukünftigen Verkehr, der auf ca. 120% des heutigen Verkehrs festgesetzt wurde.

Außerdem wurde die Anwendbarkeit der neuen Verfahren im Zusammenspiel mit den technischen Funktionalitäten, sowie die Auswirkung der Neuerungen auf Teamverhalten und –interaktion untersucht.

3.2 Luftraum

Als Luftraum wurde die UIR Karlsruhe simuliert. Gemessen wurden dabei jeweils vier Sektoren, von denen je zwei den Einsatzberechtigungsgruppen West und Central zuzuordnen waren. Für nähere Angaben zu den jeweils simulierten Sektoren sei auf die Beschreibung der Untersuchungskonfigurationen in Kapitel 4.1 verwiesen.

Zum einen wurde mit der bestehenden Sektor- und Routenstruktur simuliert.

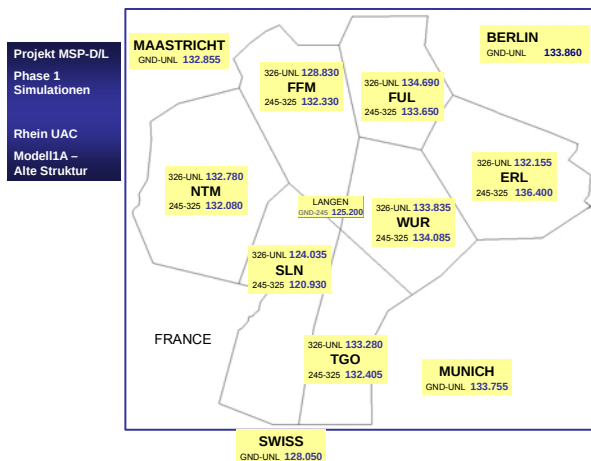


Abb. 1: Bestehende Sektorstruktur

Bei der neuen Sektor- und Routenstruktur wurden die Grenzen auch zwischen bestehenden Sektoren leicht an die geänderte Routenstruktur angepasst. Zusätzlich wurden die bestehenden Sektoren SLN und TGO ersetzt durch die neuen Sektoren KRH und SUL.

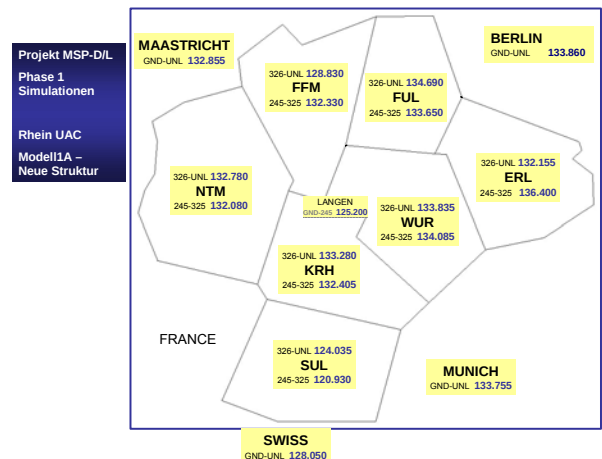


Abb. 2: Neue Sektorstruktur

Die neue Routenstruktur sieht im Wesentlichen die direkte Führung aller Überflüge vom Einflugs- bis zum Ausflugspunkt der Karlsruhe UIR vor. Die An- und Abflüge werden bis zum Erreichen der Reiseflughöhe auf Standardstrecken geführt und anschließend direkt zum Ausflugspunkt freigegeben.

3.3 Verfahren

Die in der Simulation anzuwendenden Verfahren wurden dem bestehenden Entwurf des Karlsruher Betreiberkonzepts zum Einsatz des P1/VAFORIT Systems entnommen. Sie wurden größtenteils bereits in einer früheren bei TE durchgeführten Realzeitsimulation (siehe TE im Fokus 2/04) untersucht.

Die Hauptmerkmale der neuen Verfahren sind:

- Die Konflikterkennung wird durch MTCD übernommen, STCA ist als Sicherheitsnetz vorgesehen.
- Die Zuständigkeit zwischen EC (Executive Controller) und PC/MSP (Planning Controller, Multi Sector Planner) ist festgelegt durch den Status des Luftfahrzeugs („assumed“ – Zuständigkeit des EC, „advanced“ – Zuständigkeit des PC/MSP).
- Bis 5min vor Übergabe ist elektronische Koordination zulässig, erst danach ist verbale Koordination erforderlich.
- Bei vertikaler Sektorübergabe ist keine verbale Koordination erforderlich, die Lfz. werden in der höchsten bzw. niedrigsten Flugfläche übergeben („Silent vertical Handover“).

