

2/09

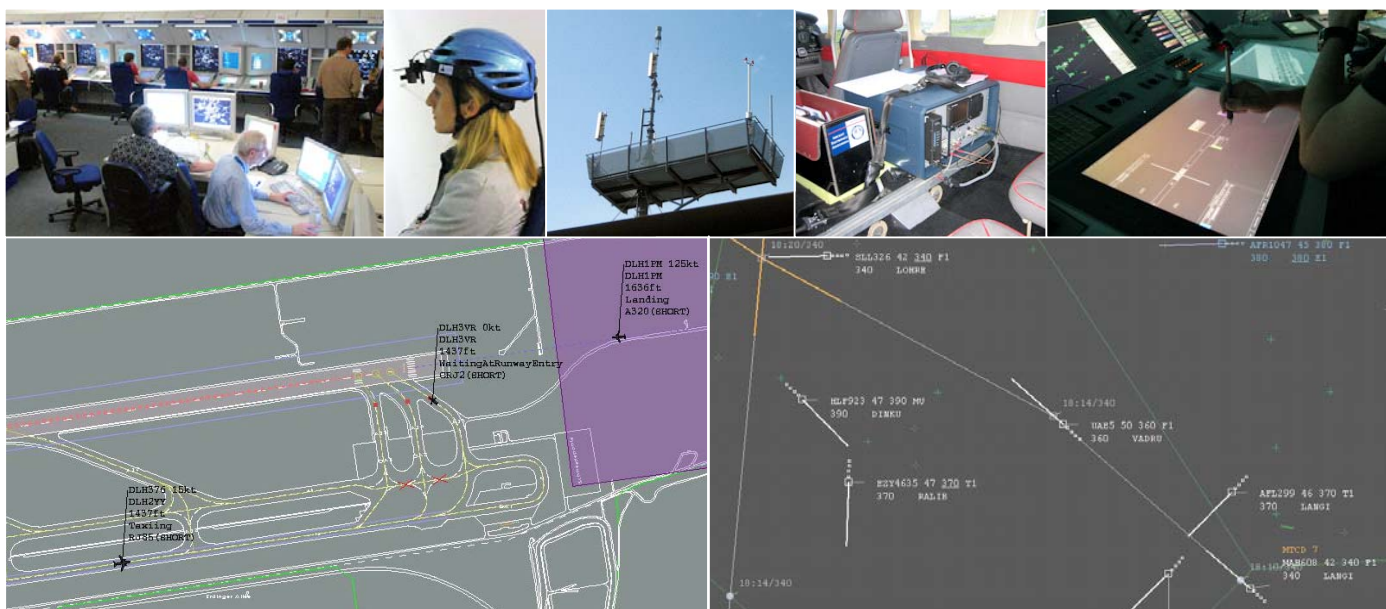
01.12.2009

# TE *im Fokus*

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

## In dieser Ausgabe:

- Der TE-Beitrag zum SESAR Joint Undertaking
- Airspace Management 2020: Flying Without Sectors
- Verfahren und Realzeitsimulationen im Projekt SOFIA
- Task-based workload models for the evaluation of conceptual changes in air traffic control
- Untersuchung von nicht-kooperativen Sensoren im Rahmen einer Echtzeitsimulation am Tower-Simulator



**DFS** Deutsche Flugsicherung

## Inhalt

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Dr. Matthias Poppe, Dr. Konrad Hagemann, Oliver Haßa, Stefan Leschner<br><b>Der TE-Beitrag zum SESAR Joint Undertaking</b> .....              | 2  |
| Dr. Thomas Pütz, Oliver Haßa (DFS), Dr. Bernd Korn, Christiane Edinger (DLR)<br><b>Airspace Management 2020: Flying Without Sectors</b> ..... | 12 |
| Andreas Udovic<br><b>Verfahren und Realzeitsimulationen im Projekt SOFIA</b> .....                                                            | 25 |
| Stephan Herr<br><b>Task-based workload models for the evaluation of conceptual changes in<br/>air traffic control</b> .....                   | 29 |
| Stefan Schwanke<br><b>Untersuchung von nicht-kooperativen Sensoren im Rahmen einer<br/>Echtzeitsimulation am Tower-Simulator</b> .....        | 34 |
| <b>Impressum</b> .....                                                                                                                        | 44 |



Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH  
ist nach DIN EN ISO 9001:2000 zertifiziert.

## Der TE-Beitrag zum SESAR Joint Undertaking

Dr. Matthias Poppe, Dr. Konrad Hagemann, Oliver Haßa, Stefan Leschner

### Einleitung

Das SESAR Joint Undertaking wird die Arbeiten des Bereichs F&E in den nächsten Jahren maßgeblich beeinflussen. In Fortführung früherer Beiträge in dieser Zeitschrift ([1], [2]) wird mit diesem Artikel ein umfassender Überblick über die anstehenden Arbeiten gegeben.

### SESAR vs FABEC

Das SESAR-Programm (Single European Sky ATM Research) ist, neben der FABEC-Initiative, ein wesentliches Element zur Schaffung eines einheitlichen europäischen Luftraums im Rahmen von Single European Sky. Dabei liefert SESAR die betrieblich-technische Grundlage für das Flugverkehrsmanagement der Zukunft durch die Entwicklung eines einheitlichen ATM-Systems bis 2020. FABEC hingegen konzentriert sich auf die Einrichtung funktionaler Luftraumblocke, die sich nicht wie bisher an den Landesgrenzen orientieren, sondern an den Luftverkehrsströmen.

### Die Ziele von SESAR

Das politische Ziel von SESAR ist es, bis 2020 die Kapazität des Flugverkehrsmanagements zu verdreifachen, die Sicherheit um den Faktor 10 zu erhöhen und die Umweltbelastung eines Fluges um 10% zu reduzieren.

Das SESAR-Programm zielt darauf ab, die Fragmentierung der nationalstaatlich orientierten Flugverkehrsmanagementsysteme und -verfahren abzuschaffen, das Know-how der Luftfahrtbranche zu bündeln und ein einheitliches Flugverkehrsmanagementnetzwerk bis 2020 zu etablieren. Damit unternehmen alle Beteiligten der Branche zum ersten Mal in der Geschichte einen Vorstoß, gemeinsam definierte Leistungsanforderungen und die Anforderungen insbesondere an Kapazität und Sicherheit der nächsten 30 Jahre zu erfüllen. Diese Performance-Ziele wurde innerhalb der Definitionsphase im D2 Dokument [11] festgehalten.

Durch das offene Vorgehen in der Systementwicklung und die internationale Abstimmung mit ähnlichen Entwicklungen in der Welt wie beispielsweise NextGen, dem Schwesterprogramm der USA, wird die Interoperabilität des neuen Systems sichergestellt.

### Das SESAR-Programm im Überblick

Das SESAR-Programm setzt sich aus drei Phasen zusammen, die jedoch nicht "separat" und in sich abgeschlossen zu betrachten sind. Vielmehr überzeugt das SESAR-Programm durch eine Art Regelkreislauf, indem definierte Anforderungen des in der SESAR-Definitionsphase (2006-2008) entstandenen SESAR-Zielkonzepts und SESAR ATM Masterplans [12] fortlaufend geprüft und angepasst werden. Die Anforderungen wurden in Zusammenarbeit mit Vertretern aus allen Bereichen der Luftfahrtbranche in dieser Phase entwickelt und beschrieben.

In der SESAR-Entwicklungsphase (Development Phase, 2008-2016) wird das Zielkonzept weiter verfeinert und es werden die dafür benötigten betrieblichen Abläufe und technologischen Komponenten für alle Beteiligten entwickelt. Koordiniert werden die

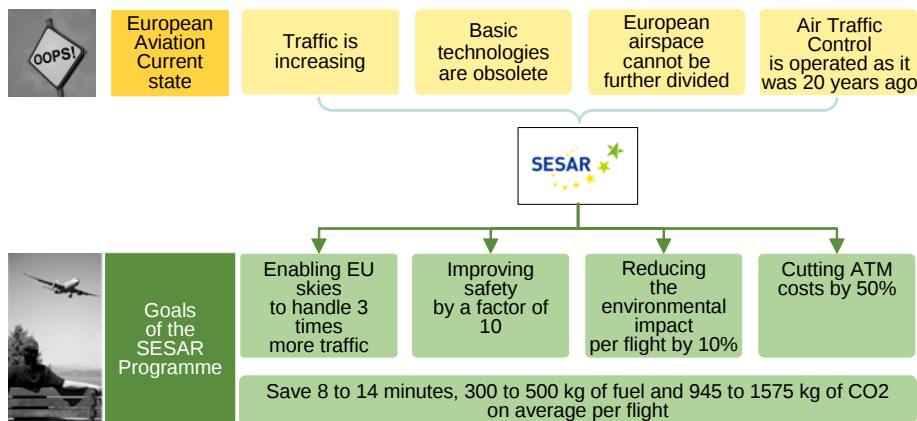


Abb. 1: SESAR: Herausforderungen und Ziele

Entwicklungsarbeiten durch das SESAR Joint Undertaking. Der Wirkungskreislauf ist hier am stärksten erkennbar. Fortlaufend werden die Arbeiten gemäß dem Zielkonzept geprüft bzw. das Zielkonzept entsprechend veränderter Anforderungen angepasst. Darüber hinaus werden aber auch schon in dieser Phase erste Implementierungsschritte verwirklicht.

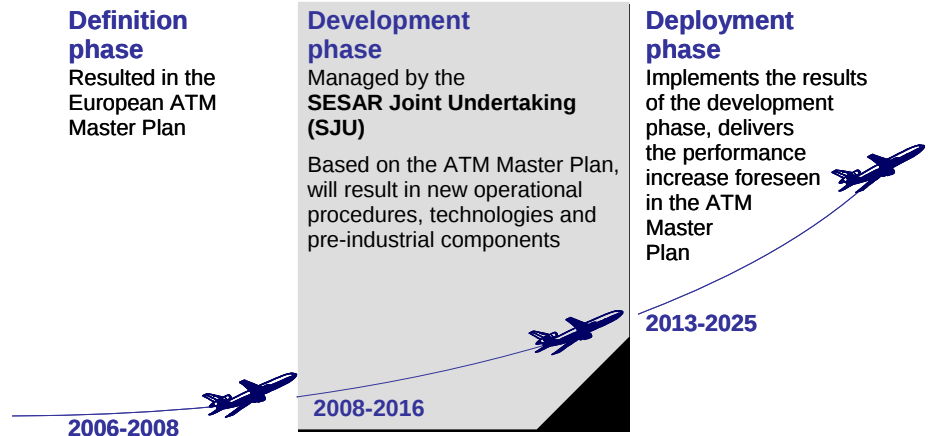


Abb. 2: Die drei SESAR-Phasen

Die flächendeckende Einführung wird jedoch im Rahmen der SESAR-Umsetzungsphase (Deployment Phase, ab 2013) erfolgen – immer mit Hinblick auf die Erfüllung der definierten Performance Requirements der ersten Phase.

### Steuerung durch das SJU

Zur Steuerung der SESAR-Entwicklungsphase hat die EU im Februar 2007 das SESAR Joint Undertaking (SJU) mit Sitz in Brüssel gegründet. Ziel des SJUs ist die Koordination aller Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des SESAR-Masterplans bis 2014 und darüber hinaus. Um einen nahtlosen Übergang zur Einrichtungsphase zu garantieren, wird das SJU offiziell bis 2016 im Amt bleiben. Beim SJU handelt es sich um eine öffentlich-private Partnerschaft, in der die Gründungsmitglieder Europäische Kommission und EUROCONTROL durch fünfzehn führende Unternehmen aus der Flugverkehrsbranche unterstützt werden. Dies sind:

- Flugsicherungsdienstleister aus Frankreich/DNSA, Deutschland/DFS, Italien/ENAV, Nordeuropa und Österreich/NORACON, Spanien/AENA und Großbritannien/NATS.
- Flughäfen: Frankfurt, München, London, Amsterdam, Paris, Zürich.
- Hersteller bord- und bodenseitiger Einrichtungen: Frequentis, Indra, SELEX Sistemi Integrati, Thales.
- Flugzeug- und Avionikhersteller: Airbus, Honeywell und Alenia Aeronautica.

### Der DFS Beitrag in der Entwicklungsphase

Die Bedeutung von SESAR spiegelt sich in der Höhe des Gesamtvolumens wieder: Von 1,9 Mrd. Euro, die über den Zeitraum der Entwicklungsphase verteilt sind, entfallen auf die EU 700 Mio. Euro, auf EUROCONTROL 700 Mio. Euro und auf die Partner 500 Mio. Euro. Das komplette SESAR-Programm umfasst 16 Arbeitspakete plus Arbeitspaket E mit 295 Projekten, die unter der Aufsicht des SJU durchzuführen sind (siehe Abbildung 3). Mit diesen Arbeitspaketen werden die notwendigen technischen und betrieblichen Grundlagen (Spezifikationen, Verfahren, Prototypen, Validierungsmaßnahmen etc.) für die schrittweise Einführung des neuen europäischen Flugverkehrsmanagementsystems geschaffen. Alle Projekte wurden durch das SJU in zwei Schritten (1.+2. Tranche) ausgeschrieben und nur die am SJU beteiligten Unternehmen konnten sich auf die Entwicklungsarbeiten bewerben. Bereits in der ersten Ausschreibung (1. Tranche) gelang es der DFS, sich die Beteiligung an 76 Projekten und die Leadership des Arbeitspaketes B zu sichern. Aktivitäten in diesen Projekten laufen seit Mai 2009. Nach Auswertung der 2. Ausschreibung im Dezember 2009 wird die DFS dann ab nächstem Jahr in über 100 SESAR-Projekten mitarbeiten und somit in fast allen Arbeitspaketen aktiv sein. Die Arbeit in den Projekten ist weitläufig vernetzt in der DFS. Beteiligte Bereiche finden sich in allen Teilen des Unternehmens. So wurden dem SJU Ansprechpartner aus den Bereichen „Technologie Management“ (TM), „Center“ (CC), „Center ATS Programme“ (CP), „Aeronautical Services“ (AS), „Communications, Navigation and Surveillance“ (CNS), „Betriebliche Gesamtkoordination“ (FK) und „Forschung und Entwicklung“ (TE) gemeldet.

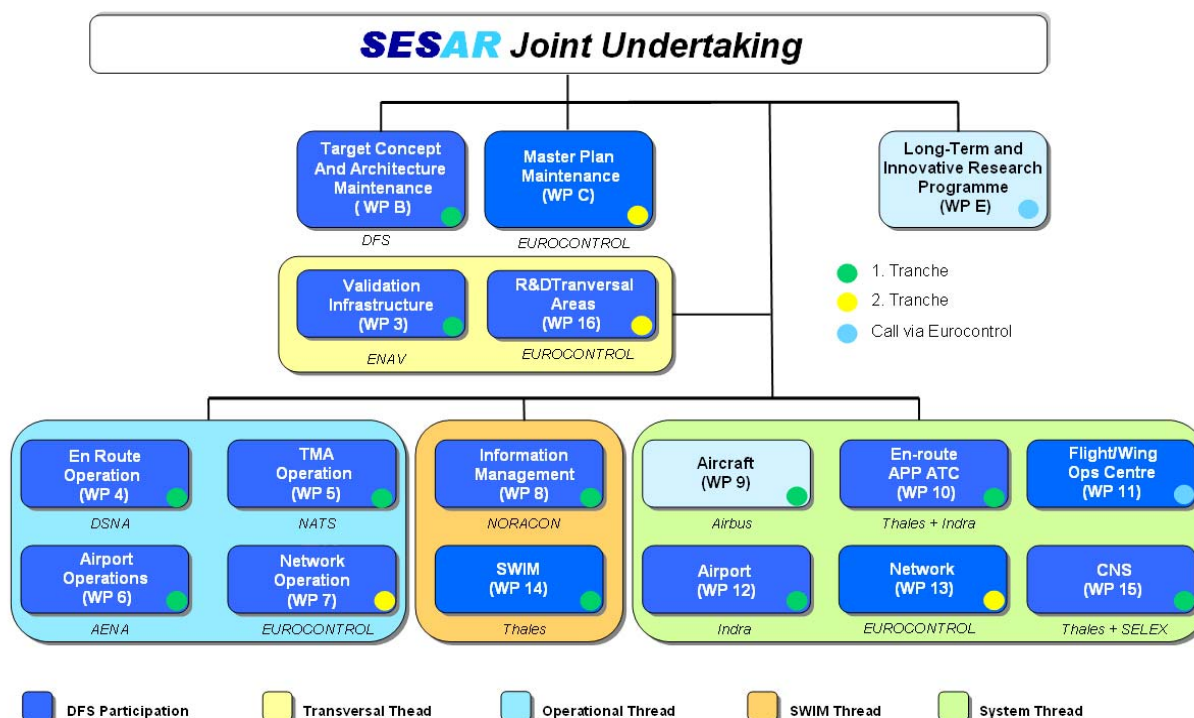


Abb. 3: SESAR-Programmstruktur

Im Detail betrachtet hat die DFS in der 1. Tranche die SJU-weiten Leitungen für 1 Arbeitspaket (TM), 3 Unterarbeitspakete (TM, TE) und 11 Projekte übernommen, die von Mitarbeitern aus den Bereichen TM (5 Projekte), TWR (1 Projekt) und TE (5 Projekte) wahrgenommen werden. Diese Projekte sind:

- WP B Target Concept and Architecture Maintenance (Bereich TM)
- SWP 5.4 TMA and En-route Co-Operative Planning (Bereich TE)
- SWP B.0 Global Co-ordination and Management (Bereich TM)
- SWP B.1 Consolidation & Coordination of ATM Target Concept (Bereich TM)
- P 3.1.2 Validation Tool Types and Techniques Analysis (Bereich TE)
- P 3.2.1 Validation Infrastructure Inventory (Bereich TE)
- P 4.7.5 Self Separation in Mixed Mode Environment (Bereich TE)
- P 5.4.2 TMA-2 Co-operative Planning Requirements and Validation (Bereich TE)
- P 5.6.7 Integrated Sequence Building/Optimisation of Queues (Bereich TE)

- P 6.8.4 Coupled AMAN-DMAN (Bereich TWR)
- P 8.1.8 Information Modelling Environment Domain (Bereich TM)
- P 8.1.10 Information Modelling Airport Domain (Bereich TM)
- P 8.3.5 Identify and Develop European ATM Network and Sub- regional (FAB) Information Services (Bereich TM)
- P 8.3.7 Identify and Develop AIRSPACE USERS (incl. AOC) ATM Information Services (Bereich TM)
- P B.4.2 Update and maintenance of the development of the Concept of Operations (CONOPS) and associated ATM Services (Bereich TM)

Die Projekte laufen in der 90 Tage dauernden „Project Initiation Phase“ nach einem festen Vorgehensmuster ab. Nach einer ersten Webkonferenz erfolgt innerhalb von 14 Tagen das erste „Technical Meeting“, zu dem sich die Partner erstmalig in Person gegenüber treten. Die Projektleitung hat die Aufgabe, innerhalb der gegebenen Zeit und nach festen Vorgaben einen „Project Initiation Report“ (PIR) zu erstellen, der dann die bisher vorliegende „Description of Work“ (DoW) ersetzen und zu einem festen Be-

standteil des Vertragswerkes des SJU werden wird. Die größte Herausforderung für den Autor des Berichts liegt hierbei allerdings weniger in der inhaltlichen Arbeit, d.h. dem Schreiben des Dokuments, als in dem Herstellen eines Interessenausgleichs zwischen den zahlreichen Partnern, denn Projekte mit bis zu 9 Partnern sind keine Seltenheit, sondern eher die Regel.

Über eine reine Betrachtung der finanziellen Beteiligung der DFS an den einzelnen Arbeitspaketen gelangt man zu einer Reihung inhaltlicher Schwerpunkte im SESAR-Programm:

1. WP 4 En-Route Operation
2. WP B Target Concept and Architecture Maintenance
3. WP 12 Airport
4. WP 8 Information Management
5. WP 5 TMA Operation
6. WP 3 Validation Infrastructure
7. WP 6 Airport Operations
8. WP 15 CNS
9. WP 10 En-route APP ATC
10. WP 14 SWIM

Die Tatsache, dass der Bereich TE in 4 der ersten 6 Arbeitspakete die Leitung in der DFS inne hat, macht deutlich, dass SESAR ein wesentlicher inhaltlicher Schwerpunkt für die Arbeit des Bereiches über 8 Jahre darstellen wird.

In den folgenden Abschnitten werden die Inhalte der Arbeitspakete des Bereichs F&E im Einzelnen präsentiert.

## **1. Operationelle Arbeitspakete**

### **WP4 En-Route Operation**

In diesem Arbeitspaket erfolgt die Mitarbeit schwerpunktmäßig in den Bereichen der Integration und Validierung der Gesamtergebnisse, Untersuchung neuer Verfahren zur Staffellung sowohl von Bodenseite als auch von Bordseite und in der Entwicklung von kompatiblen Bord-Boden Sicherheitsnetzen. Unterstützt wird der Forschungsbereich dabei von den Bereichen ATM Operations & Strategy (CC/FD), Betriebliches Anforderungsmanagement iCAS (CC/FPI) und Konzepte Zukunftsentwicklung (CC/FPK).

Im Einzelnen handelt es sich dabei um die Pakete

- SWP 4.2 Consolidation of operational concept definition and validation including operating mode and air-ground task sharing
- SWP 4.3 Integrated and pre-operational validation & cross-validation
- P 4.7.1 Complexity Management in En-Route
- P 4.7.2 Separation Task in En-Route Trajectory based environment
- P 4.7.5 Self Separation in Mixed Mode Environment (TE ist im SJU verantwortlich für dieses Projekt)
- P 4.7.6 ASAS Separation (Cooperative Separation)
- P 4.8.3 Ground-Airborne Safety Net Compatibility

Bei SWP4.2 und SWP4.3 profitieren wir von den Arbeiten zum Gestalten und Inbetriebhalten komplexer Simulatorsysteme wie dem Advanced Function Simulator oder den NEWSIM-Simulatoren. Wir sind auch für eine Kopplung verschiedener Simulatoren gut aufgestellt, da dies z.B. im Projekt iPort oder bei Simulationen für die 4. Bahn Frankfurt vielfach erfolgreich mit Towersimulator und AFS durchgeführt wurde. Auf europäischer Ebene stehen wir mit dieser Expertise in der ersten Reihe.

