



1/09

20.05.2009

ISSN 1861-6364
(Printversion)

ISSN 1861-6372
(Internet-Version)

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

In dieser Ausgabe:

- TIS-B Implementierung am Flughafen Prag
- Arbeiten des Bereichs F&E im Projekt „Data Link Center“
- Überprüfung einer Trennflächenanhebung im Bereich Rhein UAC, München ACC/UAC und Bremen ACC
- Planungsanzeige für den Tower-Controller
- Der EUROCONTROL Human Factors Case - Pilotanwendung im Projekt Wettbewerbsfähiger Flughafen (WFF)
- INnovative Operational UAS Integration



DFS Deutsche Flugsicherung

Inhalt

Stefan Stanzel, Steffen Marquard, Klaus-Rüdiger Täglich Projekt EMMA2: TIS-B Implementierung am Flughafen Prag	2
Dr. Andreas Herber, Stefan Stanzel, Dr. Manfred Korn Arbeiten des Bereichs F&E im Projekt „Data Link Center“	13
Jascha Runow Schnellzeitsimulation zur Überprüfung einer Trennflächenanhebung im Bereich Rhein UAC, München ACC/UAC und Bremen ACC	23
Dr. Jörg Bergner Entwurf einer integrierten Planungsanzeige für den Tower-Controller	29
Eliana Haugg, Stefan Tenoort, Alexander Heintz Der EUROCONTROL Human Factors Case - Pilotanwendung im Projekt Wettbewerbsfähiger Flughafen (WFF)	39
Stefan Tenoort, Marita Lintener Forschungsprojekt INOUI (INnovative Operational UAS Integration)	46
Impressum	50



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

Projekt EMMA2: TIS-B Implementierung am Flughafen Prag

Stefan Stanzel, Steffen Marquard, Klaus-Rüdiger Täglic, TEA

Hintergrund

Ziel des Rollverkehrsmanagementprojekts EMMA2 (European Airport Movement Management by A-SMGCS) war die Konsolidierung höherer A-SMGCS Funktionen in realen Verkehrsabläufen, insbesondere:

- Erarbeitung eines innovativen operationellen Betriebskonzeptes für die Nutzung von A-SMGCS HL (Higher Level);
- Hochrüstung der innerhalb EMMA Part 1 mit A-SMGCS Level 1+2 ausgerüsteten Flughäfen Prag, Toulouse und Mailand auf A-SMGCS HL;
- erste Bewertung des erzielten Nutzens von A-SMGCS HL Prototypen in realen Verkehrsabläufen auf o. a. Flughäfen;
- Empfehlung zur frühzeitigen Einführung und Nutzung von A-SMGCS HL.

Damit lieferte das Projekt im Zeitraum 2004 bis 2008 einen wichtigen Forschungs- und Erprobungsbeitrag durch Validierung des A-SMGCS-Konzepts als integralen Bestandteils eines Bord-Boden-Systems, welches sich nahtlos in die bestehende Flugsicherungsumgebung einfügt. In einen zweistufigen Ansatz wurden im Projekt zunächst die primären Überwachungs- und Konfliktwarnungsfunktionen untersucht und anschließend die erweiterten Funktionen für die Rollführungsunterstützung für Piloten und die Planungshilfe für Fluglotsen in Simulationen und Feldversuchen bewertet.

EMMA hat somit einen "de facto" Standard für A-SMGCS Systeme und deren betriebliche Anwendungen geschaffen, in dessen Rahmen die technischen Lösungen, die Verfahren, Fragen der Sicherheit und Interoperabilität gemeinsam von Anwendern, Industrie und Forschungseinrichtungen untersucht werden konnten.

Auftrag TIS-B Implementierung

Im September 2007 hat die Europäische Kommission (EC) eine Ergänzung zum Rollverkehrs-

managementprojekt EMMA2 unterzeichnet. Neben weiteren Vereinbarungen ist hierin die Übernahme von zusätzlichen F&E-Arbeiten durch die DFS formal bestätigt worden, nämlich die Bereitstellung eines TIS-B Systems und dessen Integration in die Flughafenumgebung in Prag sowie Beteiligung an den Validierungsarbeiten [7].

Erzeugung einer TIS-B Verkehrslagedarstellung

Durch ein „Traffic Information Service Broadcast (TIS-B)“-System ist die Übertragung der am Boden bekannten Verkehrslage an entsprechend ausgerüstete Flugzeuge möglich. Abb. 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines TIS-B-Systems. Die Positionen der im Luftraum befindlichen Flugzeuge werden in der Regel mittels Radar ermittelt und einem Surveillance-Datenverarbeitungssystem (Surveillance Processing) zur Verfügung gestellt. Alternativ können auch „Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)“-Positionsmeldungen verarbeitet werden. Beim zukünftigen ADS-B-Verfahren wird die Flugzeugposition zusammen mit weiteren Daten autonom im Flugzeug ermittelt und über digitalen Datenlink abgestrahlt. Bodenstationen empfangen die ADS-B-Meldungen und leiten diese Information zur Verarbeitung an das Surveillance-Datenverarbeitungssystem weiter.