- Bei der Frequenzübergabe eines Lfz. erfolgt auch die Übergabe der Kontrolle, d.h. der annehmende Sektor darf Freigaben erteilen, obwohl sich das Lfz. noch im vorigen Sektor befindet, wenn er die Konfliktfreiheit sicherstellen kann (Transfer of Control = Transfer of Communication).
- Keine Freigabe und kein Frequenzwechsel darf ohne Eingabe in das System erfolgen.

3.4 System

Für die Simulation stand der Forschungssimulator AFS mit insgesamt acht Lotsenpositionen zur Verfügung. Jede Position war wie in Abb. 3 gezeigt mit ASW (Air Situation Window, Radar), MDW (Main Data Window, elektronische Streifen) und zwei TIDs (Touch Input Device) für Funk/Telephonie (Voice Comm) und die Online-Beanspruchungserhebung (NASA-TLX) ausgestattet.

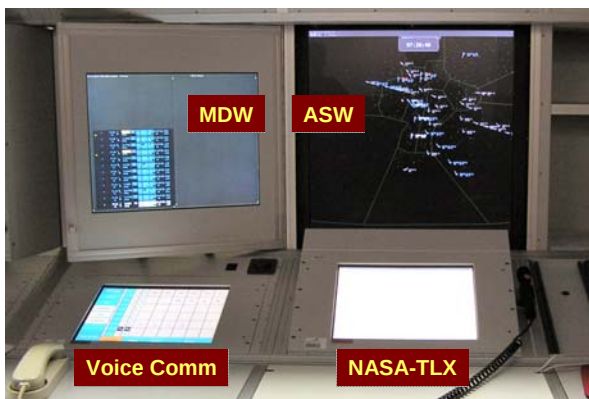


Abb. 3: Lotsenarbeitsplatz

Folgende wesentliche technische Funktionalitäten standen zur Verfügung [3]:

- Planungshilfen im ASW (Radar): Display von QDM (Abstand zwischen Punkten), MinSep (linear extrapolierter Mindestabstand zwischen Flugzielen) und DFL (Dynamic Flight Leg: geplanter Flugweg).
- Die Flugzielanzeige entsprach dem Flugstatuskonzept von P1/VAFORIT (z.B. advanced, assumed, concerned) mit kontextabhängigen Informationen im Label.
- Änderungen der geplanten Systemtrajektorie, Frequenzwechsel und Freigaben konnten über entsprechende Menüs im ASW und MDW (s. Abb. 4) vorgenommen werden.

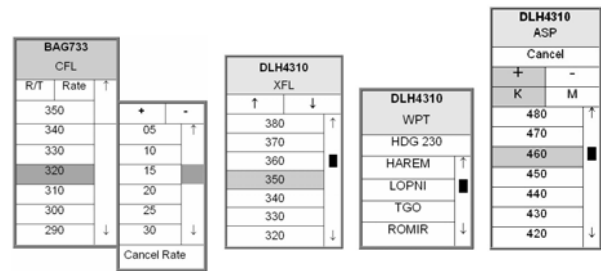


Abb. 4: Beispiele der im ASW und MDW implementierten Menüs

- Die Darstellung der Ausgaben des integrierten MTDC-Moduls erfolgte in einem separaten „Problem Display Window“ innerhalb des ASW (s. Abb. 5). In einem Koordinatensystem wurde der erwartete Mindestabstand, sowie die Zeit bis zum Beginn des Konflikts dargestellt.