Im Arbeitspaket 4.7 werden wir die Arbeiten im Zusammenhang mit der Validierung von VAFORIT Systemfunktionalitäten fortführen, auch in Hinblick auf mögliche iTEC-Betriebsverfahren. Dabei werden die im Projekt MSP D/L begonnenen Aktivitäten zu Planungstools (MTCD) und Data Link sowie angepassten Arbeitsverfahren in die SJU-Struktur integriert. Bei den ASAS-Aktivitäten profitieren wir von dem Know-how aus dem Themenbereich UAS und vorhergehenden Projekten z.B. zu ASAS Sequencing & Merging für Eurocontrol [15]. Die letzten Arbeiten im Projekt Superhighway zu diesem Thema [14] haben ergeben, dass auch im deutschen Luftraum Möglichkeiten für ASAS-Verfahren vorhanden sind und ein großes Potenzial in Bezug auf Kapazität bieten.



Abb. 4: Realzeitsimulationen im Projekt MSP D/L

Die Erkenntnisse und laufenden Aktivitäten im ACAS Monitoring-Projekt (AMOR, siehe [3]) fließen in das Paket 4.8.3 (Ground Airborne Safety Net Compatability) ein. In AMOR werden die ACAS/TCAS-Daten analysiert und untersucht, inwieweit diese dem Lotsen zur Erhöhung der Sicherheit zur Verfügung gestellt werden können. Die TE-Expertise auf diesem Gebiet manifestiert sich auch in der Mitarbeit in zahlreichen internationalen Gremien, wie z.B. dem SCRSP/ASP ICAO Panel. Dies ist wichtig, um im SJU Standardisierungsaktivitäten zu unterstützen.

### WP5 TMA Operation

Im Bereich TMA liegt der Schwerpunkt der Zuarbeit bei den Themen kooperative taktische Planungsverfahren, Management der An- und Abflugströme im Flughafennahbereich sowie Entwicklung und Design des Lotsenarbeitsplatzes. Ferner ist die Schnittstelle zum „Network Operations Plan“ (NOP), der auf strategischer Planungsbasis die Abläufe beschreibt, Gegenstand der Untersuchungen. Unterstützt wird TE dabei vom Bereich ATM Operations & Strategy (CC/FD).

Im Einzelnen handelt es sich dabei um die Pakete

- SWP 5.4 TMA and En-Route Co-operative planning (TE ist im SJU verantwortlich für dieses Arbeitspaket)
- P 5.4.1 TMA-1 Co-operative Planning in the TMA

- P 5.4.2 TMA-2 Co-operative Planning Requirements and Validation (TE ist im SJU verantwortlich für dieses Projekt)
- P 5.6.1 Ground and Airborne Capabilities to Implement Sequence
- P 5.6.5 NOP Maintenance and Transition Queue Management
- P 5.6.7 Integrated Sequence Building/ Optimisation of Queues (TE ist im SJU verantwortlich für dieses Projekt)
- SWP 5.9 Usability Requirements and Human Factors Aspects for the Controller Working Position

Bei der kooperativen Planung im TMA-Bereich soll die Flugsicherung in die Lage versetzt werden, das optimale Verhältnis von An- und Abflügen über das Bahnsystem eines Flughafens abzuwickeln [4]. Im Projekt K-ATM entwickelte federführend der Bereich TE den Co-operative Local Resource Planner (CLOU), welcher aus Ideen des Projektes Joint Air Navigation Experiments (JANE) entstanden ist. Unser Ziel ist es, solche prätaktischen Planungssysteme hier in WP5.4 zusammen mit den europäischen Partnern weiter zu entwickeln, um z.B. auch Flugzeugumläufe mit zu berücksichtigen. Weitere Optimierungsmöglichkeiten bestehen in der dynamischen Zuweisung von An- und Abflugrouten. Daher hat der Bereich TE in diesem Paket die Leitungsfunktion auf SJU-Ebene übernommen.

Im Arbeitspaket 5.6 (Management der An- und Abflugströme) ist das Ziel, Anforderungen für zukünftige Arrival und Departure Managementsysteme zu definieren und zu validieren. Ausgehend von unseren Erfahrungen von COMPAS bis hin zum 4D-Planer und DARTS werden wir hier an der Validierung mit den bei uns eingesetzten Methoden des sog. iterativen Prototypings (stufenweise Entwicklung von Anforderungen mit anschließender Überprüfung im Simulator) mitarbeiten.

Wir sind überzeugt, dass die Bereiche Human Factors bzw. Anthropotechnik zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor in SESAR werden. Ziel der Anthropotechnik ist die Gestaltung der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, wobei dies in der Flugsicherung ganz besonders den Lotsenarbeitsplatz betrifft. Darum beteiligen wir uns an den Anforderungen im Paket 5.9, welches

sowohl den TMA- als auch den En-Route Bereich umfasst.

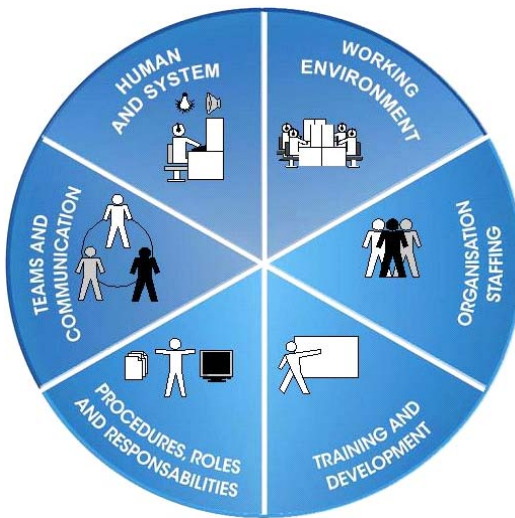


Abb. 5: Human Factors-Themen

Mit der unternehmensweit vernetzten Human Factors Plattform und dem F&E-Bereich TE verfügt die DFS über ein interdisziplinär aufgestelltes Team an Human Factors-Experten, bestehend aus Ingenieuren, Psychologen, Systementwicklern, operationellen Fachleuten, u.a. [5], die ihr Fachwissen an dieser Stelle einbringen werden, um bei eigenen Entwicklungen wie z.B. in iTEC die SESAR-Konformität sicher zu stellen. Dies schließt die Arbeiten im P10.10.2 (Integrated Controller Working Position Human Factors Design) mit ein, in dem User Interface und Human Factors Design-Dokumente erstellt werden, die als Grundlage für die Implementierung industrieller iCWP Prototypen dienen werden.

## WP6 Airport

Im Flughafenbereich liegt der Schwerpunkt auf dem Thema Rollfeldführung (Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems A-SMGCS) unter wesentlicher Beteiligung des DLR. Außerdem unterstützen wir den Towerbereich TWR/M bei den gekoppelten An- und Abflugsystemen (AMAN-DMAN).

Die Beteiligung erfolgt in den Projekten

- P 6.7.1 Airport safety support tools for pilots, vehicle drivers and controllers
- P 6.3 A-SMGCS Guidance function
- P 6.8.4 Coupled AMAN - DMAN

In den Arbeitspaketen zur Rollfeldführung ist uns wichtig, die Ergebnisse aus den Projekten EMMA und EMMA 2 (European Airport Movement Management by A-SMGCS) in das SJU einzubringen. Hierfür wird das DLR, welches als Projektkoordinator der EMMA-Aktivitäten eine hohe Kompetenz auf diesem Feld besitzt, als Unterauftragnehmer eingesetzt. Dabei geht es vor allem um die Sicherheitsanforderungen und Tools für Piloten, Lotsen und Fahrer von Einsatzfahrzeugen auf dem Vorfeld.

Im Projekt 6.8.4 geht es um die Verbesserung der Effizienz des Flugverkehrs durch integrierte Planung und Steuerung des an- und abfliegenden Verkehrs im taktischen Bereich und Koppelung von bord- und bodenseitiger Trajektorie. Wir unterstützen hier den Towerbereich mit Simulationen zur Validierung zur Erstellung einer integrierten An- und Abflugsequenz zur optimalen Auslastung des Bahnsystems. Dazu nutzen wir die hier vorhandene Infrastruktur mit AFS und 4D-Planer gekoppelt mit dem Towersimulator TOSIM und DARTS. Diese komplexe Kopplung wurde in zahlreichen Tests und Simulationen in Projekten der Luftfahrtforschungsprogramme K-ATM [10], WFF und iPort durchgeführt. Hier sind wir in Europa sicher eine der wenigen Organisationen, die solche komplexen Simulationen durchführen können.

## 2. Technische Arbeitspakete

### WP12 Airport Systems

Im Bereich der Flughafensysteme liegt der Fokus auf dem Arbeitspaket

- P 12.2.2 Runway Wake Vortex Detection, Prediction and Decision Support Tools

Eine mögliche Reduzierung der Wirbelschleppenstaffelung wird in SESAR als wichtiger Beitrag zur Erhöhung des Durchsatzes im Flughafenbereich angesehen. Dabei muss sichergestellt werden, dass sich das Risiko einer Gefährdung durch Wirbelschleppen nicht erhöht. Hier sind wir der einzige ANSP. Der Bereich TE blickt bei dem Thema Wirbelschleppen auf eine mehr als 20-jährige Erfahrung zurück. Besonders hervorzuheben sind hierbei die Entwicklung und Implementierung des Wirbelschleppenwarnsystems am Flughafen Frankfurt (1996) sowie des Wind-Temperatur-Radarsystems.



Abb. 6: Wind-Temperatur-Radarsystem in Frankfurt

Aufbauend auf den Erfahrungen und umfangreichen Datenanalysen mit den beiden o.g. Systemen liegt unser Schwerpunkt in diesem Projekt bei den operationellen Anforderungen, der Erstellung von Testplänen und Abnahmekriterien sowie der Analyse und Bewertung der Ergebnisse.

### WP15 Communication, Navigation and Surveillance

Im CNS-Bereich erfolgt die Unterstützung in den Themen Spektrum-Management 1030/1090 MHz und Überwachung in Bezug auf TCAS/ACAS-Alarme und deren Relevanz für die betriebliche Nutzung.

Die Beteiligung erfolgt in den Arbeitspaketen

- P 15.1.6 Spectrum Management & Impact Assessment
- P 15.4.1 Surveillance infrastructure rationalisation study
- P 15.4.3 ACAS Ground Monitoring

Die Funkfeldbelastungen im Frequenzbereich von 1030/1090 MHz sind gerade im Raum Frankfurt im internationalen Vergleich sehr hoch. Mögliche Interferenzen von ADS-B, Mode A/C, Mode S und militärischen Nutzern muss vorgebeugt werden. Daher beteiligen wir uns an dieser Analyse des Funkfeldes mit einer Simulation der Belastungen bis zum Jahre 2020, um daraus regulatorische Empfehlungen für den Betrieb abzuleiten. Der Bereich TE nutzt dazu das selbst entwickelte AMOR-Netzwerk [3].

Im Projekt 15.4.1 soll die Koexistenz und Weiterentwicklung von heutigen und zukünftigen Überwachungstechnologien wie ADS-B oder WAM mit SSR untersucht werden. Dies spielt für die DFS eine wichtige Rolle bei der CNS-Strategie zur Einführung bzw. dem Ersetzen von Technologien in dem hochbelasteten Funkfeld, auch in Hinblick auf die Entwicklungen zum Functional Airspace Block Europe Central (FABEC).

Beim Thema ACAS Ground Monitoring geht es um den Aufbau eines prä-operationellen Sensornetzwerkes, um die Häufigkeit und Verteilung von TCAS Resolution Advisories (RA) zu untersuchen. Mit diesen Daten können danach Korrelationen mit Berichten von Lotsen und Piloten erfolgen, um letztendlich Empfehlungen für den Betrieb zu erarbeiten. Diese Infrastruktur kann auch für Untersuchungen von Zwischenfällen genutzt werden. Das Sensornetzwerk ist eine Weiterführung der Aktivitäten des AMOR-Projektes bei TE [3].



Abb. 7: Der Forschungssimulator AFS der DFS

### **3. Transversale Arbeitspakete**

#### **WP3 Validation Infrastructure**

Bei der Weiterentwicklung der Validierungs- und Verifizierungsinfrastruktur ist der Forschungsbereich in allen Arbeitspaketen vertreten. Diese decken die Themen von den Anforderungen, der Analyse technischer Spezifikationen bis zur Entwicklung und Abnahme von neuen Simulatoren bzw. neuen Funktionalitäten ab. Die allgemeine Vorgehensweise bei der Entwicklung der Validierungs- und Verifizierungsinfrastruktur erfolgt nach einem V-Modell, das in mehreren Iterationen durchlaufen wird.

Im Einzelnen sind wir in folgende Projekte involviert:

- P 3.1.1 Validation Infrastructure Needs Management
- P 3.1.2 Validation Tool Types and Techniques Analysis (TE ist im SJU verantwortlich für dieses Projekt)
- P 3.1.3 Validation Infrastructure Requirement Consolidation
- P 3.2.1 Validation Infrastructure Inventory (TE ist im SJU verantwortlich für dieses Projekt)
- P 3.2.2 Validation Infrastructure Specifications
- P 3.3.1 Platform Architecture Definition
- P 3.3.2 Validation Platform Development
- P3.3.3 Platform Acceptance, Deployment and In Service Support

Eine der Hauptintentionen des SJU ist eine Harmonisierung und spätere Zertifizierung der europäischen ATM-Systeme in Hinblick auf Interoperabilität. Dazu müssen Standards (weiter-) entwickelt werden, die der Europäischen Kommission als Grundlage für verbindliche Verordnungen im Rahmen des SES-II Paktes dienen, welche die Mitgliedsländer dann umsetzen müssen.

Dies bedeutet für das WP3, dass es eine Plattform zur Verfügung stellt, mit welcher die in den technischen Arbeitspaketen entwickelten industriellen Prototypen (z.B. FDPS, Controller Tools) verifiziert, validiert und später auch zertifiziert werden können. Verifikation bedeutet hier die Beantwortung der Frage: Arbeitet das System richtig, das heißt entsprechend der technischen Anforderungen? Die Zertifizierung schließt die

formale Abnahme durch eine entsprechende Institution mit ein.

Unser Interesse besteht in der Weiterentwicklung der Simulationsinfrastruktur, d.h. des Advanced Function Simulators (AFS). Dieser wird schon heute zur Entwicklung operationeller DFS-Systeme benutzt, z.B. des Arrival Managers AMAN oder für die VAFORIT Data Link-Funktionen. Als großer Vorteil erweist sich dabei, dass der AFS sowohl intern als auch extern über operationell genutzte Schnittstellen wie ASTERIX, OLDI oder ATN verfügt, was die Anbindung und den Test von ATM-Systemen erst ermöglicht. Weitergehendes Ziel ist es, den AFS so zu erweitern, dass er auf europäischer Ebene zur Verifikation und Zertifizierung von SESAR-kompatiblen Komponenten bis hin zu operationellen Systemen genutzt werden kann. Darum ist der Bereich TE an allen o.g. WP3 Projekten auch in DFS- und z.T. auch in SJU-weiter Leitungsfunktion beteiligt. Dabei werden die Erfahrungen aus Projekten wie ESA (Europäische Standardisierung des AFS) genutzt, in dem die Erweiterung des Forschungssimulators auf europäisch standardisierte Schnittstellen erfolgte.

#### **WP B Target Concept and Architecture Maintenance**

Das Arbeitspaket B hat für die DFS eine große Bedeutung und wird von ihr verantwortet. Der Bereich Forschung & Entwicklung leistet hierzu einen Beitrag in

- SWP B.5 Performance Analysis of ATM Target Concept.

Dabei geht es um die Definition einer Methodik zur Performance-Bewertung des gesamten SESAR-Konzeptes [13], die Festlegung der Kriterien (Key Performance Areas, Key Performance Indicators) und um die Entwicklung eines konkreten Modells. Die Erfahrungen aus den Schnellsimulationen werden wir hier nutzen, um ein für die DFS akzeptables und auch intern zu nutzendes Modell mit zu entwickeln und so die Erreichung der Performance-Ziele zu bewerten.

#### **WP16 R&D Transversal Areas**

Im Arbeitspaket 16 blickt der Bereich TE auf langjährige Erfahrungen zum Thema Human Factors zurück. Wir wollen hier sowohl unser

Know-how einbringen und die Inhalte dadurch mitgestalten als auch die vorhandenen Kompetenzen weiter ausbauen. Dazu sind wir an drei Projekten beteiligt:

- P 16.4.2 Human Performance Tool Repository of Standard HP Methods and Tools
- P 16.5.1 Identification and Integration of Automation Related Best Practices
- P 16.5.3 Guidance for an Effective Information Presentation

Die Human Factors-Methodenkompetenz stützt sich dabei u.a. auf die Arbeiten in den Projekten SRATM - Stress Reduction, Safety and Efficiency in Future ATM through Flight Progress Information und VSAL - Verhaltensstrategien am Lotsenarbeitsplatz. Automatisierung spielt im SESAR-Konzept eine wichtige Rolle in Bezug auf die Performance-Ziele Kapazität und Sicherheit. Wichtige zu klärende Fragen in diesem Bereich wurden von TE schon untersucht, z.B. wie Entscheidungsprozesse ohne Vigilanzprobleme automatisiert werden können ([8], [9]).

Außerdem beteiligt sich TE an der Erarbeitung der Richtlinien für die Darstellung der Informationen am Lotsenarbeitsplatz (in den Projekten 5.9 und 10.10.2 werden diese Richtlinien weiter verwendet und implementiert). Wichtige Fragestellungen für uns sind dabei die Erhaltung des Situationsbewußtseins, das Selektieren und Priorisieren von Informationen und die Art und Weise der Darstellung. Dabei profitiert TE u.a. von den Arbeiten zum Human Machine Interface im Projekt VAFORIT (HMI-Pathfinding).

## Fazit

Der Artikel zeigt auf, dass die Beiträge von TE ein weites Spektrum von Spezifikation der Simulatoren über Validierungen und Simulationen bis hin zu Untersuchungen für Kollisionswarnsysteme umfassen. Damit leistet der Forschungsbereich knapp die Hälfte des gesamten DFS-Beitrages zum SESAR JU. Diese internationalen Arbeiten werden somit einen Schwerpunkt der Aktivitäten der nächsten Jahre bilden, aufbauend auf dem reichhaltigen und breiten Erfahrungshorizont aus vorangegangenen Projekten.