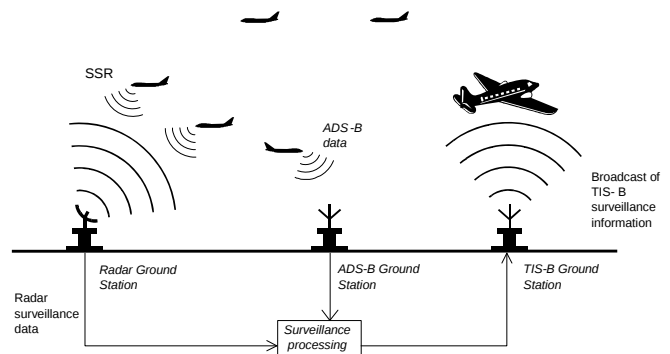


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau eines Traffic Information Service - Broadcast (TIS-B)

Aus dem gesamten Verkehrsbild werden kleinere Bereiche zur Übertragung an Luftfahrzeuge selektiert. Die Selektion der Bereiche geschieht durch Definition von TIS-B-Informationsbereichen (Traffic Information Volumes, s. Abb. 2). Die Positionen der Ziele, die sich innerhalb des definierten Informationsbereichs befinden, werden als Zielmeldungen in regelmäßigen Zeitabständen zur Übertragung an die TIS-B-Bodenstation weitergeleitet.

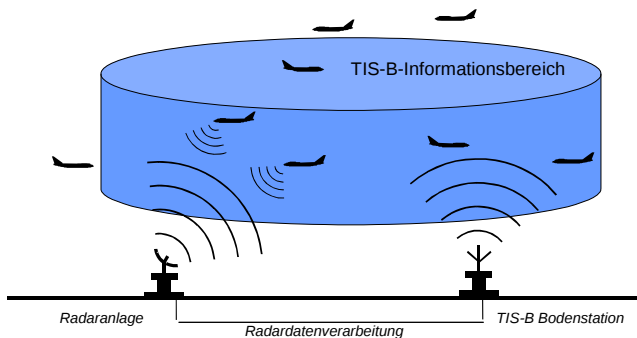


Abb. 2: Aufbau eines TIS-B-Informationsbereichs

An Bord der Flugzeuge wird die Verkehrsinformation von einem kombinierten ADS-B/TIS-B-Empfänger empfangen und an die Cockpit-Displaysysteme zur Verarbeitung und Darstellung weitergeleitet.

TIS-B Informationsbereiche

In Abb. 3 wird die Abhängigkeit des Service Volume (SV) vom Traffic Information Volume (TIV) dargestellt. Das SV beschreibt einen Luftraum, in welchen die Verkehrsinformationen abgestrahlt werden, wobei dieser Luftraum sich innerhalb der Überdeckung der Bodenstationen (GS) befindet. Flugzeuge innerhalb des SV empfangen somit die Verkehrsdaten von einer oder mehreren Bodenstationen. Das TIV kennzeichnet den Luftraum, aus dem die Verkehrsinformationen zur Verfügung gestellt werden. Der Luftraum muss sich innerhalb des Überdeckungsbereiches der Surveillance-Systeme (Surveillance Coverage Volume (SCV)) befinden. TIS-B-Informationen werden also nur dort angeboten (SV), wo auch die Luftlage bekannt ist (TIV).

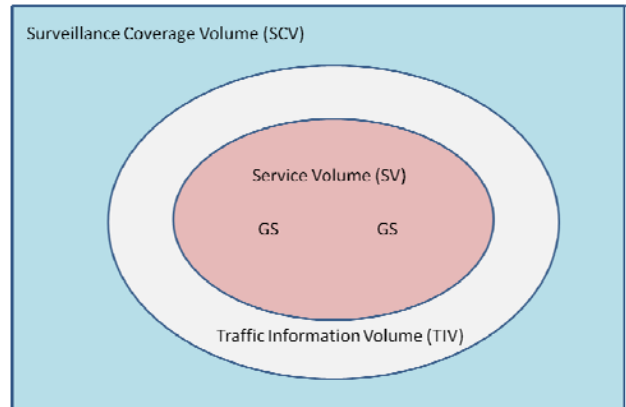


Abb. 3: TIS-B Service Volume and Traffic Information Volume

Eine „Airborne Separation and Assistance (ASAS)“-Anwendung kann in einem Luftraum (oder auf der Flughafenoberfläche) gebraucht werden, wenn das TIS-B-System die Mindestanforderungen der betreffenden Anwendung erfüllt. Innerhalb eines Surveillance Coverage Volumes (SCV) können eine Reihe von Anwendungen definiert werden, die über unterschiedliche Mindestanforderungen verfügen können und sich verschiedener TIV bedienen. Deshalb müssen für die Realisierung dieser Anwendungen TIS-B-Systeme und Bodenstationen in ausreichenden Umfang zur Verfügung gestellt werden.