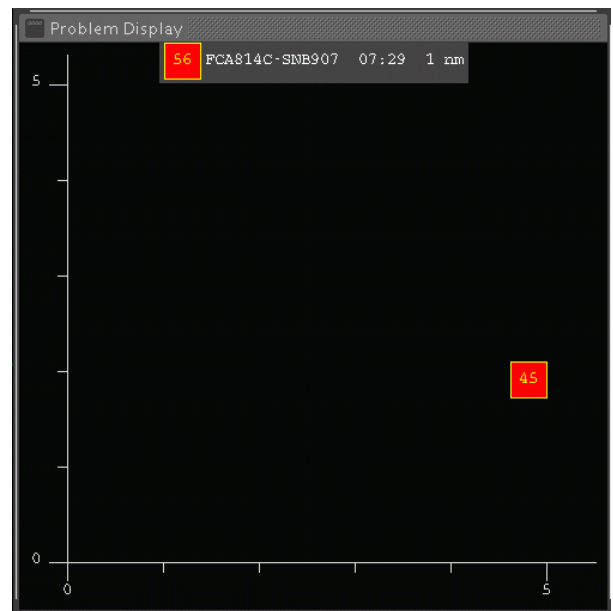


Abb. 5: „Problem Display“ für die Anzeige von MTCDs

- Die Darstellung der elektronischen Flugstreifen erfolgte im MDW. Hier bestand zusätzlich die Möglichkeit zur lokalen Markierung von Lfz., sowie zur Delegation von potentiellen Konflikten (s. Abb. 6).

MTCD IDs		MTCD	Lokale Markierung		Sektormarkierung → Delegation	
10	+	18:26 T1	AFL300 A319	370 370	TG0-NATOR NATOR-OLBEN	18:31 DEL U SW LEM
	+	18:26 T1	IBE3555 A320	350 350	TG0-NATOR NATOR-OLBEN	18:31 DEL EDDT SW LEMD
3 6 7	+	18:23 T1	IBE3547 A320	370 370	TG0-NATOR NATOR-OLBEN	18:28 DEL EDDT SW LEMD
	+	18:23 T1	AFL299 A319	370 370	TG0-NATOR NATOR-OLBEN	18:28 DEL UUEE SW LEMD
1 7 8 10	+	18:15 F1	BLX151 B752	370 370	BOMBI-GIGET NATOR-OLBEN	18:30 DEL ESSA SW LEPA
	+	18:13 F1	BLX143 B738	370 370	BOMBI-ABUKA NATOR-OLBEN	18:28 DEL ENQM SW LEPA

Abb. 6: Streifendarstellung mit Markierungen und MTCDs

Systemseitig vorbereitet, aber in dieser Simulation noch nicht genutzt wurde die angeforderte Data Link Funktionalität des Simulators. Zwar war die HMI-seitige Implementierung komplett, zur Nachbildung des Data Link Verhaltens (Verzögerung, Ausfälle etc.) sind jedoch noch weitere Voraussetzungen zu schaffen.

Ein Ausschnitt aus dem ASW bei einer der Simulationsläufe mit Trajektoriendarstellung und MTCD zeigt Abb. 7.