## Referenzen

|      |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1]  | 30.05.2007 | Dr. Matthias Poppe, TE-Unterstützung für SESAR, TE im Fokus 1/07, S. 9ff                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| [2]  | 15.12.2008 | Dr. Matthias Poppe, Towards SESAR Performance Targets – The Super Highway Approach, TE im Fokus 2/08, S. 2ff                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| [3]  | 10.09.2009 | Steffen Marquard, The DFS ACAS Monitor Project - AMOR, International Radar Symposium 2009 der DGON                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| [4]  | 05.06.2008 | Dr. Rainer Kaufhold, Abschluss des Vorhabens „Kooperatives Air Traffic Management“, TE im Fokus 1/08, S. 16ff                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| [5]  | 05.06.2008 | Stefan Tenoort, TE und die Herausforderung „Human Factors“, TE im Fokus 1/08, S. 30ff                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| [6]  | 30.06.2002 | Stefan Tenoort, Andreas Udovic, VsAL – Verhaltensstrategien am Lotsenarbeitsplatz, TE im Fokus 1/02, S.13ff                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| [7]  | 07.07.2003 | Dr.-Ing. Andreas Tautz, Dr.-Ing. Thomas Bierwagen, Situation Awareness und Very Advanced ATC Systeme: Eine Herausforderung für die Zukunft?, TE im Fokus 1/03, S. 19ff.<br><br>Ursprünglich veröffentlicht in: Dey, D. & Grandt M. (2002): Situation Awareness in der Fahrzeug und Prozessführung. 44. Fachauschusssitzung Anthropotechnik der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt Lilienthal-Oberth e.V. (DGLR), Langen, 22.-23.10.2002. |
| [8]  | 01.12.2006 | Dr. Thomas Bierwagen, Dr. Volker Heil, Dr. Matthias Poppe, Dr. Andreas Tautz, Towards Automation in Air Traffic Management, TE im Fokus 2/06, S. 3ff                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| [9]  | 16.06.2005 | Dr. Andreas Tautz, Dr. Thomas Bierwagen, From Decision Support to Automation in ATM, TE im Fokus 1/05, S. 25ff                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| [10] | 25.06.2004 | Oliver Albert, Dr. Rainer Kaufhold, Dr. Roland Mallwitz, Verbundvorhaben Kooperatives Air Traffic Management im Rahmen des 3. Luftfahrtforschungsprogramms, TE im Fokus 1/04, S. 9ff                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| [11] | 1.12.2006  | SESAR Consortium, Air Transport Framework - The Performance Target, SESAR Definition Phase - Deliverable 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| [12] | 30.03.2009 | SESAR Consortium, European Air Traffic Management Master Plan Edition 1, European Commission, SESAR Joint Undertaking, Eurocontrol                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| [13] | 01.09.2007 | SESAR Consortium, Air Transport Framework - The ATM Target Concept, SESAR Definition Phase - Deliverable 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| [14] | 27.03.2008 | Dr. Matthias Poppe, Thomas Hellbach, Superhighway Results Scenario 01, Superhighway Final User Forum, Brüssel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| [15] | 04.05.2005 | Oliver Haßa, Eliana Haugg, Andreas Udovic, Sequencing & Merging Simulations Final Report, DFS, Langen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

## Abkürzungsverzeichnis

|         |                                                                                           |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACAS    | Airborne Collision Avoidance System                                                       |
| ADS-B   | Automatic Dependent Surveillance - Broadcast                                              |
| AENA    | Aeropuertos españoles y navegación aérea                                                  |
| AFS     | Advanced Function Simulator                                                               |
| AMAN    | Arrival Manager                                                                           |
| ANSP    | Air Traffic Service Provider                                                              |
| AOC     | Aeronautical Operational Control                                                          |
| APP     | Approach Control (Office/Service/Unit)                                                    |
| ASAS    | Airborne Separation Assistance System                                                     |
| ASTERIX | All Purpose Structured EUROCONTROL Radar Information Exchange Format                      |
| ATM     | Air Traffic Management                                                                    |
| A-SMGCS | Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems                                    |
| CNS     | Communication, Navigation, Surveillance                                                   |
| COMPAS  | Computer Oriented Metering, Planning and Advisory System                                  |
| D2      | SESAR Deliverable 2                                                                       |
| DFS     | Deutsche Flugsicherung                                                                    |
| DLR     | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.                                            |
| DMAN    | Departure Manager                                                                         |
| DoW     | Description of Work                                                                       |
| DSNA    | Direction des Services de la Navigation Aérienne                                          |
| EMMA    | European Airport Movement Management                                                      |
| ENAV    | Ente Nazionale Assistenza al Volo                                                         |
| ESA     | Europäische Standardisierung des AFS                                                      |
| FABEC   | Functional Airspace Block Europe Central                                                  |
| FDPS    | Flight Data Processing System                                                             |
| iCWP    | Integrated Controller Working Position                                                    |
| iPort   | Innovativer Airport                                                                       |
| K-ATM   | Kooperatives Air Traffic Management                                                       |
| IP1     | SESAR Implementation Package 1                                                            |
| NextGen | Next Generation                                                                           |
| NATS    | National Air Traffic Services                                                             |
| NORACON | <u>N</u> ORth European and <u>A</u> ustrian <u>C</u> ONsortium                            |
| OLDI    | Online Data Interchange                                                                   |
| P       | Project                                                                                   |
| SES     | Single European Sky                                                                       |
| SESAR   | Single European Sky Air Traffic Research                                                  |
| SJU     | SESAR Joint Undertaking                                                                   |
| SRATM   | Stress Reduction, Safety and Efficiency in Future ATM through Flight Progress Information |
| SSR     | Secondary Surveillance Radar                                                              |
| SWIM    | System Wide Information Management                                                        |
| SWP     | Sub Work Package                                                                          |
| TCAS    | Traffic Alert and Collision Avoidance System                                              |
| TMA     | Terminal (Control) Area                                                                   |
| TOSIM   | Tower Simulator                                                                           |
| UAV     | Unmanned Aerial Vehicle                                                                   |
| VAFORIT | Very Advanced Flight Data Processing Operational Requirement Implementation               |

|      |                                            |
|------|--------------------------------------------|
| VSAL | Verhaltensstrategien am Lotsenarbeitsplatz |
| WAM  | Wide Area Multilateration                  |
| WFF  | Wettbewerbsfähiger Flughafen               |
| WP   | Work Package                               |

# Airspace Management 2020: Flying Without Sectors

Dr. Thomas Pütz, Oliver Haßa (DFS), Dr. Bernd Korn, Christiane Edinger (DLR)

## Einleitung<sup>1</sup>

Wie können wir mit einer Verkehrszunahme in Zukunft fertig werden? In seinem Forschungsprojekt Luftraum-Management 2020 versucht die DFS zusammen mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) eine Antwort zu dieser Frage zu finden. Langfristig könnte ein Luftraum ohne irgendwelche Sektoren definiert werden. Die Anfangssimulatorexperimente, die durch das DLR geleitet wurden, waren sehr viel versprechend.

## 1. INTRODUCTION

When instrument flight procedures were first introduced, there were no technical systems available for air navigation services to display the air situation (e.g. radar). Area control (separation) was only performed by monitoring the times and altitudes over specific waypoints (radio beacons). In order to reduce the workload of air traffic controllers, the increase in traffic volume has been compensated by the creation of smaller airspaces (sectors). This is, however, coming up against natural constraints: The increasing number of sectors also results in a greater need for coordination. And what is more: The smaller the sectors, the smaller the controller's scope in tactically and strategically controlling the aircraft. Several approaches are possible. Nevertheless, it is not certain if the measures planned up to now will be sufficient to master this problem.

The current research project Airspace Management 2020 (LRM2020) of the DFS Research and Development department is a new experimental approach to finding a solution to this problem.

It aims at a completely new ATM concept. The basic idea is simple: The control of the airspace will no longer be performed on a sector-oriented but rather on an event-oriented basis. The air traffic controller (or a team of controllers compris-

ing a planner and an executive controller) will no longer be responsible for controlling the entire air traffic in one sector. In the new concept, their new task will be to assist aircraft throughout the entire flight time within a larger defined airspace and to ensure that there are no conflicts for the duration of the flight. Thus, the airspace structure will be simplified; airways and sectors will no longer be necessary. The controller will manage the entire trajectory in an airspace. The basic procedures, working methods and responsibilities will essentially remain the same.

The Airspace Management 2020 offers a number of advantages over today's operations. It will be possible to evenly distribute the flights among the controllers on duty. If the traffic volume increases, additional controllers will be deployed. Theoretically, flights could be controlled irrespective of the location of the control centre. This means that there would be for the first time a "real" contingency solution available in case of a failure of a control centre. The concept would also make it easier to respond to failures or maintenance of technical systems. In such cases, flights could be controlled from a different control centre. In the future, airspace capacity would probably no longer be limited by the sector capacity but solely by the availability of staff. This approach is also compatible with concepts like SESAR or NextGen, which focus on trajectory-based air traffic management.

Initial experiments with this concept have already been conducted at the Braunschweig German Aerospace Centre (DLR) with the TrafficSim traffic simulator. The new procedure was rated positively by the controllers involved. The objective was to find out which support tools the controllers required to perform their work. The results will then be incorporated into additional experiments. The focus is particularly on the optimisation of the tools for detecting potential conflicts as well as on ground-air communication. Furthermore, the necessary coordination with other airspaces as well as the influence of restricted areas and weather has to be analysed.

<sup>1</sup> Dieser Artikel wurde zum 8. „Innovative Research Workshop“ von EUROCONTROL im Dezember 2009 eingereicht; die Zustimmung zum Abdruck liegt vor.

According to the persons involved, it would probably be possible to use the current ATM systems, complemented by support systems, if this approach was pursued further. Similar approaches for an ATM without sectors have been considered in the past but these concepts were not taken far enough or they had different objectives.

## 2 SECTORLESS ATM – THE BASIC CONCEPT

### 2.1 Principles and Expected Benefits

As already stated in the introduction, a controller is no longer in charge of managing the entire traffic within a given sector. Instead, he is now responsible for a certain number of aircraft throughout their entire flights within a given airspace (e.g. within the German airspace). Once an aircraft enters the airspace, either from a terminal area or via an airspace entry point, it will be assigned to the "next available" air traffic controller. This controller will then be responsible for the entire flight within the airspace until the exit point or until transitioning into a terminal area. The basic task of the controller is to ensure a conflict-free flight. This concept offers a lot of benefits compared to traditional air traffic control, which are:

- The traffic load can be easily distributed in a very balanced way over the controllers on duty.
- Airspace capacity is no longer limited by sector capacity. Instead, we can expect an increase in ATCO efficiency of up to 100%.
- It offers an easy way to implement contingency actions since controllers can take over aircraft regardless of which center they are currently working for.
- Coordination actions between adjacent sectors are no longer necessary. The amount of voice communication between the aircraft and ATC are reduced. There are no handover and identification communications necessary.
- SESAR (or NextGEN) concept elements like business trajectories can be easily incorporated in this concept since the controller will have in mind the entire flight of his aircraft. He is only supposed to interfere in case of conflicts. The better the individual business trajectories are

coordinated with each other the less difficult will be the job of the controller.

- As the airspace structures (sectors, airways, etc.) are no longer necessary, a "Direct-To" based traffic organization can be envisaged.
- Controllers will immediately see what their control actions will mean to the aircraft. A closer relationship between controllers and aircrews will be established. The ATCO could be regarded as an additional (temporary) aircrew member taking care for conflict free routing.

### 2.2 Key issues

Obviously, some technical changes with respect to voice communication between controller and pilot need to be introduced before such a concept can be realized. However, research has already been conducted that can enable decoupling air-to-ground communication cells from ATC sectorisation.

Although the basic concept seems to allow a great flexibility and many benefits including efficient flight execution and improved conflict handling on planning level there are some remaining questions:

- What kind (if any) of ATCO-ATCO coordination will be necessary?
- In case of conflict, the two affected aircraft most likely will be controlled by different ATCOs. How can we assure that the necessary actions are defined un-ambiguously and
- What kind of flight rules is required that necessary ATCO-ATCO coordination activities will not increase workload to an unacceptable level?
- How can it be handled if more than two aircraft are involved?
- How should the assignments of controllers to aircraft be realized?
- How many aircraft can be handled by one controller simultaneously? What support tools and safety nets are required?

### 2.3 Other sectorless ATM concepts

In the past different approaches to realize a sectorless ATM have been described in several publications. Two main concepts can be identified which are described in [1] and [5]. The work of [5] is derived from [1]. Starting point for both approaches is that "instead of having two controllers controlling one sector containing  $n$  aircraft, one controller will be responsible for a limited number of  $m$  aircraft, from departure to arrival terminal areas (TMA)". In [5] it is proposed "... to provide a very simple route network and to improve it by using optimisation techniques". Initial idea of [1] was to combine the sectorless ATM idea with the concept of an autonomous aircraft i.e. a trajectory-based, individual flight control. In the last case a sectorless controller working position (CWP) is required providing features like in a future flight deck, a Cockpit Display of Traffic Information (CDTI) combined with an Airborne Separation Assistance System (ASAS). Similar to free flight operations the question of how to resolve separation conflicts arises. Especially the coordination of actions of the sectorless controllers was identified to be critical. Initial studies of using VFR rules revealed that these rules seem to be insufficient for a proper conflict management. Therefore, Extended Flight Rules (EFR) should be applied which have been defined (See [2]) for a Free Flight scenario. In terms of the sectorless concept of [1] several options have been discussed: (a) Extended Flight Rules, (b) fully automatic coordination of action and (c) a combined solution of procedural and automatic coordination. However, dedicated validation activities to assess the feasibility have not been conducted, not at least at larger scale.

### 2.4 Other trajectory based mid term conflict detection tools

Ideas of the trajectory based planning conflict detection have already been studied and introduced for practical use. One example can be found in the tool URET.

"The User Request Evaluation Tool, or URET, was developed at MITRE's Center for Advanced Aviation System Development (CAASD) to assist controllers with timely detection and resolution of predicted problems. By helping to manage workload and to allow more strategic planning, URET

helps the system support a greater number of user-preferred flight profiles, increased user flexibility, and increased system capacity while maintaining the level of safety. The prototype version of URET has been in daily use operation at Indianapolis and Memphis Air Route Traffic Control Centers (ARTCCs) since November 1997." [MITRE Website]

The main functions of URET are trajectory modelling, aircraft and airspace conflict detection, trial planning to support conflict resolution and electronic flight data capability [6].

Compared to LRM2020 URET is an additional tool and not essential part of the ATM concept. The controller can use it or not. This is different in LRM2020. The planning conflict handling is one main task of the controller which is not optional.

### 2.5 Initial validation activities and experimental setup

To assess the feasibility of the proposed concept a stepwise validation has been conducted. For concept development itself and the respective assessment an iterative approach has been chosen. A central element in this process is a realistic traffic simulation that can simulate the entire air traffic and which is easy to operate. The other building blocks around this so-called proof of concept simulation are the HMI-development and the integration/development of support tools e.g. for conflict detection and resolution (see Fig. 1 and [4]).

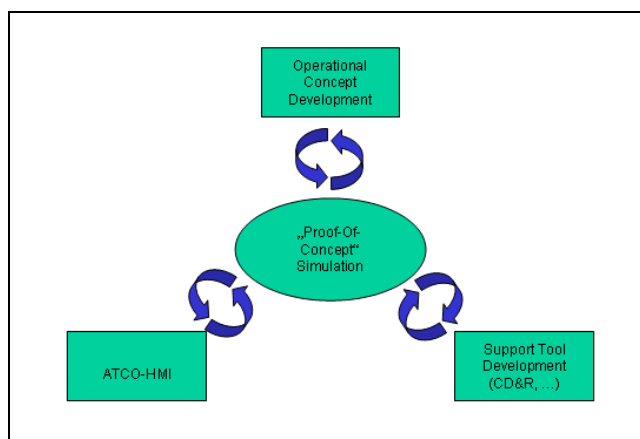


Fig. 1. Development and Assessment of LRM2020 [4]

The applied traffic scenarios were based on real data of 2008 (10th of September 2008), a day

with very high traffic load, taken from DFS. In addition, the scenarios were varied in order to be rich of conflicts. Some constructed conflicts were placed as well. Fig. 2 presents a typical traffic scenario used for simulation.

DLR's traffic simulator TrafficSim was used for experiments. The traffic simulator generates a 4D-trajectory and moves the aircraft along the trajectory in real time or in fast time. The input data for the generator are the flight plan, the aircraft performance data, aircraft state vector at starting position and meteorological data. The simulator can be operated for each aircraft in FMS mode and in open vector mode which is used for controller commands [4]. Fig. 3 is schematic overview of the traffic simulation environment and its configuration for LRM2020. This environment is designed for flexible use in human-in-the-loop real time experiments. The simulation core can be used for fast time studies as well.

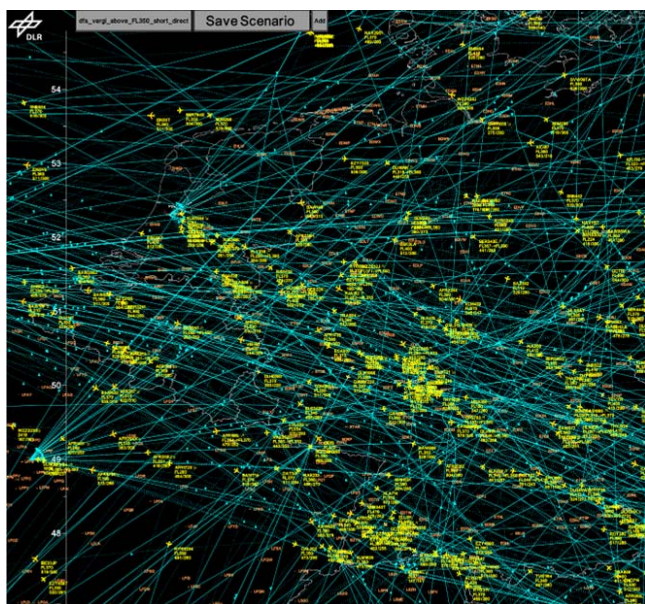


Fig. 2. Traffic scenario with flights above FL350 [DLR]

In today's operation with sectors a controller in one hour of his work handles up to 1.77 aircraft on average on a day with high traffic in upper airspace. The according real data were used to build up the scenario for the proof-of-concept experiments.

Experimental results revealed that an average number of three aircraft can be controlled at the same time by one controller. The concept can be operated without airways. As a result a direct routing between German entry and exit point or

airports respectively are possible which results in a reduction of route length and fuel burn.

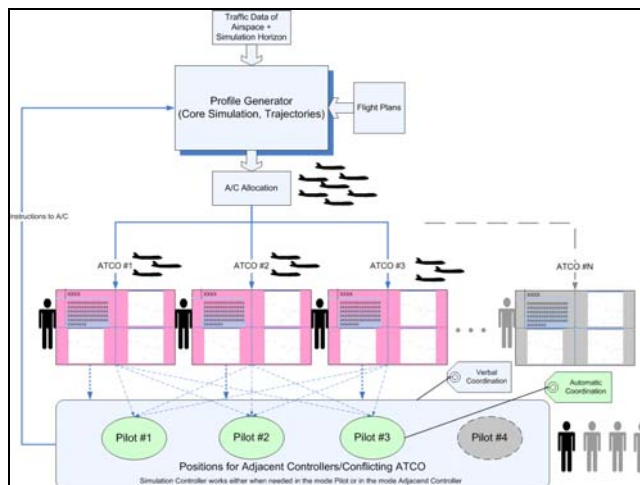


Fig. 3. Simulation environment [DFS]

Further results of the simulation have shown that also nearly all potential conflicts could be solved and the number of real separation conflicts was minimized.

### 3 CONCEPT OF OPERATIONS

The following aspects of an operational concept for a future ATM are basically oriented towards ICAO assumptions [3]. A central element of the operational concept in LRM2020 is the conflict management on which the main focus is set for initial proof of concept.

#### 3.1 Demand & capacity balancing

The availability of the controller is a limiting factor in general. A lack of personnel with a required qualification in today's operations even leads to closed sectors and delays. Furthermore, sector capacity limits the airspace capacity. With LRM2020 air space capacity is no longer depending on sector capacity but solely on availability of personnel. Sector qualification of the controllers can be reduced due to desired support system of LRM2020. Bottlenecks due to distribution of personnel or airspace structure would be eased. Also modification of airspace sectorization in order to cope with demand will be replaced by this concept. Only Temporary Reserved Airspaces (TRA) and restricted areas have to be regarded. In general a more flexible way of airspace management is identified which

allows a quicker reaction on Collaborative Decision Making (CDM) and feedback also for it. How this can be tailored will be studied in a later phase of the project.

### 3.2 Airspace organisation and management

The part of the airspace in which the LRM2020 concept and rules will be applied is located initially only in the upper airspace, i.e. above or equal FL245, with no upper limit, as it is demonstrated in Fig. 4. The vertical separation layer is laterally limited by the German border.

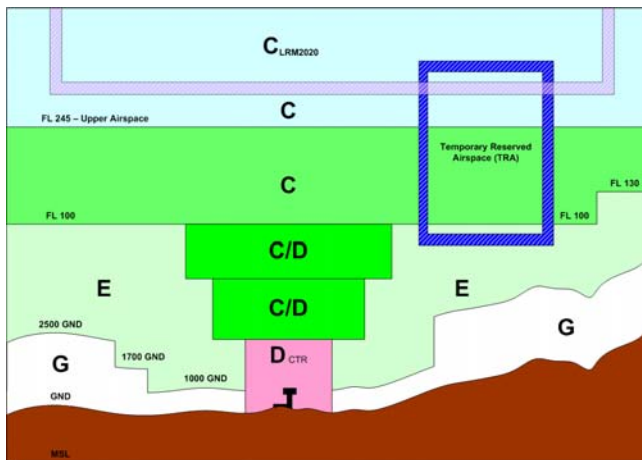


Fig. 4. Classification of airspace in Germany [DFS]

Inside the LRM2020 airspace no airways and route systems are desired. Main idea is to support a direct routing between German entry and exit or even a free routing.

### 3.3 Traffic synchronisation

Starting point will be the central flow management which is currently in use in Europe (CFMU). But it is expected that the traffic planning will be organized in different layers via CDM between ANSPs, airspace users and aerodrome operations. The traffic synchronization will be based on a trajectory centered perspective so that a conflict free and optimized planning is enabled.

### 3.4 Airspace user operations

Individual aircraft performance, flight conditions and available ATM resources can be considered in dynamically-optimized 4D-trajectories. Partial present and future aircraft capabilities will support the LRM2020 and both together allow airspace users to fly user-preferred trajectories.

### 3.5 Aerodrome operations

Aerodrome Operations are not affected by the LRM2020 concept.

### 3.6 ATM service delivery management

The ATM service delivery management builds an agreement on the flight trajectories based on user needs, constraints and all other information like infrastructure information and traffic demand. The trajectories delivered by the LRM2020 system take the aircraft performance into account (currently using BADA). It is desired that the trajectory will not have open-ended vectors (e.g. conflict area avoidance via offset routing), at least most of the time. This improves predictability and ensures a safe mid-term conflict handling.

### 3.7 Conflict management

Conflict management comprises three layers of conflict avoidance measures: strategic conflict management, separation provision and collision avoidance. Airspace organization and management demand and capacity balancing and traffic synchronization will be the components of a strategic conflict management albeit weight of airspace organization and management will be reduced by sectorless and direct-routing operations. The technical realization of separation provision for the sectorless ATM concept as functionality of a controller working position has to ensure that conflicts approximately 10 minutes prior to reaching the location of the conflict are solved. This will be assured by the existing accuracy of 4D-profiles, even becoming better in the future. The trajectory based conflict detection, as demonstrated in Fig. 5, considers lateral as well as vertical separation along the trajectory of each aircraft.