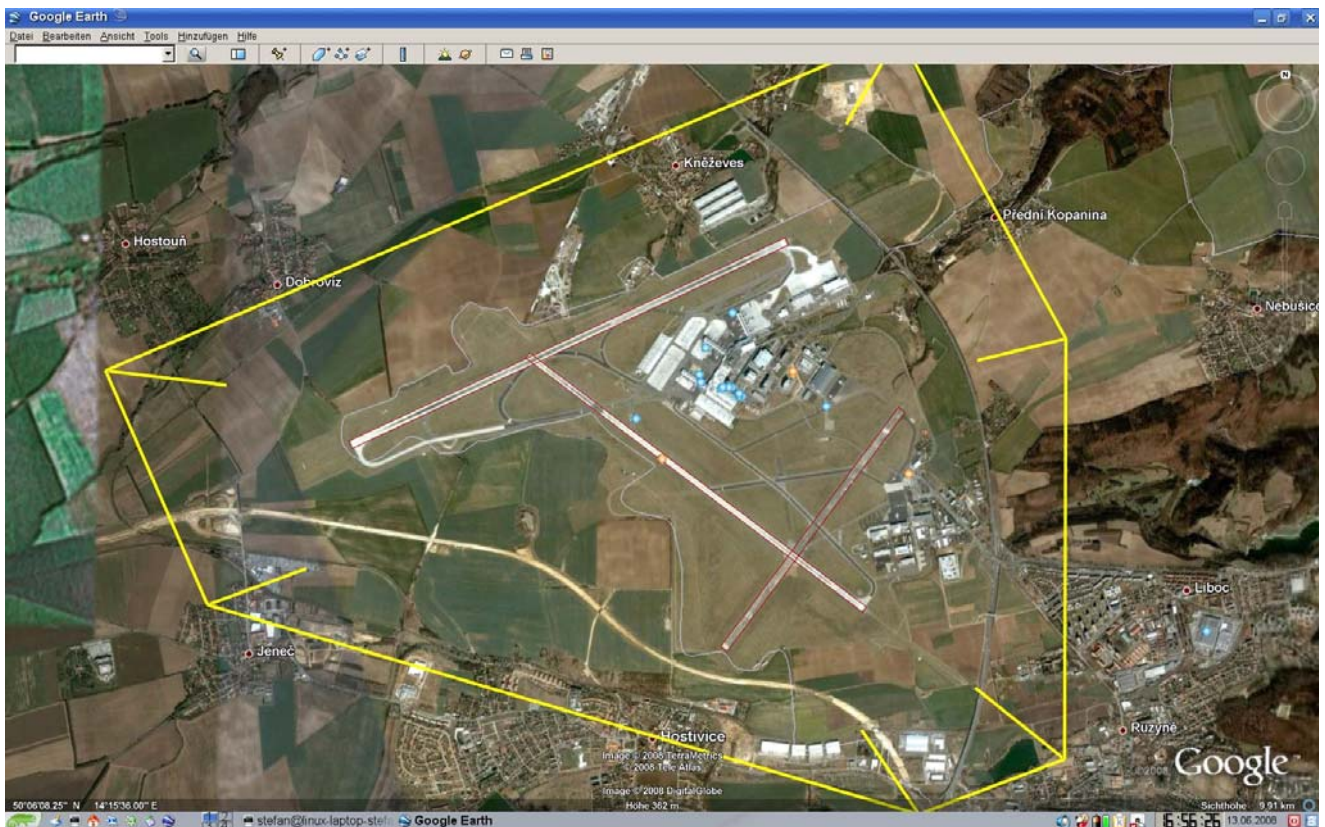
Für die TIS-B - Anwendung im Rahmen des EMMA2-Projekts in Prag sind drei TIV definiert worden. Wenngleich lediglich das TIV1 „Flughafen Prag“ (siehe Abb. 4) für die Feldversuche angewendet wurde, sind zusätzlich die größeren TIV2 „TMA Prag“ und TIV3 „Tschechische Republik“ definiert und für die technischen Vortests benutzt worden.

TIS-B Datenquelle

TIS-B-Meldungen können Daten über Flugzeuge, Bodenfahrzeuge und feste Hindernisse enthalten¹. Die wesentlichen Datenquellen sind neben den Primär- und Sekundarradarsystemen auch Multilaterations- und ADS-B - Systeme.

Multilateration basiert u.a. auf SSR-Transponder-Antwortmeldungen auf der Frequenz 1090 MHz, ACAS Meldungen und ADS-B (Mode S Extended Squitter) Meldungen, um die Position und die

¹ Im folgenden werden in der Regel nur „Flugzeuge“ erwähnt



altitude band: TIV1: 0 – 3000 ft

Abb. 4: Traffic Information Volume (TIV1)

Kennung eines Flugzeugs zu ermitteln. Dazu werden die Signallaufzeiten dieser Meldungen an mehreren Bodenstationen ermittelt und mittels Laufzeitdifferenz-Messung die betreffende Position errechnet.

ADS-B - Daten werden von Flugzeugen ausgesendet, die i.d.R. mit einem GPS-Empfänger und einem Mode S „Extended Squitter“-fähigem Transponder ausgerüstet sind. Dabei bestimmt das Flugzeug z.B. mittels GPS seine Position (Selbstortung) und sendet diese Information in regelmäßigen Zeitabständen im Broadcast-Verfahren aus. Diese ADS-B - Meldungen können von Bodenstationen und insbesondere auch von anderen Flugzeugen empfangen werden. Somit bieten ADS-B und TIS-B einen komplementären Dienst zur Bereitstellung von Verkehrslagedaten.