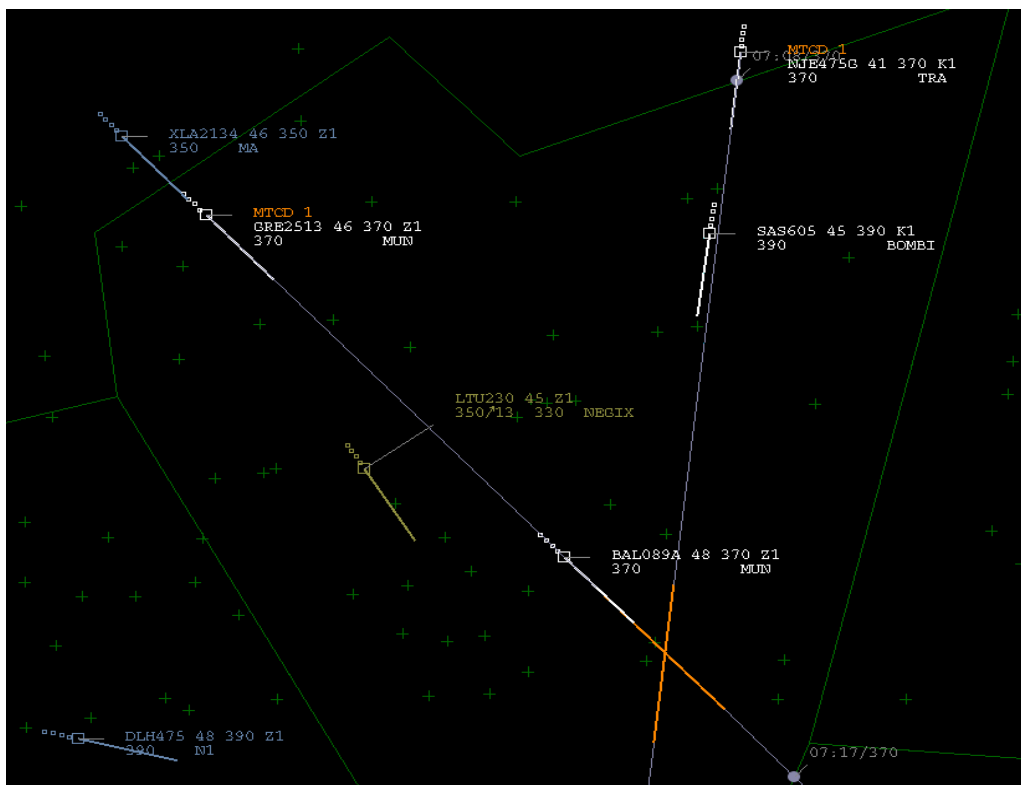


Abb. 7: ASW mit Trajektoriendarstellung bei einem MTCD

4 Experimentaldesign

4.1 Untersuchungskonfigurationen

Um die unterschiedlichen Arbeitsverfahren und Luftraumstrukturen vergleichen zu können, wurden verschiedene Untersuchungskonfigurationen erstellt. Dazu standen am AFS acht Lotsenarbeitsplätze, die mit Karlsruher Personal besetzt waren, plus zwei „Adjacent“-Positionen zur Verfügung. Bei der Definition der Untersuchungskonfigurationen wurde darauf geachtet, von einer zur nächsten Konfiguration jeweils nur wenige Parameter zu verändern, um die Auswirkung dieser Veränderung möglichst genau analysieren zu können. Diese Simulation musste nicht bei „heutigen“ Verfahren begonnen werden, da auf die Ergebnisse früherer Simulationen im Rahmen des Projektes „Gate-to-Gate“ zurückgegriffen werden konnte (s. „TE im Fokus 2/04“). Insgesamt sieben unterschiedliche Untersuchungskonfigurationen wurden diesmal simuliert.

Konfigurationen 1-3

Hier wurde das Gebiet der Sektoren FFM, WUR, TGO und SLN von FL335 bis UNL aktiv kontrolliert. Alle anderen Sektoren wurden in zwei „Adjacent“-Positionen zusammengefasst. Der Simulationsablauf war:

- EC/PC, alte Luftraumstruktur, laterale Anordnung der Sektoren FFM, WUR, TGO, SLN
- EC/PC, neue Luftraumstruktur, laterale Anordnung der Sektoren FFM, WUR, KRH, SUL
- MSP-lateral, neue Luftraumstruktur, laterale Zusammenfassung von FFM und WUR, sowie KRH und SUL

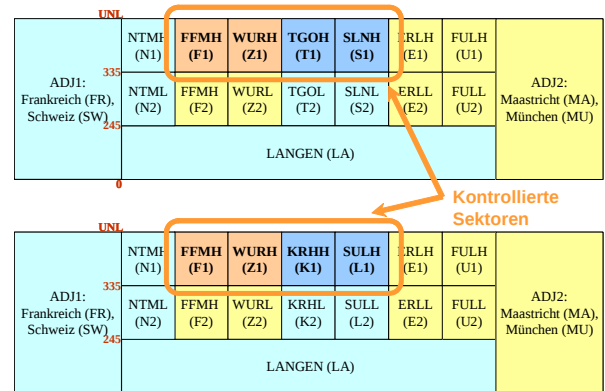


Abb. 8: Untersuchungsbedingung 1-3 (lateral, alte und neue Luftraumstruktur)

Untersuchungsbedingung 4-5

Hier wurden die Sektoren NTM und FFM (jeweils von FL245-335 und von FL335-UNL) aktiv kontrolliert. Der Ablauf war:

- EC/PC, alte Luftraumstruktur
- EC/PC, neue Luftraumstruktur

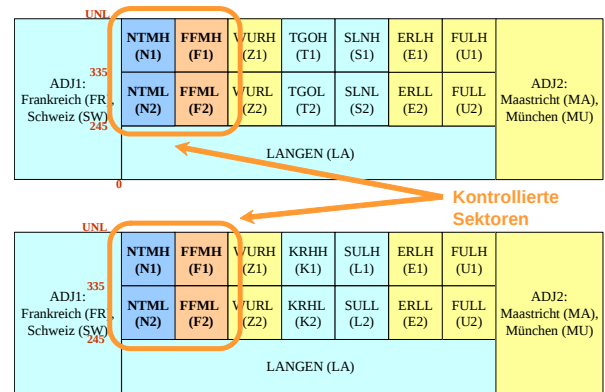


Abb. 9: Untersuchungsbedingung 4-5 (vertikal, alte und neue Luftraumstruktur)

Untersuchungsbedingungen 6-7

Hier wurden die Sektoren WUR und KRH (jeweils von FL245-335 und von FL335-UNL) aktiv kontrolliert. Der Ablauf war:

- EC/PC, neue Luftraumstruktur
- MSP-vertikal, neue Luftraumstruktur, vertikale Zusammenfassung der Sektoren (KRH „low“ und „high“, sowie WUR „low“ und „high“)

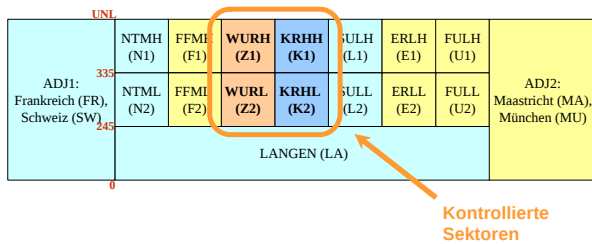


Abb. 10: Untersuchungsbedingung 6-7 (vertikal, neue Luftraumstruktur)

4.2 Verkehr

Die entwickelten Szenarien basieren auf Luftverkehr vom 03.06.2005, also der zum Zeitpunkt der Simulation (fast) höchsten Verkehrsmenge in der Karlsruhe UIR. In der Simulation wurde heutiger Verkehr simuliert sowie zukünftig prognostizierter Verkehr, der auf ca. 120% des heutigen Niveaus festgelegt wurde. Da aus ablauftechnischen Gründen nicht für alle kontrollierten Sektoren eines Szenarios die exakt gleich hohe Verkehrsmenge gewährleistet werden kann, wurden Verkehrsmengen zwischen 80% und 130% bezogen auf aktuelle Sektoreckwerte bearbeitet.

Jede Untersuchungskonfiguration wurde insgesamt viermal mit unterschiedlichen Verkehrsszenarien simuliert und somit durchflogen in den Simulationen über 16.000 Luftfahrzeuge die Karlsruhe UIR.

4.3 Untersuchungsmethodik

Um die Simulationsdurchläufe im Hinblick auf die Auswirkung der neuen Luftraumstruktur und der neuen Rollenverteilung beurteilen zu können, wurden sowohl objektive Daten durch den Mitschnitt von Ereignissen während der Simulation, als auch subjektive Daten durch Befragung der beteiligten Lotsen erfasst.

Die objektiven Daten umfassten beispielsweise:

- Anzahl der Luftfahrzeuge in den Sektoren
- Anzahl der Vertikalbewegungen
- Verweildauer in den Sektoren
- Anzahl und Art der Kontrollfreigaben
- Anzahl und Dauer der Koordinationsgespräche.

Die subjektiven Messungen umfassten:

- Elektronische Beanspruchungsanalyse, die alle 5 min durchgeführt wurde
- Rechnergestützte Tätigkeitsanalyse an je einem Sektor
- Strukturiertes Interview nach jedem Run
- Verschiedene Fragebogen
- Exemplarische Beobachtung durch operationelle Experten.

Über diese „klassischen“, bei TE bereits in früheren Realzeitsimulationen eingesetzten Messmethoden hinaus wurden erstmals Video-Aufzeichnungen erstellt, um die Informationsaufnahme und -verarbeitung der Lotsen zu analysieren. Unter Beteiligung des Instituts für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt bei Vorbereitung, Durchführung und Auswertung kamen dabei zwei verschiedene Methoden zur Anwendung [4]:

- „Eye-Tracking“, d.h. Erfassung der Blickbewegung des Lotsen. Die Aufzeichnung erfolgte jeweils an einem Arbeitsplatz pro Simulationslauf (s. Abb. 11).