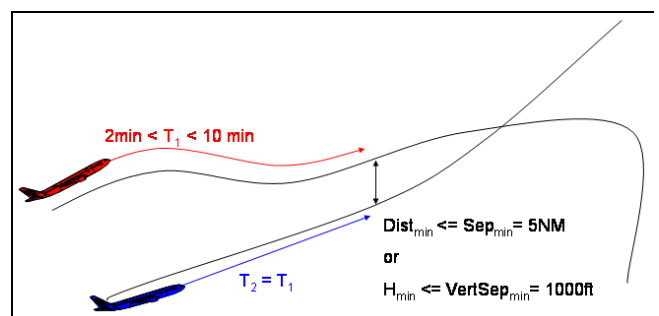


Fig. 5. Trajectory based planning conflict detection [DFS]

In order to solve potential conflicts without verbal coordination there must be a set of rules which describe the behaviour of all conflicting parties. Depending on the flight phase priorities have been defined which partly adhere to ICAO rules-of-the-air, Extended Flight Rules of Eurocontrol and special cases for LRM2020 (see Tab. I).

| LRM2020 Flight Rules |                    |         |                                             |
|----------------------|--------------------|---------|---------------------------------------------|
| Condition            | Flight Phase       |         | Priority                                    |
|                      | AC #1              | AC #2   |                                             |
| Overtaking = false   | Level <sup>a</sup> | Level   | Right Hand Aircraft (ICAO Rules of the Air) |
| Overtaking = true    | Level              | Level   | Slower Aircraft                             |
| Close to ToD*        | Level*             | Level   | Aircraft staying in Level                   |
|                      | Climb              | Level   | Aircraft in Level                           |
|                      | Descent            | Level   | Aircraft in Level                           |
|                      | Climb              | Descent | Aircraft in Descent                         |
|                      | Climb              | Climb   | EFR <sup>a</sup> of Eurocontrol             |
|                      | Descent            | Descent | EFR <sup>a</sup> of Eurocontrol             |
| Emergency            |                    |         | Aircraft in Emergency State                 |

a. EFR = Extended Flight Rules

Table I. Flight Rules Defined for LRM2020

Also at this stage it is absolutely indispensable to consider the role and effect of restricted areas and Temporary Reserved Areas on traffic handling and conflict detection. Such special areas are considered in trajectory planning and lead to a re-routing like in Fig. 6.

### 3.8 Information management, system overview, organisational units, roles and responsibilities

Airspace Management 2020 is based on specific basic assumptions and functionalities which are illustrated in Fig. 7. Three main processes are defined in consecutive phases which are repeated in an iterative manner. The process of flight plan data preparation is using all available information sources (CFMU, radar tracks, 4D-profiles, etc.) in order to determine a precise flight trajectory reflecting the current and upcoming traffic situation for the relevant aircraft. By entering the airspace the flight plans are activated for further processing. At the same time the ATC controller demand is evaluated. It is moni-

tored perpetually if incoming data has changed and an according update is generated.

Aircraft information including trajectories is transferred to the so-called “Call-Centre”, where flow management, tactical personnel planning, preparation of acceptance and the allocation to the responsible ATC controller are performed. Furthermore, the sending of aircraft to external airspace is prepared. Updates of the flight plan processing are forwarded to the controller working positions. Vice versa feedback information of the controllers is processed.

A central aspect of the planned studies is the strategy of controlling the traffic with a future controller working position. Based on existing information and data the controller has to guide the traffic safely and keep it free of any conflict. Any conflicts have to be early detected and solved. An according controller working position indicates the current traffic situation derived from radar data and 4D-profiles and provides a set of analysis tools including conflict detection with a horizon of approximately 10 minutes and a range between 1 and 10 minutes.

Conflicts are classified into potential and existing conflicts. An existing conflict is a possible violation of the minimum separation within a short look-ahead time, i.e. which will happen with high probability if no action is taken by the controller, whereas a potential conflict is a medium- or long-term conflict which has only a certain probability to occur in the future and only if all planned conditions are met.

A potential conflict is solved via an according set of rules of LRM 2020 which describe the automatic coordination between conflicting controllers and respectively the required instructions for the pilots. In case of an existing conflict an immediate coordination including the necessary action has to be taken. This is achieved by switching together the conflicting parties via telephone and indicating the conflict at the same time together with its resolution so that there is no delay for reaction. The conflict resolution is implemented via according instructions to the pilot; a synchronisation with TCAS is required. Therefore, this part of the LRM 2020 conflict handling belongs to the safety net.

The role of the “Call-Centre” is not planned to be investigated during the next experiments due to

the expected effort. Nevertheless this is included in the theoretical perspective.

There are also different requirements for the whole communication part. In the future digital communication systems can be expected which allow a direct addressing of the aircraft at any time and independently from its actual position (like modern mobile networks). This is in line with the real development and was initiated by the ICAO. For further studies in this project the existence of such a network is assumed and will be not be subject of research.



Fig. 6. Re-routing due to a TRA [DFS]

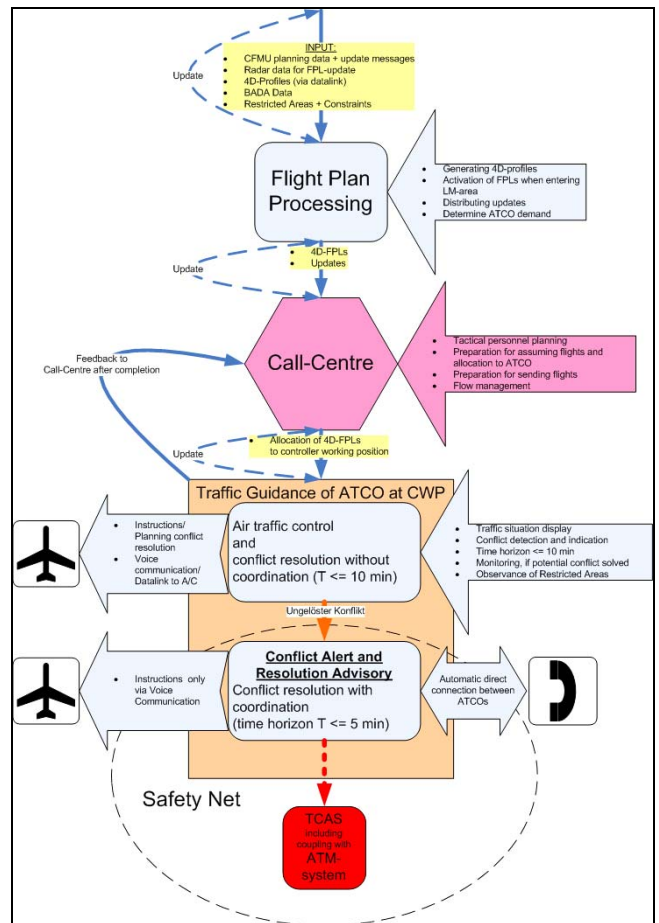


Fig. 7: LRM2020 trajectory handling and air traffic control

Today a team of controllers comprising a planner and an executive controller are responsible for controlling the entire air traffic in one sector. In LRM2020 this is no longer the case. Radar controller will be responsible for one or more aircraft. His work will be mainly in the planning phase and less in the tactical phase.

#### 4 CONTROLLER WORKING POSITION / HMI

One important central element of the concept is the controller working position which is the Human-Machine-Interface (HMI) between ATCO and ATM-System. The CWP's main task is to provide all necessary information about the traffic situation along the trajectories of the assigned aircraft of which the controller is in charge. The system design has to take into account that the allocated aircraft can be located in completely different parts of the airspace. The HMI has to support the assuming of the aircraft in a transparent and clearly represented way. One main issue is the conflict handling of the CWP. Be-

sides an advanced mid term conflict detection with conflict indication and probing functions also short term conflict handling should be covered. The special concept of LRM2020 requires short term conflict solution functionality where a safe and quick coordination between two controllers can be realized including the option of a conflict resolution. Additional support tools will help in analyzing traffic situations. In addition, safety net functions have to be integrated including detection for active TCAS maneuvers for further coordination.

Proof-of-concept simulations have identified several requirements for controller assistance. The conflict detection has to consider the defined priority rules and support an early identification of a minimum separation violation in order to avoid short term actions as far as possible. At the same time an independent algorithm has to ensure a short term conflict detection which belongs to the safety net functions.

The HMI of the controller working position consists of at least one or more identical basic radar displays with the same symbolism and layout which is in principle according to present radar displays. The basic configuration (See Fig. 10 and Fig. 11) comprises an overview display (See Fig. 8 and Fig. 9) and three smaller situation displays (See Fig. 12 and Fig. 13). All displays provide basic flight information like position, altitude, speed, history and flight plan information. Each situation display is freely configurable, flexible in use and can be cloned. Each situation display is assigned to one aircraft to be controlled. Therefore, the basic configuration allows the control of up to three aircraft. The range of each display can be adjusted (according to a navigation display in a modern aircraft cockpit). The position can be aircraft centred or fixed. The colour coding and display philosophy support the easy identification of the controlled aircraft and improves the situation awareness. The controlled aircraft are displayed in magenta. All other traffic, on the same level, is displayed in blue. Targets located in a flight above or below the controlled flight are also displayed in order to support the situational awareness. All grey coloured aircraft can be ignored for separation provision.

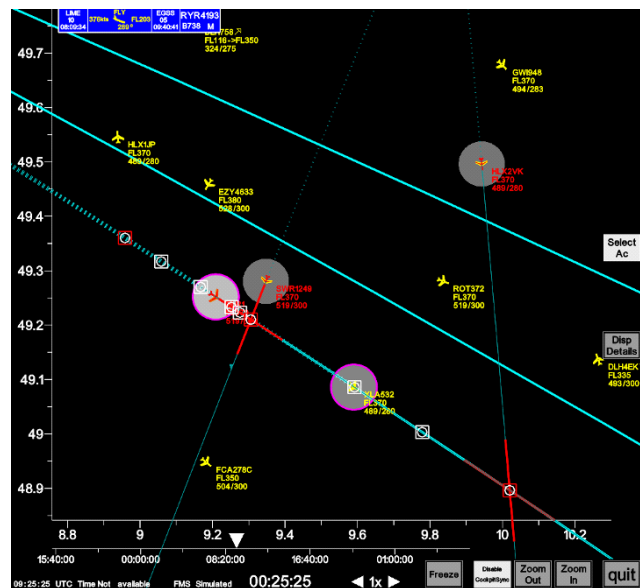


Fig. 8. Simple conflict with crossing traffic [DLR]

In case of an identified potential separation conflict the conflicting aircraft which has not the right of way is indicated in red (in the meantime red is avoided and exchanged by orange with a yellow circle around) and the other one in orange.

Fig. 13 shows a screenshot of the radar display for a conflict situation in which the aircraft with the call-sign DLR1 stays in conflict. Here, DLR1 is highlighted in red colour whereas his conflict partner remains in orange. According to the LRM flight rules the DLR1 has to give way.

The following information must be provided to the controller continuously: Call-sign, aircraft type, destination airport, predicted track (between 1 and 5 minutes), indicated airspeed, actual flight level, cleared flight level, time to top of descent/climb, climb/sink rates, routing (on request) and wake turbulence category.

A reliable conflict detection support tool has to be available enabling the LRM2020 ATCO to support him in his main task, the separation provision. The system has to identify lateral as well as vertical conflicts. For potential conflicts trajectory-based conflict avoidance is necessary in order to have more realistic predictions of conflicts for the desired look-ahead time. Currently a conflict horizon of 10 minutes is defined which allows a look-ahead of separation conflicts specified with 5NM laterally and 1000ft vertically. The tool works between 2 minutes and 10 minutes. For short term conflicts (below 2 minutes) a Short

Term Conflict Alert (STCA) driven by radar-based information is available. The TCAS integration in the safety net is not regarded at this stage of the development and validation concept.

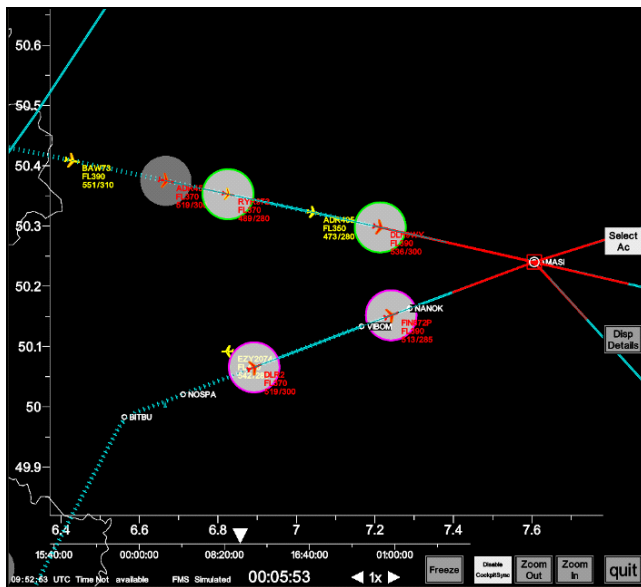


Fig. 9. More complex conflict [DLR]

Restricted areas and temporary reserved areas can be displayed on the radar screen, also zones with significant weather.

The system allows the controller via additional support functions to identify the existing separation and to determine the closest encounter between two or more aircraft if they continue their flight without changing flight level or routing (e.g. existing tool MINSEP at DFS). Also range and bearing to a waypoint or to another aircraft must be available.

The ATCO should have an easy re-routing function to avoid conflict or special areas without using open vectors. This improves the predictability strongly. There are no phases of undetermined flight intent.

In addition, a lot of entry and exit points exist which have to be identified. The radar target must be able to be fixed on an exit point, showing bearing and distance at the same time.

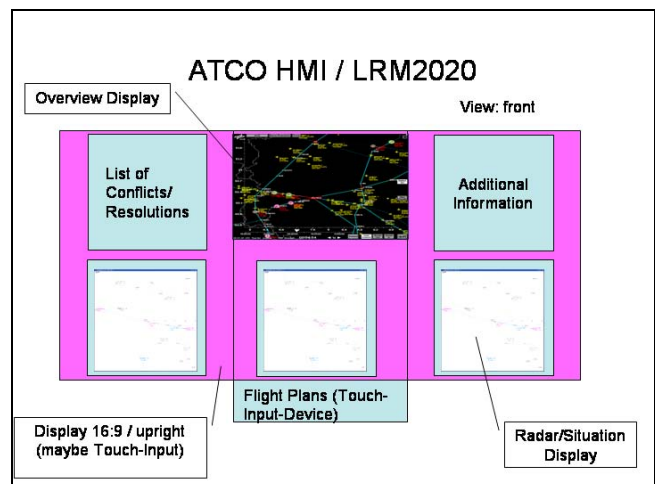


Fig. 10. Display configuration for a LRM200 CWP (front view) [DFS]

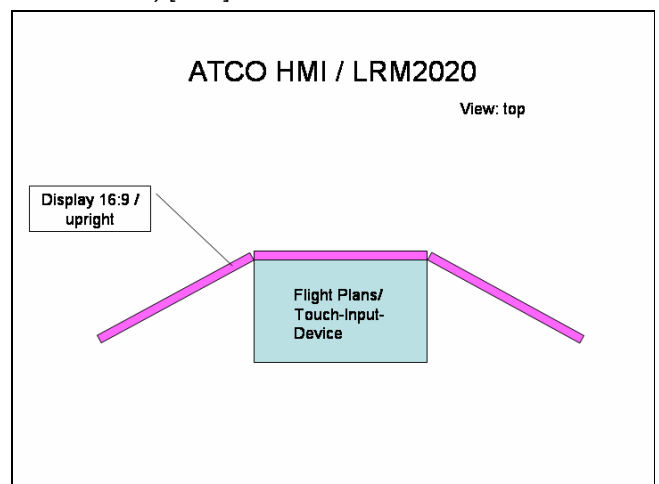


Fig. 11. Display configuration for a LRM200 CWP (top view) [DFS]

Each ATCO needs a communication without delay to the controlled aircraft and all other relevant ATCOs of LRM200 airspace. The logic of the LRM200 system automatically connects the controllers to be coordinated. The call-centre is in charge of distributing the aircraft to the controller in charge.



Fig. 12. LRM2020 experimental controller working position [DFS/DLR]

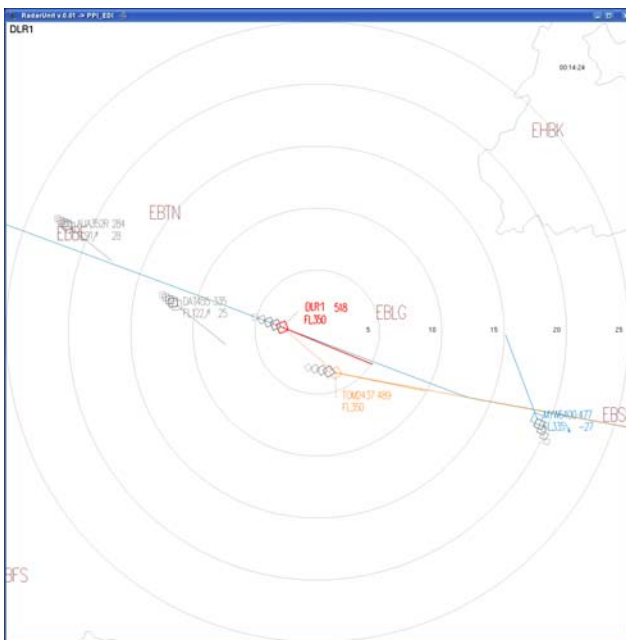


Fig. 13. LRM2020 basic radar display [DLR]

For further development of the concept, in case of having the option of digital communication, it must be clarified how the availability of one frequency for a large area airspace has to be estimated. At the same time enough frequencies must be available. A deeper technical solution is not available now for near term application of the sectorless principles.

In general the rule will be that indications shall reliably display the controlled aircraft. Any conflicts have to be indicated clearly as well as actions for collision avoidance. There must be a clear indication which aircraft has right of way

and which has to give way. It must also be indicated if the responsible controller solved the conflict. Flights with priority (emergency flights, ambulance flights) must be highlighted and handled by the conflict avoidance algorithms accordingly.

## 5 SAFETY

“Sectorless ATM” is a departure from the current way of controlling air traffic in the sense that aircraft are no longer attributed to controllers according to where they are flying.

Hence, in this concept, it is generally the case that flights in each other's vicinity are not controlled by the same controller. To prevent the need for even more labour-intensive coordination between controllers than in the current ATM concept, the sectorless ATM concept foresees a reduction of the number of conflicts in the planning phase by suitable preparation and adjustment of the collection of 4D flight plans. The absence of sector-related boundary conditions is expected to contribute to this. Furthermore, means to predict conflicts that would occur in the medium term (approximately 5 to 10 minutes ahead in time); and coordination free procedures to resolve such medium term conflicts by application of the Rules-of-the-Air support this.

These planning and medium term conflict handling measures are to prevent the need to address shorter term (less than approximately 5 minutes) conflicts to a large extent. In case such a shorter term conflict occurs, the controllers of the involved flights do coordinate with each other. The presently used TCAS is continued to be used and has to be integrated in system design of LRM2020.

It seems that the sectorless ATM concept's planning and medium term phases are to predict and resolve more conflicts in a relatively early stage than the current ATM concept does. A part of this improvement is inherent to the sectorless ATM concept: There are no sector-related boundary conditions in the planning phase and there is a simple and coordination free procedure to resolve medium term conflicts).

The sectorless ATM concept's way to deal with shorter term conflicts seems less effective than the current way as such conflicts will generally involve more than one controller, whereas they currently are "in one hand" preventing the need

for coordination and facilitating the evaluation of resolution alternatives. As there may be many different controllers related to the aircraft in a limited piece of airspace, the hazards related to such an implementation will need to be addressed.

A question is also what happens if two controllers want to contact a third controller at the same time. As controllers only directly communicate with their 'own' aircraft, a further question is whether their situational awareness suffers from this. In this case the problem will be delegated to one single controller who solves the conflict. Based on the previous observations, it seems necessary to investigate further whether the improved planning and medium term conflict prediction and resolution at least compensates the presumably deteriorated ability to handle shorter term conflicts. Possibly, part of this compensation is provided by the spatial simplification the sectorless ATM concept brings. A question is to which extent the present spatial organization indeed induces conflicts – will the maximal local air traffic densities generally decrease significantly? First results show the German-Direct-Entry-Exit scenario combined with the sectorless concept reduces conflicts significantly.

In the sectorless ATM concept, aircraft flying far from each other may be controlled by the same controller. The human factors aspects of this have to be addressed, e.g.: To what extent are controllers able to give other aircraft the necessary attention, if one of his aircraft needs extra attention? In such a situation where the workload is expected to be too high the uncritical aircraft will be taken back from the call-centre so that the controller can focus his attention on the critical event. What potential have controllers for confusing aspects of aircraft that have nothing to do with each other? The proof-of-concept simulations revealed that it seems to make no difference to handle aircraft on different locations and not in one area. This is supported by the HMI of the controller working position. Each aircraft has its own radar screen and situation analysis tools including conflict detection.

Presently, controllers provide ATM service in a limited number of sectors, which make them specialist experts for these sectors. Although in the sectorless ATM concept, controllers might specialize differently, e.g. according to airline, it re-

mains to be seen if the loss of local expertise will be compensated sufficiently. Therefore, it is currently necessary to limit the concept on upper airspace. Support tools will replace special knowledge of the controller.

The current organization of airspace into sectors to some extent 'confines' conflicts: They are normally in one hand, and flights are normally not transferred to the next sector unless they are conflict free. In the sectorless ATM concept resolutions of conflicts may induce other conflicts. A question is up to which air traffic densities the sectorless ATM concept is stable? As the air traffic system becomes an increasingly collective system due to the lacking compartmentalization of the sectors, the potential for collective phenomena such conflicts propagating through airspace, as their resolutions transfer conflicts from one aircraft pair to the next, increases. At very high densities, the resolution of conflicts may even induce several secondary conflicts, eventually resulting in cascades. Although experimental results until now do not show such phenomena, this has to be observed and analyzed very thoroughly and deeply.

## 6 FURTHER VALIDATION

Regarding the experiments performed to date the overall positive results revealed the necessity to develop and validate the operational concept further.

The planned validation activities will go deeper into the proposed ATM concept but will be limited to working methods and design of the human-machine interface, i.e. the controller working position. The setup of a more complex simulation environment is presented in Fig. 3. A profile generator has access to, or rather spoken, is the simulation core and creates trajectories which are based on the flight plan data base. Likewise, air space data and sample period are considered. The flight plan data base is derived from actual flight data taken from a representative congested day in 2008. All aircraft flying on that day are activated for the simulation (realistic traffic load desired). A special designed allocation algorithm will distribute the flights to the available air traffic controllers. Three experimental controller positions are planned for experimental validation. An extension is foreseen. ATC instructions will be processed and be considered during the

trajectory generation. Several simulation controllers will take the role of adjacent ATC controllers or pseudo/simulation pilots for conflict coordination and execution of ATC instructions respectively. The mode of work is depending on the existing conflict that means, if the conflict can be solved automatically, the simulation controller is in the mode of the pseudo pilot receiving the instructions of the ATC controller. Otherwise, in case of speech coordination via phone he stays in the adjacent controller mode.