TIS-B kann in zwei grundsätzlichen Modi betrieben werden, deren Verwendung von der jeweiligen Anwendung abhängig ist:

- **GAP Filler Modus:** es werden nur die Verkehrslagedaten übertragen für die keine entsprechenden ADS-B Informationen vorliegen.

- **Full Surveillance Modus:** es werden alle Verkehrslagedaten übertragen unabhängig davon, ob für einzelne Ziele auch ADS-B Daten vorliegen

Das TIS-B-System des EMMA2 - Projekts in Prag arbeitete im „Full Surveillance Modus“, um sicherzustellen, dass während der Feldversuche tatsächlich die komplette Verkehrslage auf den Empfangssystemen dargestellt wird.

Systembeschreibung

Das TIS-B-Bodensystem für die Testumgebung in Prag wurde von der DFS, in Zusammenarbeit mit Thales-ATM Stuttgart, bereitgestellt [1]. Dieses Bodensystem sendet A-SMGCS-Surveillance-Daten (Verkehrslage) zu entsprechend ausgerüsteten Flugzeugen und Fahrzeugen. Ein schematischer Überblick der TIS-B-Systemarchitektur wird in Abb. 5 dargestellt.

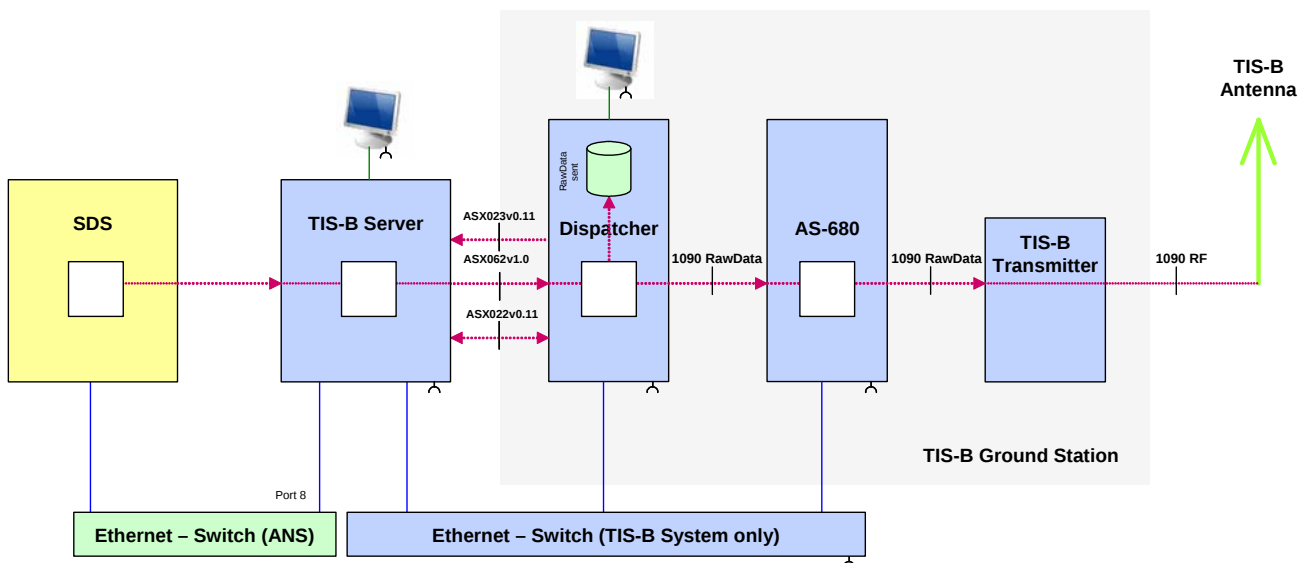


Abb. 5: TIS-B Systemarchitektur für die EMMA2 Versuche in Prag

Das TIS-B-System besteht dabei aus den folgenden Elementen:

- TIS-B Server
- TIS-B Bodenstation, bestehend aus TIS-B Verarbeitungseinheit (Dispatcher), Steuereinheit (AS-680) und Sender (TIS-B Transmitter)
- LAN Switch
- 180° sektorisierte TIS-B Antenne

TIS-B Server

Track-Meldungen werden von einem Surveillance Data System (SDS) der Firma Park Air Systems im Format ASTERIX CAT062 an den TIS-B Server (Hersteller: Avibit) gesendet. Innerhalb des TIS-B Servers werden die Track-Meldungen soweit dekodiert, dass sie sich nach vordefinierten Kriterien filtern lassen:

- Geographischer Bereich (begrenzt durch ein laterales Polygon und ein Höhenband): TIV
- Gap Filler oder Full Surveillance Modus (Filterung von ADS-B basierenden Meldungen)