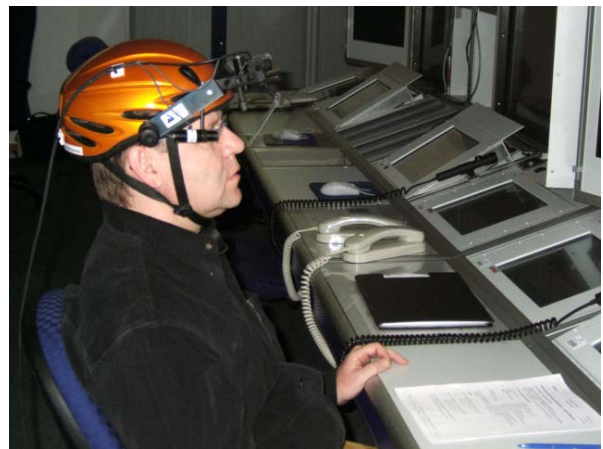


Abb. 11: Lotse mit Eye-Tracking-Equipment

- „Video-Monitoring“, d.h. grobe Analyse der Körperhaltung (aufrecht, vorgebeugt, zurückgelehnt etc.) oder Kopfausrichtung. Die Aufzeichnung erfolgte an jeweils vier Arbeitsplätzen (s. Abb. 12).



Abb. 12: Position der Video-Kameras am AFS

4.4 Kennzahlen

In insgesamt 48 Simulationsläufen wurden 7 unterschiedliche Versuchsbedingungen mit wechselndem Luftverkehr, Routenstruktur, Sektorisierung und Rollenverteilung untersucht.

Insgesamt wurden knapp 50 Stunden Luftverkehr in Form von Datenaufzeichnungen am Simulationssystem, Videoaufzeichnungen, Blickbewegungs- und Tätigkeitsanalysen sowie unterschiedlichen Fragebögen festgehalten.

In den 15 Simulationstagen wurden 12 Trainings- und 31 Meßruns durchgeführt (was gut 38 Std. Untersuchung entspricht).

5 Weiteres Vorgehen

Der Ergebnisbericht ist derzeit in der Erstellung; mit dessen Abschluss wird im August gerechnet. Gegenstand einer zweiten Realzeitsimulation (derzeit geplant für Anfang 2007) werden erweiterte Funktionalität (u.a. Data Link), sowie weiterentwickelte Verfahren und Luftraumstruktur sein, in welche die Erfahrungen aus dieser Simulation einfließen.

Referenzen

[1]	Projekt MSP-DL: Simulationshandbuch "Realzeitsimulation Phase1", PD-2006-02
[2]	Projekt MSP-DL: Trainings- und Briefingmaterial zur Realzeitsimulation Phase 1
[3]	Projekt MSP-DL: Simulation Requirements for Phase 1, 05.08.05, PD-2005-15
[4]	Ergonomic Analysis to support the DFS controller real-time simulation, preliminary results, TU Darmstadt (IAD), 05.06.06

Die Referenzen sowie eine nähere Beschreibung des Projekts finden sich im F&E-Portal innerhalb des DFS Intranet bzw. bei den Autoren.

Abkürzungen

ASP	Assigned Speed
ASW	Air Situation Window
ATM	Air Traffic Management
CFL	Cleared Flight Level
DFL	Dynamic Flight Leg
EC	Executive Controller
HMI	Human Machine Interface
Lfz.	Luftfahrzeug
MDW	Main Data Window
MSP	Multi Sector Planner
MSP-D/L	TE-Projekt, nähere Informationen finden sich im F&E-Portal > Schwerpunkte > MSP-D/L
MTCD	Medium Term Conflict Detection
NASA-TLX	NASA Task Load Index: Standardisierte Erhebung zur aktuellen Beanspruchung
NFL	Entry Flight Level
P1/VAFORIT	Zukünftiges ATM System für den oberen Luftraum Karlsruhe
PC	Planning Controller
QDM	Missweisende Peilung zwischen zwei Punkten
TID	Touch Input Device
UIR	Upper Information Region
VADS	Very Advanced Display Software
XFL	Exit Flight Level

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),
Stefan Tenoort (stefan.tenoort@dfs.de)

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

Dieser Zeitschrift ist eine ISSN (International Standard Serial Number) zugeteilt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Print- und der Internet-Version. Die ISSN sind wie folgt:

Printversion: ISSN 1861-6364

Internet-Version: ISSN 1861-6372

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 © 2006 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.