There is the need to do further fast time simulations in order to investigate the safety aspects of the LRM2020 rules. Test scenarios with more traffic and with special conditions of weather and restricted/reserved areas. A deeper comparison of using a route-system or having a direct-routing has to be performed with respect to capacity versus safety. On the basis of fast time simulations the requirement of implementing a 'controller agent' arises. Its task would be to apply the rules of LRM2020. Simple algorithms might not be sufficient in order to create and test conflict solutions. A test on successive conflicts has to be made.

The configuration of the simulation environment shown in Fig. 3 is the minimum requirement for real time simulation. The real time simulation will consider several items like the creation of traffic scenarios based on real traffic data as entry data generated by the DFS traffic situation and information centre derived from a representative day with high traffic load, the generation of traffic scenarios with respect to the expectations of future growth of traffic and future operations under the LRM2020 concept of operations and a more technical one, the 'communication' between a real controller and a synthetic controller agent in case of a short term conflict.

For further validation activity the European Operational Concept Validation Methodology (E-OCVM) delivers the guideline and will set the standards. First activities will lead to real time simulations with an improved controller HMI and advanced conflict management functions. Therefore, special focus will be set on conflict potential and conflict handling. Beneath conflict potential further key performance parameters identified here are capacity, controller's workload, route length, fuel burn and CO<sub>2</sub>. A deep safety assessment must follow.

## 7 CONCLUSION

LRM2020 has impact on the current concept of operations but seems to be able to be integrated without deep change of technology and current working methods. Main changes in the concept of operations are located in the conflict management and the airspace structure. A planning conflict based air traffic control without sectors and finally without a route system will be operated in large areas of the upper airspace.

This new airspace management seems to be a promising concept. The Proof-of-Concept simulations demonstrated first feasibility. The expert briefings with controllers delivered a positive feedback of the concept. A lower workload respectively a potential to control more aircraft than a controller does today can be expected. An early de-conflicting is possible and deviations from the optimum trajectory can be reduced. By using transparent rules coordination free conflict solutions are possible and without coordination between sectors a strong reduction of coordination actions can be expected. There is no need for a controller team. A flexible service will be possible.

On the other hand there are some critical issues which have to be examined further. Vertical traffic is not completely integrated in the concept. The set of rules have to be refined. Also the coordination with lower sectors must be implemented in the concept. Apart from this the airspace border and the coordination between external stations has to be clarified. One important safety issue will still be the short term conflict solution with a necessary verbal coordination, although an easy coordination of conflicting controllers seems to be possible. It has to be guaranteed that short term conflict solution has to be on the same level of safety. Because of vertical movement handling and traffic density the concept is limited currently on upper airspace.

Apart from the simulation and validation aspects mentioned more and better rules have to be defined and the existing refined for LRM2020. In terms of further development and validation more assistance for finding a conflict solution especially short term conflicts has to be introduced. From the human factors perspective it must be further analyzed how the current state of development can improved for trajectory and conflict handling. An optimization should be performed

from the controllers' perspective. Overall a deep safety assessment when concept is refined has to take place.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Ralf Winkler for his constant feedback, helpful comments and support of the project. Also they would like to thank Didi for his support of the controller experiments at DLR and Hans de Jong for his thoughts regarding safety of a sectorless ATM concept.

## REFERENCES

|     |                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1] | Duong, V., Gawinowski, G., Nicolaon, J.-P. & Smith, D., "Sector-less air traffic management", 4 th USA / Europe Air Traffic Management R&D Seminar, 2001                                                                          |
| [2] | Duong, V., Hoffman, E., Floc'hic, L., Nicolaon, J.-P. & Bossu, C.A., "Extended flight rules (EFR) to apply to the resolution of en-counters in autonomous airborne separation", Eurocontrol Experimental Centre, 1996             |
| [3] | ICAO, "Global Air Traffic Management Operational Concept", Doc 9854 AN/458, International Civil Aviation Organization, 2005                                                                                                       |
| [4] | Korn, B.; Edinger, C.; Kügler, D.; Pütz, T.; Hassa, O. & Mohrhard, B., "Is Sectorization Really Required for Efficient En-Route Air Traffic Control?", CEAS 2009 European Air and Space Conference, 2009 (submitted and accepted) |
| [5] | Rivière, T., "Redesign of the european route network for sector-less", The 23rd Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2004, Vol. Volume 1, pp. 2.A.2 - 2.1-8 Vol.1                                                          |
| [6] | Walker, M.; Long, P. & Lowry, N., "URET Daily-Use Metrics and Benefits Analysis - Progress Report", The MITRE Cooperation, 2000                                                                                                   |

## Verfahren und Simulationsergebnisse im Projekt SOFIA

Andreas Udovic

### Einleitung

Das Projekt SOFIA – Safe Automatic Flight back and Landing – ist ein von der Europäischen Kommission gefördertes Projekt, welches seit dem 01.09.2006 im Bereich Forschung und Entwicklung durchgeführt wird und am 31.12.2009 enden wird. Mit insgesamt acht Partnern wurde untersucht, ob und wie Flugzeuge in Falle von Bedrohungen an Bord sicher landen können, ohne dass eine Person (Pilot/Entführer) an Bord des Flugzeuges eingreifen kann.

Aufgabe der DFS war die Entwicklung von Verfahren, die in einer Realzeitsimulation bei TE getestet wurden, und die Begleitung von Flugversuchen.

### Hintergrund

Das Projekt SOFIA ist eng mit den Projekt SAFEE - Security of Aircraft in the Future European Environment – verbunden. Dieses Projekt wurde von der Europäischen Kommission aufgrund der Terroranschläge in den USA am 11.09.2001 vergeben. Ziel dieses Projektes war die Erkennung von Gefahren an Bord eines Flugzeuges. Daraufhin soll die Besatzung des gefährdeten Flugzeuges aus der fliegerischen Verantwortung genommen und das Flugzeug automatisch in eine Holdingposition geführt werden. Eine Steuerung des Flugzeuges ist dann von Bord aus nicht mehr möglich.

Das Projekt SOFIA setzt an, nachdem das bedrohte Flugzeug in eine Holdingposition geführt wurde. Ziel von SOFIA ist die automatische Rückführung des Flugzeuges zu einem Flughafen und die sichere Landung. Dazu wurde eine Flight Recalculation Functionality (FRF) definiert und programmiert.

### Projektziele

Für das Projekt SOFIA wurden drei wesentliche Ziele definiert:

1. Die Demonstration, dass das FRF in einer betriebssicheren und preislich erschwinglichen Art hergestellt werden kann.
2. Die Demonstration, dass mit FRF ausgerüstete Flugzeuge unter normalen Flugbedingungen sicher operieren können.
3. Die Demonstration, dass wenn FRF die Flugführung übernimmt, ein sicherer Flug zum Flughafen und eine sichere Landung möglich sind.

Diese drei Projektziele von SOFIA lassen sich weiter untergliedern in technische und operationelle Ziele sowie Validierung der entwickelten Verfahren.

Zu den technische Zielen zählen unter anderem:

- Das Design der FRF für verschiedene Flight Managment Systeme (FMS).
- Die Entwicklung eines FRF für ausgewählte FMS.
- Entwicklung einer Datenbank (Geländedaten, Flughafendaten, Flugrouten, etc.) zur Unterstützung des FRF.
- Der Aufbau einer Validierungsplattform zur Demonstration der FRF Fähigkeiten.

Die operationellen Ziele umfassen:

- Analyse des Einflusses FRF gesteuerter Flugzeuge auf das Air Traffic Management (ATM).
- Analyse der Kompatibilität von FRF zu den bestehenden Flugsicherungsregeln.
- Entwickeln von Verfahren zur Integration FRF gesteuerter Flugzeuge im bestehenden und zukünftigem ATM.

In den Bereich Validierung gehören die Punkte:

- Untersuchung der Betriebsicherheit von FRF.
- Überprüfen der Flugsicherungsverfahren.
- Demonstration der FRF Fähigkeiten.
- Die Validierung sollte mittels Realzeitsimulationen und Flugversuchen durchgeführt werden.

Insbesondere die Erfüllung der operationellen Ziele und deren Validierung standen im Mittelpunkt der DFS Aktivitäten.

Folgende Partner waren neben der DFS an diesem Projekt beteiligt:

- ISDEFE (Spanien), Projektführung,
- THALES Avionics (Frankreich), verantwortlich für den Bereich FMS und FRF Entwicklung,
- Galileo Avionica (Italien), Mitarbeit in der Entwicklung der notwendigen Datenbank und Beteiligung an der Validierung
- Skysoft (Portugal), für die Programmierung von FRF verantwortlich,
- Teleavio (Italien), verantwortlich für das Systemdesign und die Programmierung der notwendigen Datenbank
- Diamond Aircraft (Österreich), beteiligt an den Flugversuchen
- Rheinmetall Defence Electronic, stellt zusammen mit Diamond einen Versuchsträger zur Verfügung
- Instytut Lotnictwa (Institute of Aviation, Polen), stellt ebenfalls einen Versuchsträger zur Verfügung.

### **Lösungsansätze für die Integration von FRF aus SAFEE**

Im Rahmen des Projekts SAFEE wurden bereits Lösungsansätze für Integration von FRF gesteuerten Flugzeugen in das ATM entwickelt. Folgende drei Lösungsansätze wurden formuliert und bildeten die Grundlage für die weitere Entwicklungsarbeit in SOFIA:

1. In Lösungsansatz 1 wird an Bord des Flugzeuges durch die FRF ein neuer Flugplan berechnet. Dieser Flugplan enthält die Flugstrecke bis einschließlich zur Landung am Flughafen. Bei der Berechnung des Flugplans werden die flugzeugspezifischen Daten, wie z.B. Performance, benötigte Landebahn, vorhandener Treibstoff an Bord oder das aktuelle Wetter, mit einbezogen. Dieser Flugplan wird dann über das bordeigene FMS abgefliegen und das Flugzeug sicher gelandet. In wie weit es eine Möglichkeit gibt, ATC über den neuen Flugplan zu informieren, muss noch untersucht werden.

2. In Lösungsansatz 2 wird ein neuer Flugplan am Boden generiert. Dies kann durch ATC geschehen oder alternativ über eine separate Bodenstation. Dieser Flugplan wird dann zum bedrohten Flugzeug gesendet. Dort wird dieser mit den Flugzeugdaten zusammen auf Durchführbarkeit überprüft. Ergibt die Überprüfung, dass dieser Flugplan abgefliegen werden kann, wird er ausgeführt. Anderweitig wird er abgelehnt. Diese Ablehnung wird dem Boden mitgeteilt, der daraufhin einen neuen Flugplan erstellen kann. Wird ein Flugplan durch das FRF dreimal abgelehnt, wird wie unter 1 ein neuer Flugplan berechnet und dieser wird dann abgefliegen.
3. Lösungsansatz 3 sieht den Einsatz eines Militärflugzeuges vor, welches zu dem bedrohten Flugzeug geschickt wird. Im Militärflugzeug wird dann analog zu 2 ein neuer Flugplan zu dem bedrohten Flugzeug gesendet. Wie unter 2 kann ebenfalls eine Verhandlung über den Flugplan stattfinden. Der akzeptierte Flugplan kann dann unter Begleitung durch das Militärflugzeug angefliegen werden.

Alle drei Varianten wurden im Arbeitspaket 1 des Projekts SOFIA diskutiert und auf ihre Kompatibilität zum ATM-System untersucht.

### **Verfahren zur Integration von FRF**

Im Rahmen des Projektes wurde, basierend auf den Lösungsansätzen aus dem SAFEE Projekt, Verfahren entwickelt, die einen sicheren Flug aus dem Holding Pattern zu einem Flughafen ermöglichen sollen. Für dieses Arbeitspaket zeichnete die DFS verantwortlich. Diese Verfahren wurden zusammen mit Fluglotsen entwickelt und diskutiert und daraufhin im Bereich F&E in Zusammenarbeit mit dem DFS-Bereich „ATM Operations“ (CC/FDO) ausgearbeitet. Dazu wurde in einem ersten Schritt das bestehende ATM-System analysiert und die Rahmenbedingungen definiert. In einem zweiten Schritt wurde das zukünftige ATM System (SESAR) betrachtet. Die auf dieser Basis entwickelten Verfahren wurden dann auf einem Workshop mit Fluglotsen diskutiert und optimiert.

Anschließend wurden diese Verfahren den nationalen und internationalen Zulassungsbehörden vorgestellt.

Abbildung 1 stellt das Ablaufdiagramm für das Verfahren 1 dar. In diesem Verfahren fliegt das Flugzeug aus dem Holding Pattern (HP) zu einem Flughafen, welcher durch das FRF bestimmt wird. In dem Diagramm werden die Aktivitäten des Flugzeugs nach den Projekten SAFEE (blau) und SOFIA (grün) unterschieden. Der Flugweg und der Flughafen wird mittels Datenlink (D/L) der Flugsicherung mitgeteilt, so dass diese den Flugweg sichern kann. Die Flugsicherung informiert laufend die betroffenen Institutionen, wie z.B. Sicherheitsbehörden oder Flughäfen, über die Aktivitäten des FRF-gesteuerten Flugzeugs.

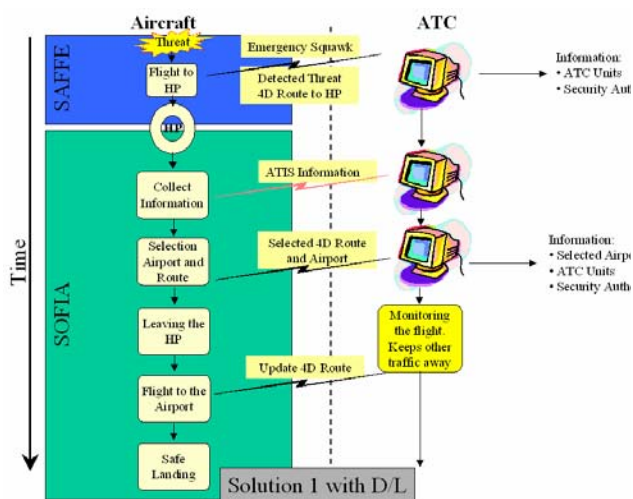


Abb. 1: Verfahren1 SOFIA

Als Variante wurde für diesen Lösungsansatz definiert, dass kein D/L zur Verfügung steht. Dies bedeutet, dass die Flugsicherung den Flugweg nur verfolgen kann, ohne dass bekannt ist, welchen Flugweg das FRF-Flugzeug nimmt und welchen Flughafen es anfliegt.

Abbildung 2 zeigt einen Teil des Ablaufschemas für das Verfahren 2 mit einer Verhandlung zwischen FRF und Flugsicherung über den möglichen Flughafen und den möglichen Flugweg.

Bei diesem Verfahren werden der mögliche Flugweg und der Flughafen zwischen FRF und Flugsicherung verhandelt. FRF schlägt einen Flughafen vor und die Flugsicherung prüft dessen Verfügbarkeit. Wenn dieser verfügbar ist, wird eine Route zu diesem Flughafen per Datenlink von der Flugsicherung zum FRF übertragen. FRF prüft diese Route und akzeptiert diese bzw. kann diese auch aufgrund von internen flug-

zeugbedingten Zuständen ablehnen. In diesem Falle fliegt das Flugzeug nach einem FRF-berechneten Flugweg zum Flughafen. Dieser Flugweg wird dann per D/L an die Flugsicherung übermittelt.

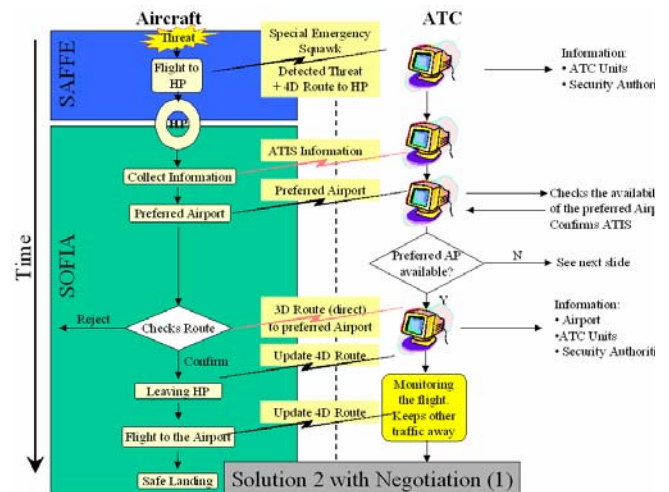


Abb. 2: Verfahren2 SOFIA

Das ebenfalls erarbeitete dritte Verfahren, in dem ein militärisches Flugzeug Verbindung zum FRF-gesteuertem Flugzeug aufnimmt, wurde im weiteren Validierungsprozess nicht betrachtet und wird daher hier auch nicht weiter erläutert.

## Ergebnisse der Validerung

Im Rahmen der Validerungsaktivität des Projektes SOFIA wurde von der DFS eine Realzeitsimulation durchgeführt. Diese Simulation fand im November 2008 statt. Zum einen sollte bei der Validierung die entwickelten Verfahren getestet werden, zum anderen sollte auch eine erste Version des FRF geprüft werden. Dazu wurde das FRF in einem Flugsimulator des Projektpartners Galileo eingebaut. Der Flugsimulator wurde via UMTS Datenverbindung an den AFS Realzeitsimulator angebunden. So konnte eine für die Fluglotsen realistische Umgebung geschaffen werden, in der die Verfahren getestet werden konnten.

Von den vorgesehenen 2 Simulationswochen konnte die erste Simulationswoche aufgrund von technischen Problemen mit der Datenlinkverbindung zwischen DFS und den Flugsimulatoren nur für eher technische Test genutzt werden. In der ersten Woche nahmen insgesamt 5 ehemalige

Fluglotsen an den Versuchen teil. In der zweiten Simulationswoche beteiligten sich 2 aktive Lotsen der Kontrollzentrale Langen.

In beiden Wochen wurden objektive Daten (z.B. Anzahl der Luftfahrzeuge, Abstand zum FRF Flugzeug) und subjektive Daten (z.B. Workload) erhoben. Da die erste Simulationswoche primär für technische Tests genutzt werden konnte, wurden die in dieser Zeit erhobenen Daten nur genutzt, um die Ergebnisse der zweiten Simulationswoche zu stützen.

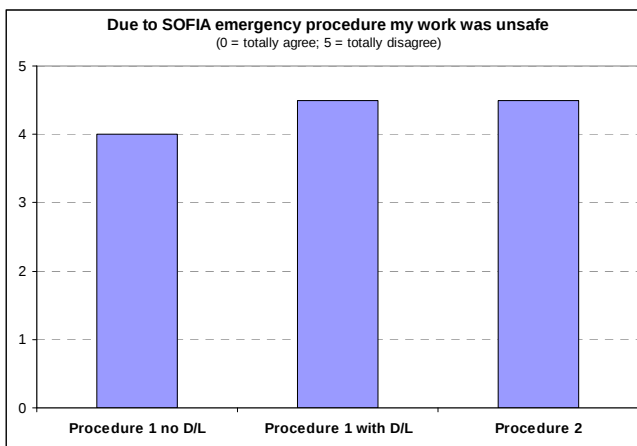


Abb. 3: Einschätzung der Verfahren in den Simulationen

Aufgrund von verbleibenden technischen Problemen konnten nur die SOFIA-Verfahren 1 mit und ohne D/L wie geplant validiert werden. Das Verfahren mit Flugplanverhandlung (Verfahren 2) konnte nicht komplett überprüft werden, da die Funktion „Ablehnung des ATC Flugplans durch FRF“ nicht durchgeführt werden konnte.

Insgesamt konnten in der ersten Simulationswoche 8 und in der zweiten Woche 10 Simulationsläufe durchgeführt werden.

Abbildung 3 gibt die Bewertung der getesteten Verfahren hinsichtlich der Sicherheit wieder.

Die Lotsen der zweiten Woche schätzen die Sicherheit aller drei getesteten Verfahren als hoch ein. Die besten Werte erhielt das Verfahren 1 mit D/L, fast gleich auf liegt das Verfahren 2. Im Debriefing nach den Simulationen gaben die Lotsen an, dass das Verfahren 1 mit D/L sicher ist, aber dieses im Vergleich zu Verfahren 2 nicht so kompliziert ist.

Dies spiegelt sich auch in der zeitlichen und mentalen Belastung der Lotsen wieder, die in der Abbildung 4 dargestellt ist.

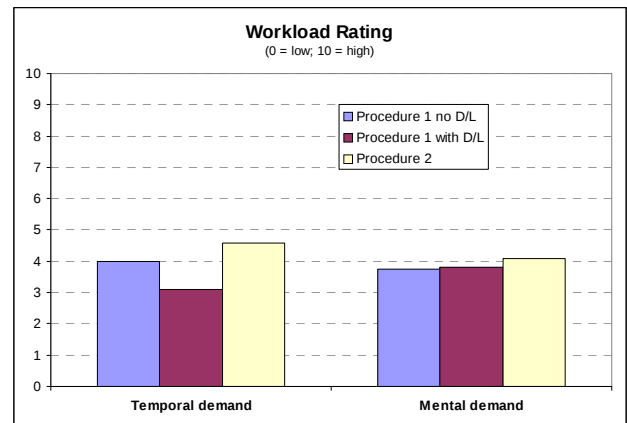


Abb. 4: Workload der Lotsen

Insbesondere die zeitliche Beanspruchung war im Verfahren mit D/L am geringsten, im Verfahren 2 am höchsten.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Aussagen der Lotsen aus der ersten Woche. Auch sie gaben an, dass das Verfahren 1 mit D/L sicher und leicht zu arbeiten ist. Der Vorteil der Flexibilität des Verfahrens 2 wird dadurch aufgewogen.

### Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts SOFIA hat die DFS die übernommen Aufgaben planmäßig durchführen können. Die notwendigen Verfahren zur sicheren Landung eines FRF gesteuerten Flugzeugs wurden entwickelt und zwei Verfahren konnten in einer Realzeitsimulation getestet werden. Dabei ergab sich eine Präferenz für das Verfahren 1 mit D/L.

### Abkürzungen

|       |                                                         |
|-------|---------------------------------------------------------|
| AFS   | Advanced Function Simulator                             |
| ATM   | Air Traffic Management                                  |
| FRF   | Flight Recalculation Functionality                      |
| SAFE  | Security of Aircraft in the Future European Environment |
| SOFIA | Safe automatic flight back and landing                  |
| D/L   | Datenlink                                               |
| SESAR | Single European Sky Air Traffic Research                |

## Task-based workload models for the evaluation of conceptual changes in air traffic control

Stephan Herr

### Zusammenfassung<sup>2</sup>

Mit neuen Systemfunktionalitäten in der Flugverkehrskontrolle kann in der Regel nur dann der gewünschte betriebliche Nutzen erreicht werden, wenn eine gleichzeitige Anpassung der Luftraumstruktur und der Arbeitsverfahren erfolgt. Die Komplexität dieser neuen Arbeitssysteme erfordert strukturierte Untersuchungen während des Entwicklungsprozesses, um die Merkmale und Auswirkungen des neuen Systems möglichst genau zu kennen. In diesem Artikel wird der mögliche Beitrag von tätigkeitsbasierten Arbeitslastmodellen in diesem Bereich diskutiert. Nach einer kurzen Beschreibung des zukünftig geplanten Arbeitssystems für den deutschen oberen Luftraum wird die Entwicklung und Validierung eines Arbeitslastmodells auf Basis dieses Systems dargestellt. Die abschließende Analyse ergibt, dass tätigkeitsbasierte Arbeitslastmodelle ungeachtet des noch bestehenden Optimierungsbedarfes eingesetzt werden können und zur Verbesserung des Entwicklungsprozesses neuer Arbeitssysteme beitragen.

### Abstract

New system functionalities in air traffic control do not provide adequate benefits in terms of safety or capacity without the respective adaption of the airspace structure and working procedures. Given the complexity of these new socio-technical systems, it is necessary to assess the characteristics of these systems during the development process. This article discusses the potential contribution of task-based controller workload models in this area. After the brief description of planned new system functionalities and working procedures for the German upper airspace, the development and validation of a controller workload model based on this system will be shown. It will be concluded that in spite of some need for optimization, task-based workload models can

deliver value to the development and validation process in air traffic control.

### Introduction

The airspace in Central Europe is already one of the busiest airspaces in the world and the forecasts predict further traffic increases. The current air transport system is reaching its capacity limits, not only at airports but also in parts of the en-route area. For the en-route part this is mainly due to the workload constraints of air traffic controllers.

In the past, many technical system functionalities were developed with the aim of reducing controller workload and thus enabling the safe handling of the predicted traffic growth. In most cases new functionalities alone without simultaneous adaptations to the airspace structure and the working procedures will not provide the requested operational benefit.

In advance of the implementation of such socio-technical systems it has to be assured that key performance criteria like safety, capacity and efficiency can be achieved. In air traffic control the necessary validation activities are normally performed by running real-time simulations. However the preparation and analysis of real-time simulations involve a high amount of effort. Therefore it would be beneficial if the main features of the new socio-technical systems could be evaluated also in a different way, thus reducing the effort for real-time simulations.

A number of studies have analyzed the impact of air-traffic related parameters like number of aircraft, potential loss of separation or vertical movements on controller workload. As a result workload models have been developed that forecast the expected controller workload on the basis of the predicted traffic in current operations. It will be analyzed in this article whether similar models can be used for planned socio-technical systems that are not yet in operation. Is it feasible to derive valid conclusions from these models even without an extensive set of validation data?

<sup>2</sup> Dieser Artikel wurde auf der 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (Oktober 2009) des Zentrums Mensch-Maschine-Systeme veröffentlicht

## The operational concept

Within this chapter the essential components of the new working environment for air traffic controllers will be described. This operational concept forms the basis for the development of the controller workload model. Further information on the concept can be found in Herber (2008). The concept is based on the following key elements:

## Technical functionalities

- 4-D trajectory prediction on the basis of flight plan data and an underlying aircraft performance model
- Short term conflict detection on the basis of ATC clearance and actual data (e.g. cleared flight altitude, actual position of aircraft)
- Medium term conflict detection on the basis of flight-plan data
- Monitoring tools to detect deviations from ATC clearance and flight-plan
- All changes made to planning data are forwarded to all working positions concerned, including the immediate display of updates.

## Working procedures

- Verbal co-ordination will largely be replaced by appropriate electronic communication channels. In some cases new procedures do not require any co-ordination because of the more comprehensive picture of the traffic situation that is provided to controllers.
- System input is required for all clearances and co-ordination so that the system has the most recent data at all times.
- Air traffic controllers are supported by a medium term conflict detection tool in order to identify potential separation infringement, i.e. the planning controller has no need to perform manual conflict search any more.
- Air traffic controllers are also supported by short term conflict detection and flight path monitoring. These tools may increase safety or the maximum capacity, however they do not change the principle working procedures, e.g. the Executive controller still has to perform manual conflict search.

## Airspace structure

The new route structure provides direct routings for all flights from the entry to the exit point of the airspace. Certain arrivals and departures are guided along standard routes until reaching a defined altitude and are then cleared directly to the exit point.

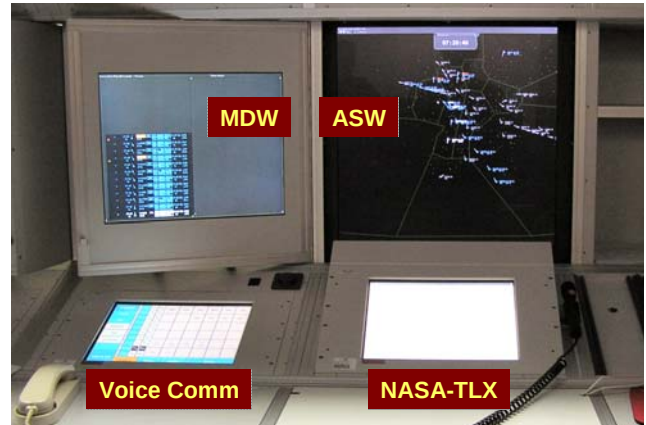


Fig. 1: Controller Working Position at the DFS R&D simulator (ASW=air situation window; MDW=main data window for flight-plan data). The lower right display is used to collect subjective workload measurements (e.g. NASA Taskload Index)

## Model description

A number of models calculate controller workload directly from air-traffic related parameters like number of aircraft, vertical movement or number of potential conflicts. The models have been developed using several mathematical methods (e.g. regression analysis). Respective studies have been published by Kastner (2001), Kopardekar (2007) and many others.

However these models do not take into account different working procedures and the usage of system functionalities. Furthermore most of the models concentrate on one human actor. This is normally the controller position that is expected to be the bottleneck for further capacity increase.

Task-oriented models can take into account all human actors and have the ability to model changes in working procedures and system functionalities. There are also studies on these models. For example the DORATASK model developed by the ATC provider of Great Britain models around 10 main air traffic controller tasks (Phillips 1995). The task durations during a specific traffic situation are added and the capacity limit is reached at 70% of the total available time. The

CAPAN model developed by Eurocontrol, which is used by a significant number of ATC providers in Europe is similar to the DORATASK approach, but models around 110 controller tasks (Cook 2007). As it was necessary for the approach to integrate procedures and system functionalities and to look at all human actors involved, the decision was taken to use a task-oriented approach.

In addition to the existing task-oriented models the model described in this article takes into account role availability, i.e. only if no other task of equal or higher priority is pending a task can be fulfilled, otherwise the task has to wait. The same applies for tasks that involve interaction between controllers, i.e. only if both controllers are available the task can be fulfilled. Furthermore activities that are expected to be processed in parallel according to the operational concept have been included in the model respectively.

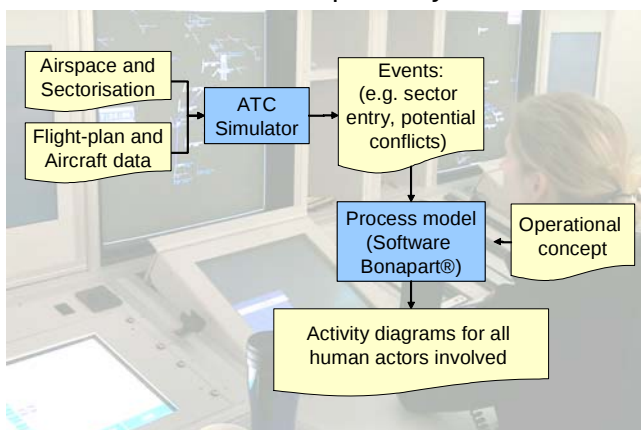


Fig. 2: Main components of the controller workload model

In Figure 2 the main components of the model are displayed. As input data for the ATC simulator the desired airspace and sectorisation is required as well as the flight-plan data and appropriate aircraft performance files. The ATC simulator generates a list of events along a timeline that are associated with controller tasks. For this study the DFS R&D simulator has been used. Those events include e.g. sector entries or exits of aircraft in the cruise phase or vertical transition and potentially conflicting aircraft. The event list is fed into the process model that represents the operational concept of the new socio-technical system. The software Bonapart® has been used for the process modelling.

The process model generates activity diagrams for all human actors involved. In the diagram the resource occupancy time and the number of tasks in the waiting list are displayed. An example of the activity diagram is shown in Figure 3.

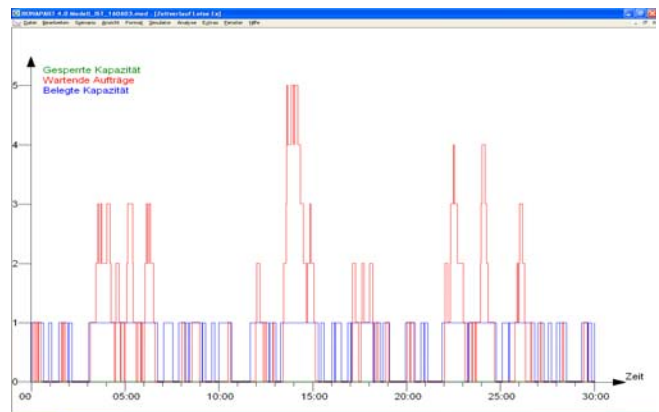


Fig. 3: Activity diagram for one air traffic controller (source: Bonapart® software). The blue graph shows the occupancy of the controller along the time line, while the red graph represents the number of tasks waiting to be processed.

## Results of the model validation

### Validation Data

In order to validate the model, data is required from air traffic controllers working according to the operational concept. This data was generated from a real-time simulation that took place in April 2007. The simulation was conducted at the DFS R&D facilities using a prototype ATM system that provided the new system functionalities. Further information on the real-time simulations and the operational concept can be found in Herber (2008).

### Design of the study

Four sectors of the Karlsruhe control centre were assessed. All of the air traffic controllers participating held the required ratings for the sectors they were in charge of.

The traffic samples were based on real flight-plan data of the past. They were evaluated and optimised by air traffic controllers in order to increase the degree of realism. The traffic volume corresponded on average to today's capacity values, with peaks at around 150% of that value. The

data for each of the two simulation runs was recorded for a period of one hour.

## Comparison of the model with validation data

In order to judge the sensitivity of the model with regards to the traffic volume, the recorded data was divided into 5 minutes intervals. For each interval the model was compared with the simulation data. From past experience the categories <80%, 80-120% and >120% of today's capacity limits have been found suitable for analysis.

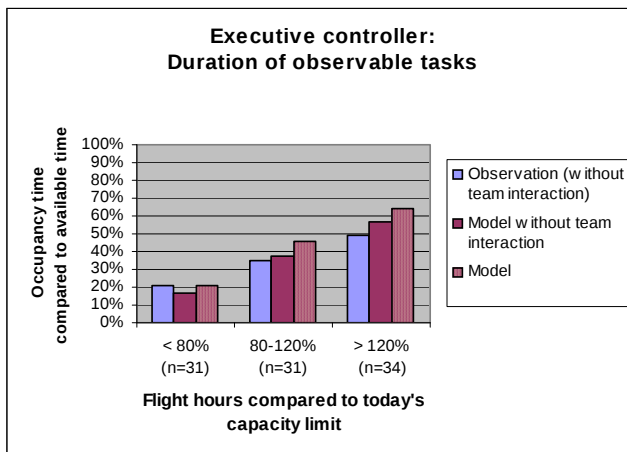


Fig. 4: Comparison of the model data and the observation data for the executive controller.

Figure 4 shows the occupancy time for the executive controller in comparison to the available time. According to the model the executive controller is occupied by observable tasks around 65% of his available time in the category >120% of today's capacity limit. As the task "team interaction" between executive and planning controller could not be recorded during the real-time simulation, the comparison has to take place without this task.

The data above shows a general match between the model and the observation. In low traffic volume the controller is a little more occupied than would be needed according to the model, whereas in high traffic conditions the controller seems to be more efficient than the model forecast.

In spite of the good match on average the standard deviation of the difference between observation and the model is quite high (around 42 seconds or 14% of a 5 minutes interval). One reason for this high spreading can be seen in the different application of the working procedures by

different air traffic controllers. Although the operational concept describes the working procedures in more detail than in today's operations, the strong inter-personal differences continue to exist.

The respective analysis for the planning controller shows similar results with regards to the general match and the standard deviation (deviation around 30 seconds or 10% of a 5 minutes interval). Remarkably the model has forecasted the real low occupancy time of the planning controller which has not been expected by most experts for the new socio-technical system. Furthermore the model and the observation shows no increase from the 80-120% to the >120% category. As traffic increases conflict resolution becomes more complex and more likely has to be resolved by the executive controller on short notice. The potential for the reduction of complexity by early resolution of conflicts seems to be limited in the new socio-technical system.

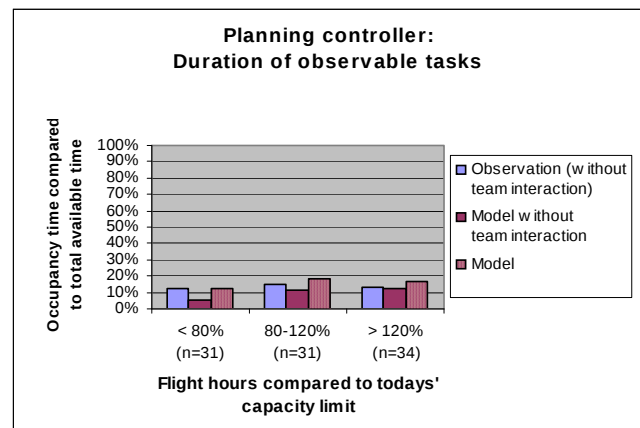


Fig. 5: Comparison of the model data and the observation data for the Planning controller.

## Conclusion and future work

From the results shown it can be concluded that task-based workload models have the ability to predict the characteristics of future socio-technical systems in air traffic control. On average the model showed a good match with the validation data. Therefore future enhancements to the operational concept can be evaluated even without extensive validation data. Following this approach there is the possibility to achieve a higher level of maturity for the operational concept before entering the real-time simulation phase.

However the standard deviation between model and observation for single datasets appears to be quite high. This indicates inter-personal differences in the application of procedures and/or a variety of traffic situations that cannot be resolved by standardized actions. Therefore the model has its limitation when looking at a specific traffic situation. On the other hand a stronger standardization of the working procedures would help workload models in achieving better results.

Future work includes the optimization of the model as well as the validation with more extensive data. As the new system functionalities are expected to become operational in the Karlsruhe upper area center in 2011, training for all controllers will take place in 2010. It is planned to record controller tasks and system inputs during this training phase. The model is expected to be used for the evaluation of further enhancements to the operational concept. For the medium term it can be envisaged to use task-based workload models for the estimation of expected controller workload in daily operations.

## Literature

|     |                                                                                                                                                                       |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1] | Cook A. (2007). European air traffic management: principles, practice and research. Alder-shot, England: Ashgate Publishing                                           |
| [2] | Herber A. et al (2008). Zusammenfassung der Ergebnisse im Projekt MSP D/L. In: TE im Fokus 02/08 Verfügbar unter: <a href="http://www.dfs.de/">http://www.dfs.de/</a> |
| [3] | Kastner, M. et al (2001). Projekt Vsal-1 - Auswertung von Radardaten. Projektbericht V1.0 Dortmund 2001                                                               |
| [4] | Kopardekar, P. et al (2007). Airspace complexity measurement: An air traffic control simulation analysis. 7th USA/Europe R&D seminar 2007, Barcelona, Spain           |
| [5] | Phillips, R. (1995). A guide to DORATASK procedure for sector capacity estimation. CAA, CS Report 9506                                                                |

# Untersuchung von nicht-kooperativen Sensoren im Rahmen einer Echtzeitsimulation am Tower-Simulator

Stefan Schwanke

## Einleitung

Im Auftrag von EUROCONTROL untersucht die DFS seit Anfang 2008 die operationellen und technischen Anforderungen für den Einsatz von nicht-kooperativen Sensoren für die Überwachung von Bodenbewegungen, vornehmlich von Flugzeugen, aber auch von Kraftfahrzeugen an kleineren Flughäfen. Das Projekt läuft voraussichtlich bis Ende März 2010 und trägt den Namen ASNOCOS - „Assessment of non-cooperative sensors“.

Aufbauend auf dem operationellen Konzept, welches vom Bereich TWR entwickelt wurde, sind während einer zweiwöchigen Echtzeitsimulation im Tower-Simulator TOSIM<sup>3</sup> der DFS Akademie verschiedene Sensorkonzepte mit mehreren Fluglotsenteams unter verschiedenen Verkehrssituationen getestet und bewertet worden.

## Hintergrund des Projektes

Nicht-kooperative Systeme sollen bei der Überwachung von Bodenbewegungen an Regionalflughäfen eine kostengünstige Alternative zu Systemen darstellen, die auf kollaborativen Sensoren basieren, um den Platzlotsen insbesondere bei Schlechtwetterbedingungen zusätzliche Informationen zu liefern. Im Gegensatz zu „Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS)“, die Informationen aus kooperativen und nicht-kooperativen Sensoren vereinen, wird im Projekt ASNOCOS der alleinige Einsatz von nicht-kooperativen Systemen untersucht, d.h. es erfolgt für die Towerlotsen ausschließlich die Positionsanzeige der Boden-

bewegungen auf einem separaten Display.

Weitere Daten, die beispielsweise Identifizierungs- und Klassifizierungsmerkmale (Call sign, Objekttyp Flugzeug oder Fahrzeug) enthalten werden aufgrund von Vorgaben des Projektauftraggebers nicht zur Verfügung gestellt. Es ist daher davon auszugehen, dass keine aufwändigen Datenfusionen und Ausrüstungssysteme erforderlich sind.

Neben dem operationellen Konzept und der Validierung der Hypothesen im Rahmen einer zweiwöchigen Echtzeitsimulation am Tower-Simulator im März 2009 stellt das Projekt funktionelle Anforderungen für nicht-kooperative Systeme auf. In den kommenden Monaten werden außerdem Sicherheitsaspekte bewertet und eine Analyse relevanter Humanfaktoren mittels des HF Case durchgeführt (s.a. TE im Fokus 1/09) sowie eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt (s. Abb. 1). Die Resultate dienen als Basis für eine ICAO-Empfehlung.

Der Geschäftsbereich Aeronautical Solutions leitet das Projekt innerhalb der DFS. Beteiligt sind außerdem der Geschäftsbereich Tower und die DFS-Akademie. Der Bereich Forschung und Entwicklung (TE) war für die Leitung, Organisation, Durchführung, Auswertung und Dokumenta-

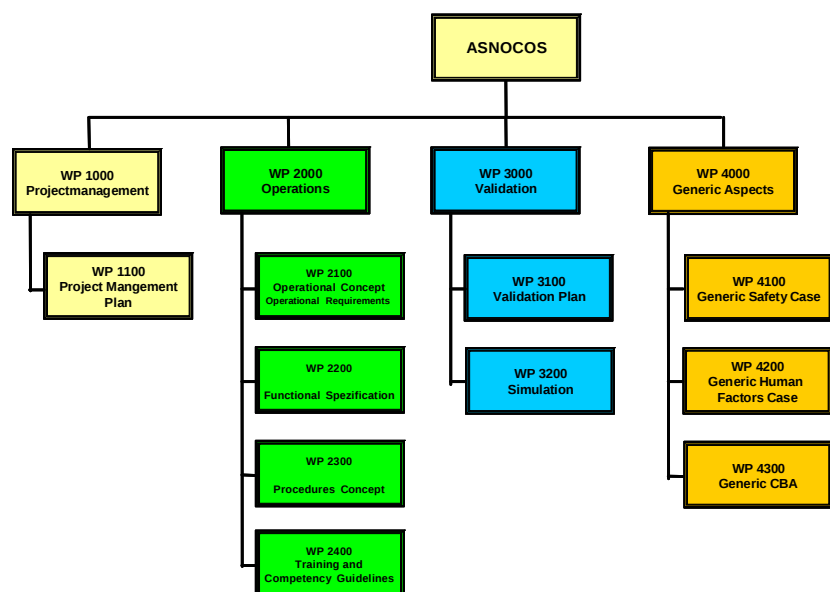


Abb. 1: Projektstrukturplan ASNOCOS

<sup>3</sup> zum Einsatz kam der sog. „TOSIM 3D-2“ mit 270°-Sicht auf TFT-Monitoren

tion der Echtzeitsimulation verantwortlich. Gemäß den Empfehlungen und Inhalten der „European Operational Concept Validation Methodology (E-OCVM)“ [1] wurden von TE die Dokumente Validierungsplan [2] und Validierungsreport [3] erstellt.