Im Falle des EMMA2 TIS-B-Servers wurden die Surveillance-Daten am Boden und in unmittelbarer Nähe des Flughafens bis 3000 ft gefiltert, um eine Verkehrslage des Flughafens zu generieren. Um die Verarbeitungszeit der TIS-B Meldungen zu minimieren, wurden die Daten im sogenannten Pipeline-Modus übertragen, wobei nach Eintreffen einer neuen Positionsmeldung diese un-

mittelbar weitergeleitet wird, vorausgesetzt eine Mindestlatenzzeit von 2 Sekunden zum vorangegangenen Update wurde bereits überschritten. Damit konnte ein akzeptables Verhältnis zwischen hoher Updaterate einerseits und einer Begrenzung der Funkfeldbelastung andererseits gefunden werden. Dabei wächst die Belastung des Funkfeldes proportional mit der Anzahl der zu übermittelnden Verkehrsdaten und deren Updatehäufigkeit.

Zwischen dem TIS-B-Server und der TIS-B-Bodenstation werden drei verschiedene ASTERIX Kommunikationskategorien verwendet:

- CAT062: wird zur Übertragung von Trackmeldungen zur Bodenstation verwendet
- CAT022: sendet Managementmeldungen zur Bodenstation, die neben der Nummer des betreffenden TIS-B Dienstes die jeweilige Anzahl der Flugziele, die Updatehäufigkeit und die Genauigkeit der Flugzielinformationen beinhaltet.
- CAT023: überträgt Status- und Statistikmeldungen von der TIS-B Bodenstation zum TIS-B Server

Bodenstation

Die TIS-B-Bodenstation (siehe Abb. 6) wandelt die Trackmeldungen in ein Standardformat gemäß RTCA DO-286 [3] um und versendet die Daten anschließend als Extended Squitter im SSR-Kanal.

Die Ausgangsleistung des TIS-B-Senders beträgt 250 W (54 dBm), allerdings wurde diese Leistung noch durch die Kabeldämpfung und ein zusätzliches Dämpfungsglied vermindert, so dass die abgestrahlte Sendeleistung ca. 20 W betrug. Damit wurde erreicht, dass einerseits die zur Überdeckung der Flughafenoberfläche notwendige Sendeleistung zur Verfügung stand, aber andererseits keine Interferenzen mit den ebenfalls am Flughafen betriebenen Surveillance-Einrichtungen (Radar- und Multilaterationssysteme) hervorgerufen wurden.

Als Antenne wurde eine 1090 MHz Sektorantenne (180°) vom Typ ERA AL1W mit Reflektor (4dB Gewinn) verwendet.

Vorbereitungen

Vor der Inbetriebnahme des TIS-B-Systems am Flughafen Prag waren eine Reihe von vorbereitenden Maßnahmen durchzuführen. Hierzu zählen neben Konfiguration und Test des TIS-B-Systems insbesondere auch die Durchführung von Funkfeldsimulationen und die Vorbereitungen für die Beantragung einer TIS-B-Sendegenehmigung.

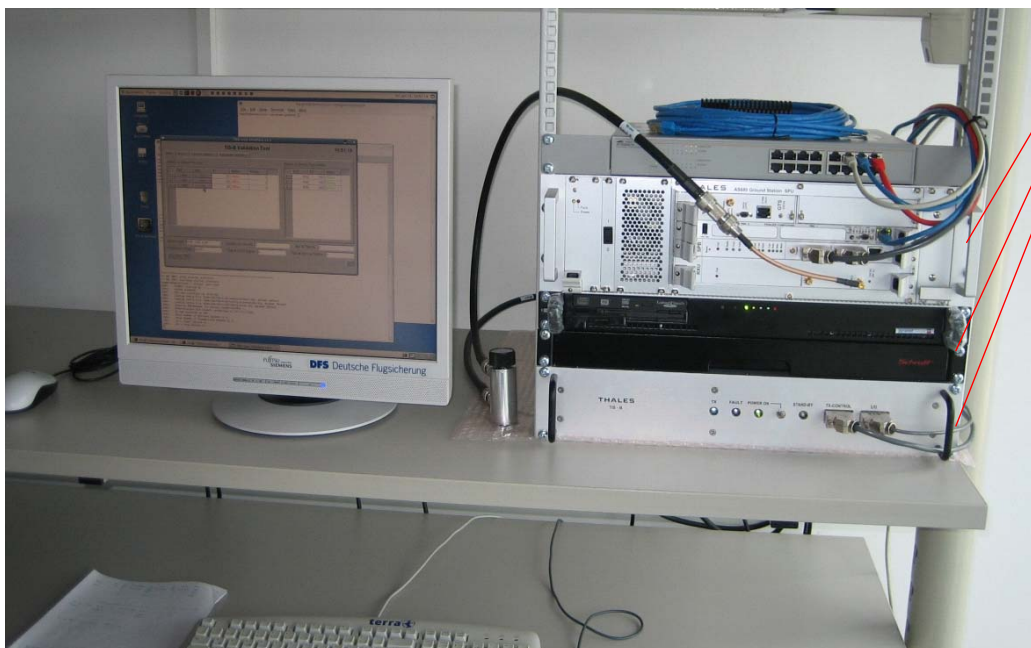
Funkfeldsimulation

Um die potentielle Beeinflussung der vorhandenen Surveillance-Systeme durch das TIS-B System beurteilen zu können, wurden in Vorberei-

tung der Tests Funkfeldsimulationen durchgeführt. Bei der Funkfeldsimulation wurde von idealisierten Umgebungsbedingungen ausgegangen, wie z.B. unbeschränkte Sichtverbindungen, was natürlich in einem realen Umfeld nicht erfüllt ist und deshalb der tatsächliche Einfluss auf das Funkfeld und die Surveillance-Systeme geringer ausfallen wird als in der Simulation berechnet.