Unterauftragnehmer sind die DFS-Tochter The Tower Company (TTC), der Flughafenbetreiber Fraport, die Softwareentwicklungsfirma Advanced Traffic Solutions (ATRICS) und die Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften (FGAN).

### Operationelles Konzept

Die Referenz [4] enthält das von Seiten der DFS erstellte operationelle Konzept für die Verwendung von nicht-kooperativen Sensoren im Rahmen der Flugsicherung. Primäre Ziele sind die Erhöhung des Situationsbewusstseins und des Durchsatzes von Bodenbewegungen vor allem an Regionalflughäfen bei Schlechtwetterbedingungen („visibility condition 2“<sup>4</sup>) durch die realistische Abbildung der vorherrschenden Verkehrssituation auf einem separaten Anzeigesystem am Arbeitsplatz der Towerlotsen (FS-Arbeitsplatzbezeichnung Platzkontrolltse Luft, PL, und Boden, PB). Der Erfassungsbereich ist von den technischen Spezifikationen des jeweiligen Sensortyps abhängig. Ein weiterer Einsatzbereich ist die virtuelle Darstellung von nicht-einsehbaren Gebieten des Flugplatzgeländes aufgrund von topografischen Begebenheiten vor Ort wie zum Beispiel Senken oder ein nachträglich gebautes Gebäude. Dieser Aspekt war jedoch nicht der Fokus der vorliegenden Untersuchung. Es befinden sich derzeit in Deutschland verschiedene Konzepte im Einsatz bzw. in einer Evaluierungsphase. So wird beispielsweise am Flughafen Köln der Einsatz von Videokameras zur Unterstützung von Flugüberwachungsaufgaben untersucht [6], während am Flughafen Hahn im Rahmen einer Testphase Millimeterwellenradarantennen aufgestellt wurden [7]. Prinzipiell werden folgende Anforderungen an nicht-kooperative

Überwachungssensoren gestellt („non-cooperative sensor systems NCSS“) [4]:

- Unabhängig von bordeigenen (Avionik-) Systemen sollen die eingesetzten System je nach spezifischer Reichweite und Erfassungsart stehende und sich bewegende Objekte (v.a. Flugzeuge und Fahrzeuge) auf dem Vorfeld, den Taxiwegen und den Start- und Landebahnen erkennen.
- Die Arbeitsweise der Sensoren soll nicht durch besondere operationelle Bedingungen wie zum Beispiel Schlechtwettersituationen beeinträchtigt werden.
- Idealerweise werden auch Flugzeuge, die sich im letzten Segment des Endanfluges bzw. in der ersten Flugphase nach dem Start befinden, registriert. Der Schwerpunkt von NCSS liegt aber selbstverständlich weiterhin in der Erfassung von Bodenbewegungen auf dem Flughafengelände, gerade in für den Platzlotsen eventuell nicht einsehbaren, kritischen Bereichen („hot spots“) wie Kreuzungen von Rollwegen und Start-/Landebahnen. In Abhängigkeit der Spezifikationen der verwendeten Sensoren werden stehende und sich bewegende Objekte zur Unterstützung der Kontrollaufgabe der Towerlotsen auf einem separaten Display (HMI) inklusive dem Flughafenlayout (z.B. Start- und Landebahnen, Referenzpunkte) dargestellt.

Aufgrund von Projektvorgaben findet im Rahmen der beschriebenen Echtzeitsimulation weder eine Unterscheidung zwischen Flug- und Fahrzeug („classification“) noch eine Zuordnung des Objekts („identification“) statt. Weiterhin sollen in dieser Phase der Untersuchung keine A-SMGCS Funktionen wie automatische Routen- und Führungsvorgaben oder Warnhinweise übernommen werden.

Für eine detaillierte Beschreibung des zugrunde liegenden operationellen Konzeptes von nicht-

<sup>4</sup> Definiert als „Visibility sufficient for the pilot to taxi and to avoid collision with other traffic on taxiways and at intersections by visual reference, but insufficient for personnel of control units to exercise control over all traffic on the basis of visual surveillance.“ [5]

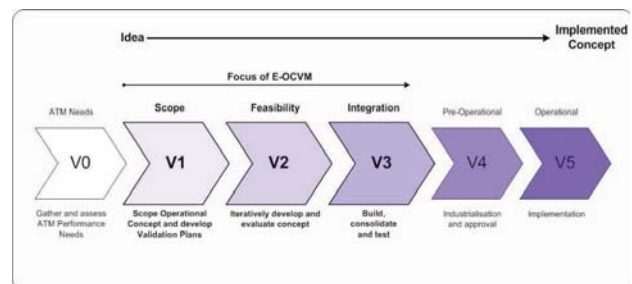


Abb. 2: E-OCVM-Phasen („concept lifecycle model“)

kooperativen Sensoren wird auf das Dokument [4] verwiesen.

### Validierungsstrategie und -hintergrund

Die im Rahmen des Projektes ASNOCOS verwendete Vorgehensweise zur Validierung richtete sich nach den Vorgaben der E-OCVM. Insbesondere die ersten beiden Aspekte des darin vorgeschlagenen Stufenplans wurden angesprochen [1]. Abb. 2 illustriert die sechs typischen Phasen, in die ein ATM-Forschungs- und Entwicklungsprojekt eingeordnet werden kann bzw. die es vor der operationellen Inbetriebnahme nacheinander durchlaufen sollte. Jeder Bereich hat seinen individuellen Validierungshorizont. Das Projekt kann im derzeitigen Stadium der Phase V1 zugewiesen werden<sup>5</sup>. Systembeteiligte („stakeholder“) sind Flugsicherungsfirmen, Flughafenbetreiber und Fluglinien an Regionalflughäfen und die folglich unmittelbar dazugehörigen Akteure Lotsen, Piloten und Fahrzeuglenker auf dem Flughafengelände.

### Validierungsziele und Hypothesen

Die Bewertung einer technischen und/oder operationellen Maßnahme im ATM-Bereich kann in einem breiten Spektrum von sehr unterschiedlichen Disziplinen erfolgen. In diesem Zusammenhang wurden im SESAR Dokument D2 insgesamt elf verschiedene Bewertungsaspekte definiert, die so genannten „Key Performance Areas (KPA)“. Der erwartete Mehrwert durch den Einsatz von nicht-kooperativen Sensorsystemen sollte sich in den folgenden oberbegrifflich definierten Gesichtspunkten manifestieren:

- Visuelle Überprüfung von Positionsberichten von Piloten und Fahrzeuglenkern auf dem Flughafengelände durch angebotene Zusatzinformationen auf einem separaten Display (vgl. Abb. 3). Bei Abweichungen kann sofort eingegriffen werden, bei Übereinstimmung eventuell

früher eine weitere Freigabe erteilt werden: „KPA: safety, capacity“

- Unterstützung der Flugverkehrskontrollarbeit der Towerlotsen in nicht-einsehbaren Bereichen des Flughafens, beispielsweise aufgrund von Schlechtwetterbedingungen. Dies ist besonders in sicherheitskritischen Bereichen („hot spots“) von besonderer Bedeutung: „KPA safety“

Der Fokus der Validierungstätigkeiten liegt somit auf dem Aspekt Sicherheit; zusätzlich werden marginale positive Effekte im Bereich Kapazität, besser Durchsatz, erwartet. Diese eher allgemein formulierten Validierungsziele führten in der Folge zur Ableitung der nachstehenden Hypothesen, unterteilt in die vorher erwähnten Gebiete auf deren Untersuchung im Rahmen der Echtzeitsimulation besonders Wert gelegt wurde:

- Sicherheit

*Hypothese 1: Erhöhung des individuellen Situationsbewusstseins durch den Einsatz von nicht-kooperativen Sensorsystemen für beide Lotsenpositionen (PL/PB) bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen im Vergleich zum Referenzszenario*

Die Hypothese wird beispielsweise anhand von subjektiven Einschätzungen hinsichtlich persönlichen Sicherheitsgefühls, Vertrauen in die eigene Arbeit, Erscheinen unerwarteter Ereignisse und neuer Bedrohungssituationen, und Risikos für Fehlinterpretation evaluiert. Es werden für die Analyse aber auch objektive Erhebungen wie die Reaktionszeiten der Lotsen auf bewusstes Fehlverhalten der Simulationspiloten aufgezeichnet.

- Kapazität

*Hypothese 2: Erhöhung des Durchsatzes an Flugbewegungen durch den Einsatz von nicht-kooperativen Sensorsystemen bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen im Vergleich zum Referenzszenario*

Die Hypothese wird anhand der Anzahl von durchgeführten Start- und Landevorgängen zu bestimmten Simulationszeitpunkten (z.B. nach 30 oder 45 Minuten) untersucht.

*Hypothese 3: Reduktion der Rollzeiten für Startvorgänge durch den Einsatz von nicht-kooperativen Sensorsystemen bei unterschied-*

<sup>5</sup> Definiert als „Scope-The phase where the concept should be described in sufficient detail to enable identification of the potential benefits mechanism (...).Some of the aspects of the concept will be unknown or unclear at this stage. They may exist as a number of options to be assessed during the further validation process.“ [1]

*lichen Verkehrsbelastungen im Vergleich zum Referenzszenario*

Die Hypothese wird anhand der Summe aller Rollzeiten für startende Flugzeuge analysiert. Ausschlaggebend ist die Zeitdifferenz zwischen der Vergabe der Roll- und Startfreigabe.

*Hypothese 4: Reduktion der Rollzeiten für Landevorgänge durch den Einsatz von nicht-kooperativen Sensorsystemen bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen im Vergleich zum Referenzszenario*

Die Hypothese wird anhand der Summe aller Rollzeiten für landende Flugzeuge analysiert. Ausschlaggebend ist die Zeitdifferenz zwischen der Rollfreigabe nach der Landung und der Ankunft am zugewiesenen Flugsteig.

- **Humanfaktoren**

*Hypothese 5: Verringerung der individuellen Arbeitsbeanspruchung durch den Einsatz von nicht-kooperativen Sensorsystemen für beide Lotsenpositionen (PL/PB) bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen im Vergleich zum Referenzszenario*

Die Hypothese wird beispielsweise anhand von subjektiven Einschätzungen der teilnehmenden Fluglotsen hinsichtlich mentaler und physischer Beanspruchung, Leistungsvermögen und Frustrationsgrad evaluiert.

*Hypothese 6: Die dargestellten Sensorinformationen sind für beide Lotsenpositionen (PL/PB)*

*bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen sinnvoll und nützlich*

Die Hypothese wird beispielsweise anhand von subjektiven Einschätzungen der teilnehmenden Fluglotsen hinsichtlich des Typs, der Anzahl und Positionierung der Sensoren sowie die Nutzung der angebotenen Informationen untersucht.

## Verwendete Validierungstechnik

Für die Evaluierung der im vorherigen Abschnitt dokumentierten Hypothesen schien ein „Human-in-the-loop“-Experiment am ehesten geeignet. Es wurde daher vom 09.03.09 bis 20.03.09 eine zweiwöchige Echtzeitsimulation in einem der Towersimulatoren der DFS unter Beteiligung von TTC Towerlotsen durchgeführt. Durch die Anordnung der TFT-Monitore konnte eine realistische 270°-Sicht auf das ausgewählte Flughafenmodell inklusive der genauen Bewegungsabläufe von Flug- und Fahrzeugen auf dem Flughafengelände dargestellt werden. Zusätzlich sind Arbeitsplätze für die Rollen Platzkontrolllotse Luftlage (PL) und Platzkontrolllotse Bodenlage (PB) eingerichtet worden. Die Luftlagedarstellung erfolgte mit dem System Trackview® (s. Abb. 3, rechter Bildschirm für den Lotsen auf der linken Seite), das Flughafenlayout inklusive der Anzeigen der verwendeten nicht-kooperativen Systeme wurde auf dem linken Bildschirm dargestellt. Die Programmierung der Emulation der untersuchten

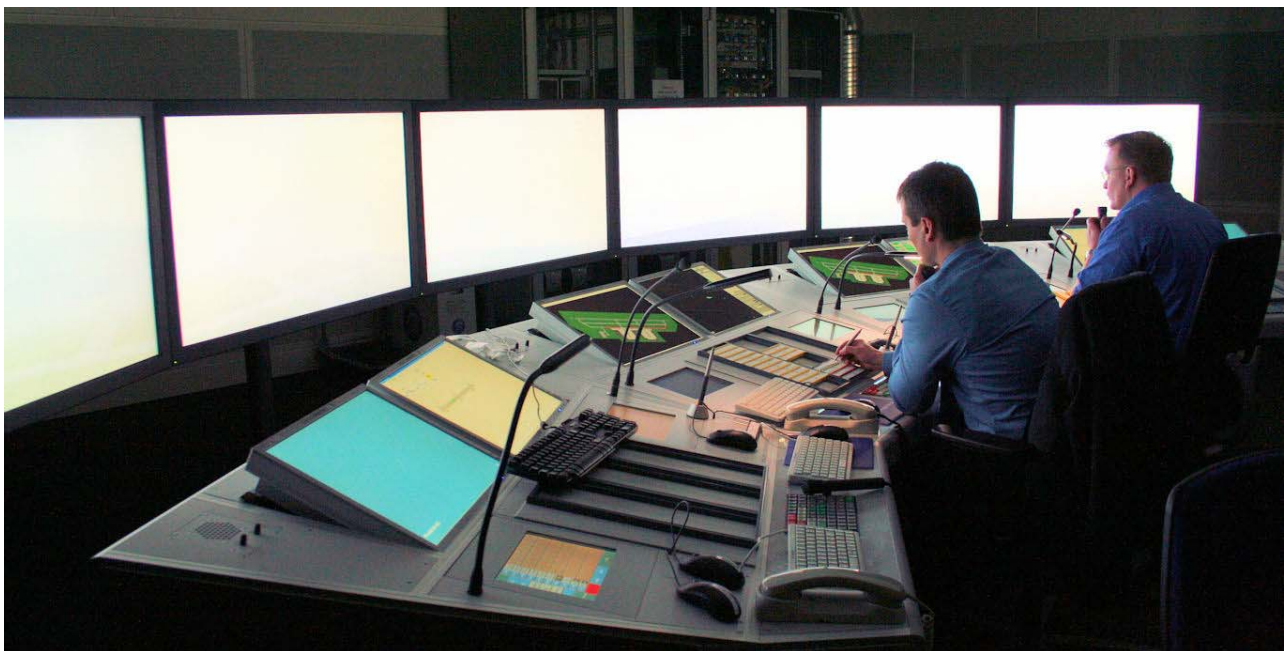


Abb. 3: ASNOCOS-Simulation am TOSIM bei Schlechtwetterbedingungen (Nebel, RVR=600m)

Sensoren übernahm im Unterauftrag die Firma ATRiCS auf Basis von ASTERIX CAT011-Positionsdaten der Flug- und Fahrzeuge. Zudem wurde während der gesamten Simulationszeit mit konventionellen Papierstreifen gearbeitet.

### Verwendete Indikatoren und Einheiten

Um fundierte Aussagen im Hinblick auf die zuvor aufgestellten Validierungsziele und Hypothesen treffen zu können, ging man im Rahmen der Echtzeitsimulation zwei verschiedene Wege. Es wurden für die anschließende Auswertung zum einen automatisch und manuell objektive Daten während der einzelnen Szenarien aufgezeichnet und gespeichert sowie zum anderen subjektive Einschätzungen nach jedem Experiment durch Befragung der beteiligten Towerlotsen erhoben. Im Einzelnen sind mit Hilfe von Eingaben der Simulationspiloten folgende Einflussgrößen protokolliert worden:

*a) Während des Laufs für jede Flugbewegung in Abhängigkeit der Betriebsphase Start/Landung (Einheit: relativer Zeitpunkt zum Beginn des Szenarios in Sekunden):*

- Zeitpunkt Verlassen des Flugsteigs („off-block time/push-back“) für Startvorgänge
- Zeitpunkt Beginn des Rollens („start taxiing time“) für Startvorgänge
- Zeitpunkt des Starts („time of take-off“) für Startvorgänge
- Zeitpunkt der Landung („time of touch-down“)
- Zeitpunkt der Ankunft am Flugsteig („on-block time“)

Zusätzlich wurden in der angesprochenen Protokolldatei auch Informationen über Rufzeichen der Flugbewegungen („Call-sign“), Wirbelschleppenklasse („wake turbulence classification, WTC“) und bei Startvorgängen auch die Abflugroute („standard instrumented departure, SID“) dokumentiert. Weiterhin wurden von den beteiligten Simulationsbeobachtern der Zeitpunkt der Initiierung einer Konfliktsituation durch den Simulationspiloten sowie der Moment der nachfolgenden Erkennung und Klärung der beteiligten Towerlotsen, getrennt nach Arbeitsposition PL und PB, notiert (s. auch Abschnitt „Experimentelles Design“).

*b) Nach jedem Lauf getrennt nach Arbeitsposition der Towerlotsen:*

- Fragebogen zur Erfassung der Arbeitsbelastung (auf Basis des NASA-TLX)
- Fragebogen zur Erfassung des Situationsbewusstseins (auf Basis des EUROCONTROL Situational Awareness for SHAPE Fragebogens)
- Fragebogen zur Erfassung der Verwendung und Akzeptanz der angebotenen Sensorinformationen (eigener DFS-Entwurf)

Bei jedem Teamwechsel der Lotsen wurde ein demographischer Fragebogen verteilt, in dem Informationen über Alter, Geschlecht, berufliche Erfahrung und Einsatzort zusammengefasst wurden. Der genaue Wortlaut der Fragebögen kann dem separat verfassten Validierungsbericht entnommen werden [3]. Zusätzlich zu den vorher erwähnten Fragebögen wurden mit allen Teilnehmern der Echtzeitsimulation nach jedem Szenario ein strukturiertes Interview durchgeführt, um Eindrücke über Realitätsnähe des Experiments, Arbeitsweise, Besonderheiten während des Laufs und Verbesserungsvorschläge der Beteiligten zu gewinnen und zu dokumentieren.

### Experimentelles Design

Es musste nun ein Versuchskonzept für die Evaluierung der zuvor aufgestellten Hypothesen definiert werden. Aufgrund der langjährigen guten Erfahrung und der Verfügbarkeit von Daten in der DFS Akademie wurde als regionaler Beispiel-flughafen im Rahmen der Echtzeitsimulation das Flughafenmodell NEWPORT gewählt (s. Abb. 4). Es bestand weiterhin keine Notwendigkeit, die umgebenden Lufträume um den Flughafen zu modellieren; anfliegende Flugzeuge tauchten ca. fünf Flugminuten (10 NM) vor der Landung auf dem ILS-Gleitpfad im Simulationslayout auf und der zuständige Simulationspilot meldet sich anschließend auf der Frequenz des PL mit der Bitte um Landeerlaubnis. Der Flughafen NEWPORT setzt sich aus einer 2100m langen Start- und Landebahn mit vier Zu- bzw. Abgängen, zwei dazu parallelen Rollwegen (TWY E,F) und zwei Hauptabstellflächen für Flugzeuge (Parkpositionen B1-B6 und C1-C6) zusammen.

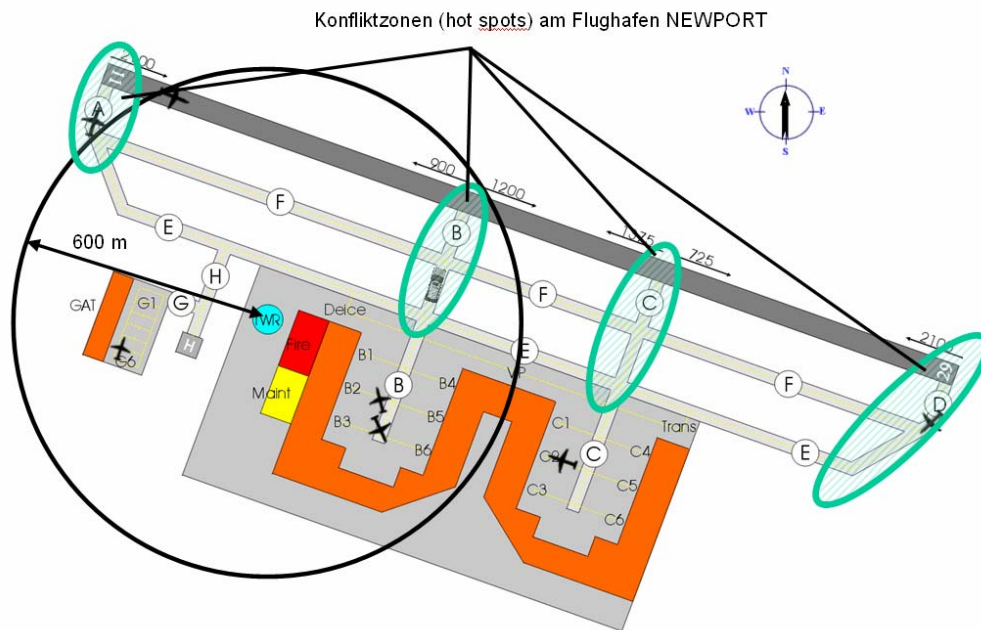


Abb. 4: DFS Flughafen NEWPORT mit markierten Konfliktbereichen

Insgesamt nahmen an der zehntägigen Echtzeitsimulation vier verschiedene Towerlotsenteams teil d.h. nach 2,5 Tagen wurden die Zweierteams (PL, PB), die allesamt von TTC gestellt wurden, komplett ausgetauscht. Auf diese Weise konnte zwar aufgrund der Kürze des Simulationszeitraums im statistischen Sinne keine umfassende Erhebung stattfinden, dennoch war es möglich, bewertbare Trends aufzuzeigen.

Es konnten inklusive Training 34 Simulationsläufe durchgeführt werden, die eine Dauer von jeweils 40-55 Minuten aufwiesen. Folgende Simulationseinstellungen wurden in allen Experimenten unverändert gelassen (experimentelle Konstanten):

- Standardatmosphäre ohne Wind
- Betriebsrichtung RWY 11
- Betriebliches Konzept nach [4]
- Flughafenlayout wie in Abb. 4 dargestellt; TWY E war für alle Flugzeugtypen bis zur Kreuzung TWY E/H aufgrund von Bauarbeiten gesperrt
- Lotsenarbeitsplatz (s. Abb. 3) und dazugehörige Rollenverteilung PB/PL
- Schlechtwetterbedingungen aufgrund von Nebel (RVR=600m, vgl. auch den eingezeichneten Sichtkreis in Abb. 4 um den Tower)

- Simulatorzeit: 7:30 Uhr am 24.02.09 (Dämmerung)
- Erzeugung von Konfliktsituationen<sup>6</sup> für die Position PB und/oder PL, aus Vergleichbarkeitsgründen zum gleichen Zeitpunkt für die unterschiedlichen Lotsenteams

Verändert wurden im Wesentlichen zwei Parameter während der verschiedenen Simulationen (experimentelle Variablen):

- Zwei verschiedene Verkehrslasten: 18 Flugbewegungen pro Lauf, davon acht Landungen (Szenariotyp A) und 31 Flugbewegungen pro Lauf, davon 15 Landungen (Szenariotyp B)
- Ausstattung mit nicht-kooperativen Sensoren (Technologieausrüstungsstufen T1, T2<sup>7</sup>; Erläuterung erfolgt im Text)

Da wie zu Beginn erwähnt keine Klassifizierung und Identifizierung von Flug- und Fahrzeugen auf dem Flughafengelände stattfinden sollen, werden alle Objekte im Rahmen des Projekts ASNOCOS

<sup>6</sup> Diese bestanden aus: Abrollen von der falschen Landebahnposition (TWY C statt TWY D), Befahren des gesperrten Rollwegs E, Befahren der Startbahn ohne Freigabe über TWY A und verzögertem Starten

<sup>7</sup> Es wurde aus Vergleichsgründen für beide Verkehrslasten ein Referenzszenario ohne den Einsatz von NCSS entwickelt, Index T0

in der gleichen Weise auf einem separaten Bildschirm dargestellt (s. Abb. 8, Anzeige Flugzeug und Auto an der Kreuzung TWY F/B).

Im Vorfeld der Echtzeitsimulation wurde unter Beteiligung von Fluglotsen ein Workshop durchgeführt, in dem die Gefahrenpunkte auf dem Flughafen lokalisiert wurden (s. Abb. 4), an denen dann im weiteren Verlauf auch nicht-kooperative Sensoren zur Unterstützung von Flugverkehrskontrollaufgaben positioniert werden sollten. Auf Basis dieser Entscheidungen wurde wie in Abb. 6 verdeutlicht in einer ersten Technologiestufe (T1) eine Kombination aus Sensoren mit der Möglichkeit einer kontinuierlichen und einer diskreten Positionsanzeige von Objekten im Erfassungsbereich der Sensoren entwickelt.

Für die Beobachtung des Startbahnzugangs RWY 11 und des Schnittpunktes TWY F/A wurde beispielsweise ein Millimeterwellenradar emuliert, während an den übrigen Kreuzungen der Rollwege, bis auf TWY B, der aufgrund der gewählten Sichtweite für die Lotsen visuell ausreichend erkennbar war, Induktionsschleifen simuliert wurden. Sobald diese überfahren wurden, leuchtete für eine Zeitspanne von 30s ein gelber Balken auf (s. Abb. 5, TWY F/D); eine Erkennung der Bewegungsrichtung war mit dieser Einfachanordnung gemäß dem operationellen Konzept nicht möglich<sup>8</sup>.

Mittels Spiegelung der Sensoren entstand wie in Abb. 6 abgebildet ein im Sinne der Aufgabenun-

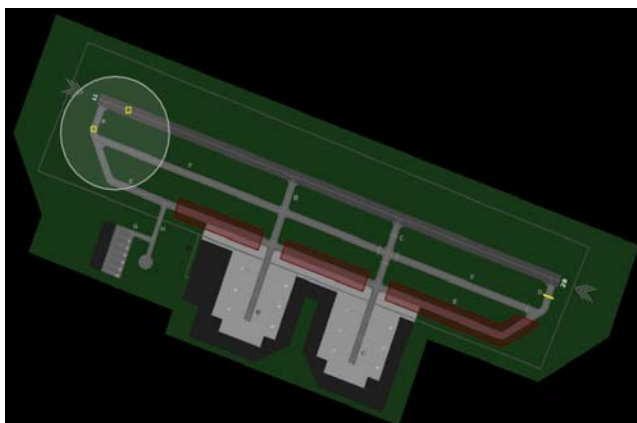


Abb. 5: Towerlotsen-HMI mit Flug- und Fahrzeugen für das technische Szenario T1 (Quelle: ATRiCS)

<sup>8</sup> Für die Darstellung in Abb. 5-7 wurde immer vom gleichen Verkehrsbild ausgegangen, das HMI war aber je nach untersuchter Sensorstufe unterschiedlich.

terstützung der Towerlotsen (PB/PL) neues Szenario (T1NC). Diese drei Läufe konnten aufgrund der hohen technischen Systemstabilität im Vergleich zur Ursprungsplanung zusätzlich durchgeführt werden (für das erste Lotsenteam konnte diese Konfiguration noch nicht eingesetzt werden).

Abb. 7 illustriert den zweiten technischen Ausrüstungsgrad (T2), welcher im Rahmen der Echtzeitsimulation untersucht wurde. Es wurde in dieser Entwicklungsstufe ein Rollfeldradar für die Überwachung des kompletten Verkehrs auf dem Vorfeld<sup>9</sup> emuliert. Wie erwähnt wurde in der Darstellungsart weder zwischen der Art des Objektes unterschieden noch ein Identitätsmerkmal z.B. Label zugeordnet.

Insgesamt ergaben sich durch dieses experimentelle Design inklusive der beiden Referenzszenarien für die zwei Verkehrslasten acht verschiedene Ausprägungen wie in Tab. 1 zusammengefasst. Jedes der vier eingesetzten Lotsenteams hatte vor den eigentlichen Experimenten eine Trainingssimulation zu absolvieren, um sich an das Flughafenlayout (Bezeichnungen RWY, TWY), Flugrouten und den Flugverkehr zu gewöhnen; dieser wurde ohne Sensorkonfiguration

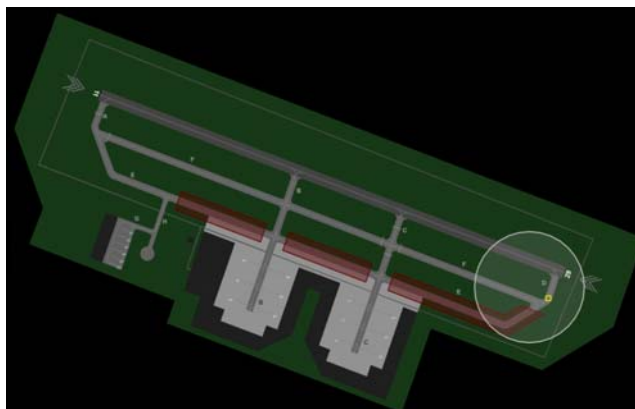


Abb. 6: Towerlotsen-HMI mit Flug- und Fahrzeugen für das technische Szenario T1NC (Quelle: ATRiCS)

bei guter Sichtweite durchgeführt.

<sup>9</sup> Aufgrund von Abschattungen und Reflektionen wurde der Bereich direkt zwischen den Terminalgebäuden sensortechnisch nicht erfasst und die darin enthaltenen Objekte für den Lotsen folglich nicht explizit angezeigt.

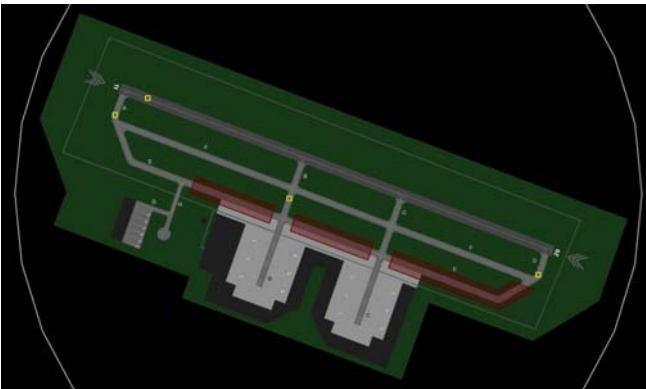


Abb. 7: Towerlotsen-HMI mit Flug- und Fahrzeugen für das technische Szenario T2 (Quelle: ATRICS)

| Szenariokombinationen                                                                 | Szenario Typ A<br>(18 Flugbewegungen) | Szenario Typ B<br>(31 Flugbewegungen) |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Referenzszenario (Lotsenarbeit ausschließlich basierend auf Außensicht)               | 4xAT0                                 | 4xBT0                                 |
| Technologieszenario T1 (Unterstützung Lotsenarbeit mit nicht-kooperativen Sensoren)   | 4xAT1                                 | 4xBT1                                 |
| Technologieszenario T1NC (Unterstützung Lotsenarbeit mit nicht-kooperativen Sensoren) | 3xAT1NC                               | 3xBT1NC                               |
| Technologieszenario T2 (Unterstützung Lotsenarbeit mit nicht-kooperativen Sensoren)   | 4xAT2                                 | 4xBT2                                 |

Tab.1: Übersicht über die durchgeführten Szenarien

### Ergebnisse der Untersuchung

In diesem Abschnitt werden repräsentative Ergebnisse der Echtzeitsimulation dargestellt und erläutert. Diese können sich sowohl aus der Zusammenfassung der Antworten in den jeweiligen Fragebögen ergeben und damit subjektiver Art sein oder aus den Protokolldateien stammen, die während der Simulationen für jeden Lauf individuell aufgezeichnet worden sind (vgl. auch Abschnitt „Verwendete Indikatoren und Einheiten“). Die Resultate wurden getrennt nach Arbeitsposition der Towerlotsen (PB, PL) und Anzahl der Verkehrsbewegungen (Szenariotyp A, B) ausge-

wertet und aufbereitet. Es kann im Rahmen der vorliegenden Dokumentation aus Platzgründen nicht auf alle der zuvor formulierten Hypothesen im Detail eingegangen werden, – an dieser Stelle wird auf den separaten Validierungsbericht [3] verwiesen – sondern es werden vielmehr als Auszug daraus einzelne charakteristische Aspekte der Validierung erwähnt, die dann auch ggf. auf andere Situationen, z.B. Verkehrsbewegungen oder Funktion der Towerlotsen übertragen werden können.

Als Beispiel für die über alle Antworten aufsummierte Bewertungszahl [8] für die Einschätzung des subjektiven Situationsbewusstseins aus den SHAPE-Fragebögen zeigt Abb. 8 die Einschätzung der einzelnen Towerlotsen (PB) für beide Verkehrsbelastungen (A;B) über alle Technologie-Ausrüstungsstufen. Ein einheitliches Bild ist im Vergleich zum jeweiligen Referenzszenario nicht erkennbar; während manche Lotsen (Szenario B, PB3; Szenario A PB4) die Verfügbarkeit von nicht-kooperativen Sensoren durchweg positiv im Sinne einer gefühlten Erhöhung des Situationsbewusstseins bewerten, sehen andere kaum eine Veränderung (z.B: Szenario A, PB1) bzw. sogar eine Verschlechterung (Szenario B, PB2).

Als objektive Simulationsdaten wurde die Reaktionszeit der Towerlotsen auf eingestreute Stör- und Konfliktsituationen gemessen. Abb. 9 zeigt als Beispiel das gemittelte Ergebnis auf das falsche Abrollen auf den gesperrten TWY E).

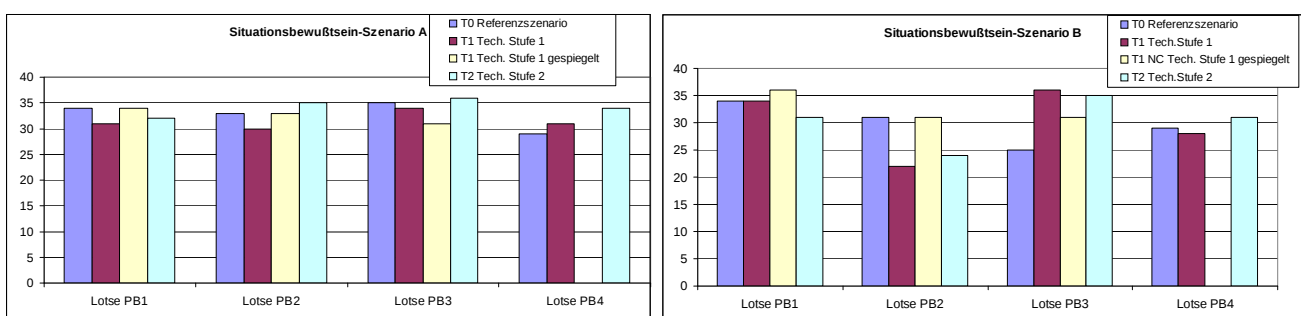


Abb. 8: Einschätzung des Situationsbewusstseins der Platzlotsen-Bodenlage für Szenariotyp A (links) und B (rechts)

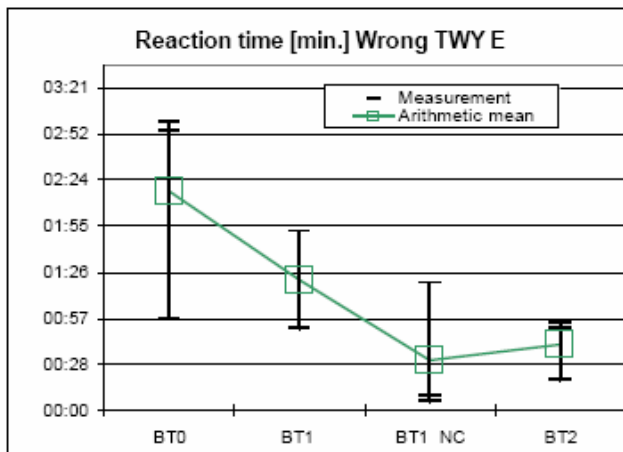


Abb. 9: Gemittelte Reaktionszeit der Towerlotsen (PB) auf den Störfall „Falscher Rollweg E“

Ein letztes Beispiel für den Bereich Kapazität sind die ermittelten Rollzeiten. Bei beiden untersuchten Verkehrslasten wurde durch den Einsatz von nicht-kooperativen Sensoren die gemittelte Rollzeit von insgesamt 9 Startvorgängen um bis zu 15% reduziert (s. Tab. 2).

| Sensorkonfiguration               | Szenario Typ A<br>(18 Flugbewegungen) | Szenario Typ B<br>(31 Flugbewegungen) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| T0: Referenzszenario              | 411 s                                 | 502 s                                 |
| T1: Tech. Stufe 1                 | 398 s                                 | 424 s                                 |
| T1NC: Tech. Stufe 1<br>gespiegelt | 380 s                                 | 481 s                                 |
| T2: Tech. Stufe 2                 | 389 s                                 | 491 s                                 |

Tab.2: Gemittelte Rollzeiten für Startvorgänge (9 Starts wurden betrachtet)

## Zusammenfassung

Aufbauend auf den zuvor erstellten operationellen Konzept [4] und Simulationsplan [2], der nach den Vorgaben der E-OCVM erstellt wurde, wurde im DFS TOSIM eine zweiwöchige Echtzeitsimulation (März 2009) unter Beteiligung von vier verschiedenen Towerlotsenteams der TTC möglichst realitätsnah durchgeführt. Die analysierten Szenarien bildeten einen wesentlichen Teil der Evaluierung von unterschiedlichen nicht-kooperativen Sensorkonzepten (z.B. kontinuierliche und diskrete Positionsanzeige von Objekten) bei Schlechtwetterbedingungen an einem Regionalflughafen mit einer Start- und Landebahn. Es wurden auf Basis des Flughafenmodells NEWPORT drei verschiedene Sensorkonfigurationen

zur Abdeckung von besonderen Knotenpunkten bei zwei Verkehrslasten – 18 bzw. 31 Flugzeugbewegungen im Mischbetrieb – in insgesamt 34 Simulationsläufen untersucht. In den jeweils 40-55-minütigen Läufen wurden zudem repräsentative Störfälle zur Unterstützung der Bewertung der verschiedenen Systeme eingestreut. Während der Experimente erfolgte die Aufzeichnung von objektiven Daten wie beispielsweise der Zeitpunkt der Start- und Rollfreigaben. Zusätzlich wurden nach jedem Szenario mittels Fragebögen subjektive Einschätzungen über Arbeitsbelastung, Situationsbewusstsein und Akzeptanz der Sensorinformationen durch die beteiligten Towerlotsen, wenn möglich getrennt nach Arbeitsposition, dokumentiert und mittels statistischen Größen wie der arithmetische Mittelwert und Medianwert ausgewertet.

Für manchen Platzlotsen-Bodenlage (PB) verbesserte sich bei vergleichbarer Arbeitsbelastung das subjektive Situationsbewusstsein erkennbar, während andere die Unterstützung durch nicht-kooperative Sensoren weniger positiv bewerten. Ähnliche Aussagen, die aus der Auswertung des entsprechenden Fragebogens resultieren, können auch für den Platzlotsen-Luftlage (PL) formuliert werden und wurden in den anschließenden Interviews nach den Simulationsläufen bestätigt. Objektiv begleitet wurden diese Erkenntnisse durch eine nachweisbare Reduktion der gemittelten Reaktionszeiten der Towerlotsen auf eingebaute Störfälle im Vergleich zu den Referenzszenarien, vor allem bei Vorkommnissen, welche einen von der Freigabe abweichenden Rollweg betreffen (eher Aufgabe PB) und durch eine kontinuierliche Positionsanzeige schnell entdeckt werden können (Szenarien AT1NC, AT2, BT1NC, BT2). Auch im Hinblick auf den Durchsatz konnten positive Effekte erzielt werden. So konnte in beiden Verkehrslasten die durchschnittliche Anzahl der kontrollierten Anflüge und Landungen zu einem bestimmten Simulationszeitpunkt, je nach Sensorkonfiguration, um 5-15% erhöht werden. In ähnlicher Größenordnung konnte bei beiden Verkehrslasten durch den Einsatz von nicht-kooperativen Sensoren auch die Rollzeit für die betrachteten Abflüge verringert werden.

Es bleibt abschließend aber zu erwähnen, dass die dargestellten Ergebnisse aufgrund der begrenzten Anzahl der Lotsenteams nur erste Trends aufzeigen können, wenn auch positive in

den meisten Kriterien. Der Umfang des Nutzens von nicht-kooperativen Sensoren hängt dabei stark vom zu bewertenden Flughafen (z.B. Layout) und von der Art und Weise der eingesetzten Sensoren (Typ, Position und Anzahl) sowie dem zugrunde liegenden operationellen Konzept ab. Die beschriebenen positiven Effekte sind somit nicht ohne weiteres auf andere Bedingungen übertragbar.

## Referenzen

|     |                                                                                                                                                                                 |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1] | EUROCONTROL: European Operational Concept Validation Methodology (E-OCVM), 17.03.07, Brüssel, 07/02/28-08                                                                       |
| [2] | Schwanke, S., Gundermann, J.: Assessment of Non-Cooperative Sensors (ASNOCOS) – Simulation and Validation Plan, Version 1.1, 18.12.08, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen  |
| [3] | Schwanke, S., Gundermann, J.: Assessment of Non-Cooperative Sensors (ASNOCOS) – Validation Report, Version 0.9, 29.06.09, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen               |
| [4] | Lau et al.: Assessment of Non-Cooperative Sensors (ASNOCOS) – Operational Concept and Operational Requirements, Version 0.98, 17.08.09, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Langen |
| [5] | ICAO: Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual, First Edition 2004, ICAO DOC. 9830                                                               |
| [6] | Searidge Technologies: DFS Deutsche Flugsicherung and Cologne Bonn Airport select Searidge Technologies for Surface Surveillance, Newsletter 25.11.2008                         |
| [7] | Airport Business: Transtech Awarded German Type Approval for CAMS (Ground Surveillance and Display System), 08.07.2008                                                          |
| [8] | EUROCONTROL: "Scoring Key for Situation Awareness for SHAPE (SASHA)"                                                                                                            |

## Abkürzungen

|         |                                                             |
|---------|-------------------------------------------------------------|
| AFS     | Advanced Function Simulator                                 |
| A-SMGCS | Advanced Surface Movement Guidance and Control System       |
| ASNOCOS | Assessment of Non-cooperative Sensors                       |
| CBA     | Cost Benefit Analysis                                       |
| E-OCVM  | European Operational Concept Validation Methodology         |
| HMI     | Human Machine Interface                                     |
| ICAO    | International Civil Aviation Organization                   |
| NCSS    | Non-cooperative Sensor Systems                              |
| SASHA   | Situational Awareness for SHAPE                             |
| SHAPE   | Solutions for Human Automation Partnerships in European ATM |
| SMGCS   | Surface Movement Guidance and Control System                |
| TOSIM   | Tower Simulator der DFS                                     |

**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 im Internet ([www.dfs.de](http://www.dfs.de), Bereich Forschung & Entwicklung → Forschungszeitschrift) 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](mailto:andreas.herber@dfs.de)),  
Oliver Haßa ([oliver.hassa@dfs.de](mailto:oliver.hassa@dfs.de)),  
Stefan Tenoort ([stefan.tenoort@dfs.de](mailto:stefan.tenoort@dfs.de))

**Sekretariat:** Petra Schuster ([petra.schuster@dfs.de](mailto: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. Diese 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 © 2009 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.