In einem ersten Schritt wurde die geometrische Anordnung von TIS-B-Sendeantenne (inklusive Antennencharakteristik) und MLAT- bzw. Radarantennen im Simulationsmodell abgebildet (siehe Abb. 7). Damit wurden auch die Entfernungen und Azimut/ Elevationswinkel zwischen der Sendantenne und den Empfängern beschrieben. In einem zweiten Schritt wurden die technischen Charakteristika von Sender und Empfänger beschrieben. Hierzu zählen u.a. die Senderausgangsleistung, Kabeldämpfungen und Antennengewinn. In einem letzten Schritt wurden einerseits die Empfangspegel bei den MLAT- und Radar-Systemen ermittelt und andererseits die TIS-B-Überdeckung (Bereich in dem der Empfang von TIS-B-Aussendungen möglich ist) bestimmt.

Die folgende Gleichung beschreibt den Empfangspegel am Ort der Radar- oder MLAT-Sensoren für einen bestimmten Sendeweg einschließlich der wesentlichen Parameter die den Sender, den Empfänger, die Kabel, die Antennen und die Freiraumdämpfung beschreiben



THALES ATM
AS-680
Dispatcher
TIS-B Transmitter



Abb. 6: TIS-B Installation (Server [links] und Bodenstation [mitte] sowie Antenne [rechts])

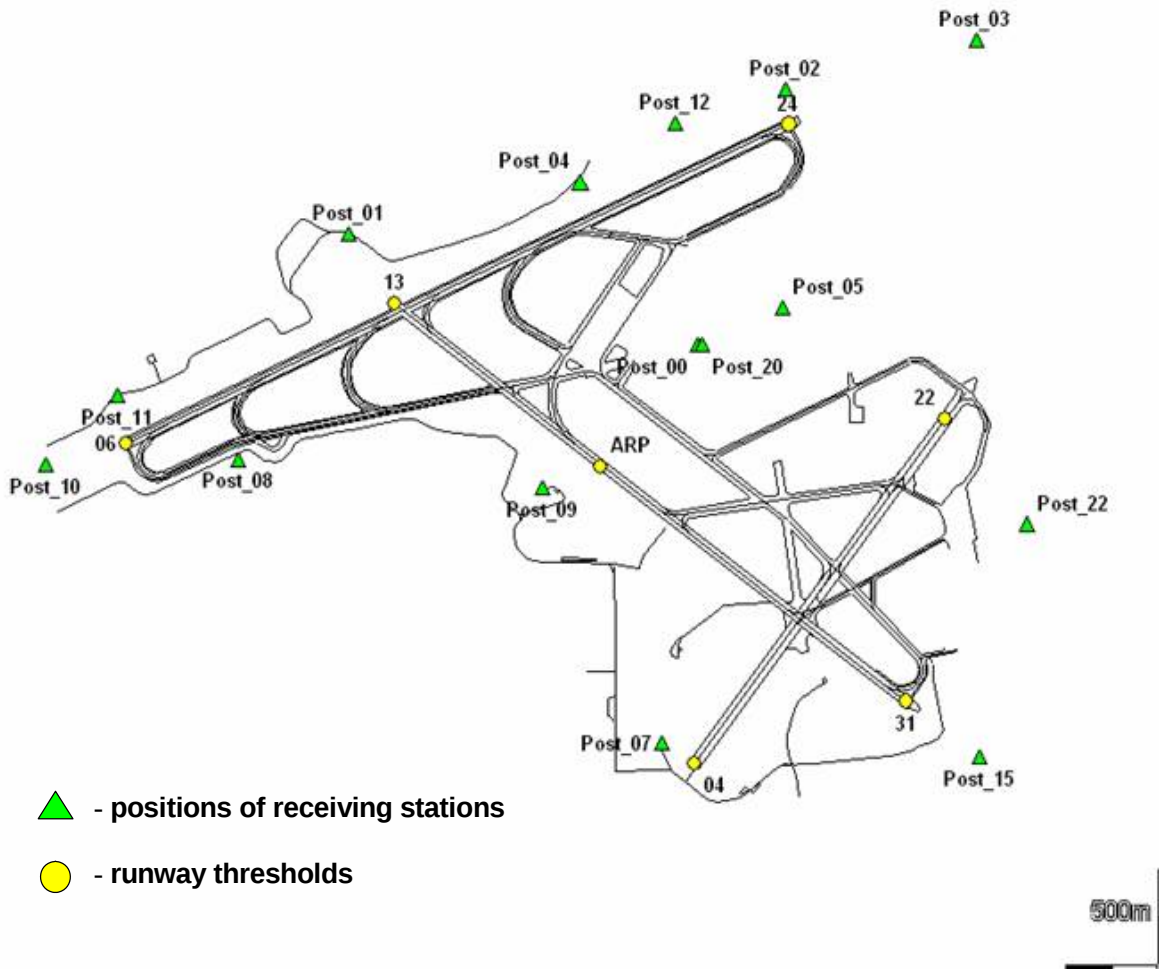


Abb. 7: MLAT-Empfangssystem am Flughafen Prag

$$P_{RX} = P_{TX} - L_{TX} + G_{TX} - a_0 + G_{RX} - L_{RX}$$

P_{RX}	Empfangsleistung,
P_{TX}	Sendeleistung,
G_{RX}	Gewinn der Empfangsantenne
a_0	Freiraumdämpfung,
G_{TX}	Gewinn der Sendeantenne,
L_{RX}	Kabelverluste beim Empfänger,
L_{TX}	Kabelverluste beim Sender

(1)

Bei der verwendeten sektorisierten TIS-B-Sendeantenne ist der zu berücksichtigende Antennengewinn (G_{TX}) abhängig vom Azimut/ Elevationswinkel zwischen Sender und Empfänger.

Damit eine möglichst realitätsnahe Berechnung des Funkfeldes durchgeführt werden konnte wurde das *ITM Irregular Terrain Model* [5] verwendet. Neben einer vereinfachten Berechnung der Leistungsbilanz werden Geländedaten, Antennendiagramme und komplexe Algorithmen zur Berechnung des Funkfeldes in diesem Simulationsmodell verwendet.

Das Ergebnis der Funkfeldsimulation war, dass

- die Empfangspegel an allen Surveillance-Sensoren sich innerhalb des erlaubten Bereichs bewegten und somit von einem für die benachbarten Systeme störungsfreien Betrieb des TIS-B-Systems ausgegangen werden kann, und
- der TIS-B-Überdeckungsbereich die für die EMMA2-Versuche vorgesehenen Bereiche am

Der einzige veränderliche Teil der Leistungsbilanz zwischen Sender und den verschiedenen Empfängern ist die Freiraumdämpfung (a_0), die abhängig ist von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger sowie der Signalfrequenz (bei TIS-B-Aussendungen beträgt diese 1090 MHz). Unter den gegebenen Randbedingungen liefert die Freiraumdämpfung den größten Dämpfungsbeitrag in der Leistungsbilanz:

$$a_0 = 92,4 \text{ dB} + 20 \log R + 20 \log f \quad (2)$$

R Entfernung in km zwischen Sender und Empfänger
f Frequenz [GHz]

Flughafen Prag einschließt und somit von einer funktionierenden TIS-B-Verbindung ausgegangen werden konnte.

FRUIT Belastung

Für die Abschätzung der FRUIT-Belastung (Belastung durch „fremde“ Signale auf dem SSR-Kanal) wurden folgende Überlegungen angestellt: Die maximale Zielverarbeitungskapazität eines typischen SSR/Mode S-Radarsystems ist bis 11.000 Mode A/C-FRUIT/s und 1000 Mode S-FRUIT/s gegeben (innerhalb der Antennenhauptkeule). Die Radarempfänger arbeiten in einem Empfangsbereich zwischen -90dBm und -15dBm. Der Gewinn der Antenne bezogen auf die Hauptkeule beträgt 27dB. Bei einer Elevation von 0° ist der Antennengewinn ungefähr 7dB geringer als in der Hauptkeule, also 20dB (dieser Wert wurde für die Funkfeldberechnungen verwendet).

Der TIS-B-Sender kann maximal 1000 Meldungen pro Sekunde abstrahlen. Die TIS-B-Meldungen sind gemäß dem Downlink Format 18 (DF18) kodiert und haben eine Dauer von 120µs. Der TIS-B-Sender enthält eine eingebaute Signal- und Fehlererkennung. Damit wird sichergestellt, dass keine Aussendungen ohne dazugehörige Eingangsmeldungen erfolgen und im Fehlerfall die Versorgungsspannung des Leistungsverstärkers vollständig getrennt wird.

Die FRUIT-Belastung durch den TIS-B-Sender kann maximal 1000 Mode S FRUIT/s betragen. Dies entspricht gerade dem erlaubten Schwellwert für die FRUIT-Belastung, bei dem die Funktion des Radarsystems noch nicht beeinträchtigt wird. Die Anzahl der auszusendenden TIS-B-Meldungen ist abhängig von der Anzahl der vorhandenen Ziele innerhalb eines TIV. Der erwartete Wert für das TIV1 beträgt ungefähr 40 Ziele. Demnach beträgt die maximale FRUIT Rate 60/s (3 Meldungen für jedes Ziel: Position, Geschwindigkeit und Identifizierung, bei einer Updatehäufigkeit von 2 Sekunden). Dieser Wert liegt somit deutlich unter dem geforderten Grenzwert.

Basierend auf den technischen Eigenschaften der Sende- und Empfangseinrichtungen und dem zugrunde gelegte Szenario konnten folgende Schlussfolgerungen bezüglich FRUIT- und Funkfeldbelastung gezogen werden:

- maximale durch den TIS-B-Sender verursachte FRUIT-Belastung kann bis maximal 1000 Mode S FRUIT/s betragen, was gerade der erlaubten maximalen Belastung entspricht, bei der noch keine Beeinträchtigung der Funktion des Radarsystems hervorgerufen wird.
- Die tatsächliche durch den TIS-B-Sender verursachte FRUIT-Belastung ist durch geographische Begrenzung des TIV und der Updatehäufigkeit deutlich geringer als der erlaubte Schwellwert (die erwartete Belastung beträgt weniger als 60 Mode S FRUIT/s)
- Die einzigen Radarsysteme, welche in die Funkfeld-Betrachtungen mit einbezogen werden müssen, sind das MSSR-Radar auf dem Flughafen Prag und das SSR-Radar bei Pisek. Sämtliche MLAT-Empfänger auf dem Gelände des Flughafen Prag befinden sich innerhalb des Überdeckungsbereich des TIS-B-Senders. Der tatsächliche Einfluss auf den Empfänger ist insbesondere abhängig von der Entfernung zum TIS-B-Sender und dem korrespondierenden Azimut- und Elevationswinkel (die einen Einfluss auf den anzurechnenden Antennengewinn haben).
- Basierend auf Funkfeldsimulationen konnte gezeigt werden, dass sich der erwartete TIS-B-Empfangspegel der betrachteten MLAT-Empfänger und Radarsysteme innerhalb des erlaubten Empfangsbereiches befindet.

Frequenzgenehmigung

Die TIS-B-Bodenstation wird als feste Flugfunkstelle eingestuft, demzufolge mussten vor der Inbetriebnahme die entsprechenden Genehmigungen für die Betrieb der Anlage bei der nationalen Frequenzzulassungsbehörde eingeholt werden. Neben den technischen Daten des TIS-B-Senders und seinem Standort ist dabei insbesondere die vorgesehene Betriebsweise relevant. Allerdings sollte das TIS-B-System ausschließlich während der Testphasen und der EMMA2 - Feldversuche betrieben werden, womit bei der Einholung der Genehmigungen unterstellt werden konnte, dass kein unbeaufsichtigter Dauerbetrieb der Anlage vorgesehen war.

Basierend auf diesen Angaben wurde Genehmigung für den TIS-B-Sendebetrieb während der EMMA2-Versuchszeiten erteilt.

Test und Integration TIS-B System

Damit die Integration am Flughafen Prag reibungslos vonstatten gehen konnte wurden im Vorfeld die Konfiguration des TIS-B-Systems durchgeführt und die technischen Rahmenbedingungen geschaffen. In Absprache mit der tschechischen Flugsicherung (ANS CR) wurde der Aufstellungsort des TIS-B-Systems und der Antenne festgelegt. Damit waren auch die Randbedingungen für die Montage des Systems und dessen Verkabelung bestimmt. Somit konnten z.B. die benötigten mechanischen Anpassungen und die zu verwendenden Kabel bereits im Vorfeld angefertigt werden.

Die Konfiguration des TIS-B-Systems wurde so vorbereitet, dass bereits vor dem Versand alle wesentlichen Einstellungen vorgenommen und getestet waren, so dass vor Ort nur marginale Anpassungen notwendig waren. Die Kommunikationsinfrastruktur des TIS-B-Systems war so aufgebaut, dass lediglich eine Schnittstelle zum Netzwerk der tschechischen Flugsicherung existierte. Dies hatte den Vorteil, dass trotz Änderung in der Anbindung an das Surveillance-Netzwerk keine Anpassungen innerhalb des TIS-B-Systems notwendig wurden. Des Weiteren konnten die Systeme TIS-B-Server und TIS-B-Bodenstation bereits in der Laborumgebung integriert und getestet werden.

Somit bestand die Aufgabe der Integration des TIS-B-Systems in Prag lediglich im Zusammenbau des Systems und Test der bereits voreingestellten Funktionen.

Test und Integration SDPS

Analog zur Integration des TIS-B-Systems wurde auch die Integration des SDPS (Surveillance Data Processing System, Hersteller: Park Air Systems) weitestgehend im Vorfeld durchgeführt. Hierzu wurde ein Interface Control Document (ICD) [8] vereinbart, nach dem Park Air Systems die für die Bereitstellung der Trackdaten notwendigen Anpassungen realisierte. Nach Fertigstellen der Anpassungen wurden die vom SDPS generierten Trackdaten aufgezeichnet und in das bereits integrierte TIS-B-System der DFS in Langen eingespeist. Die während der Tests identifizierten Abweichungen konnten beseitigt werden, so dass während der eigentlichen Integration

von SDPS und TIS-B-System in Prag nur geringe Anpassungen notwendig waren.

Test und Integration Multilaterationssystem

Am Flughafen Prag wird von der tschechischen Flugsicherung seit dem Jahr 2003 ein Multilaterationssystem betrieben. Mit Hilfe dieses Surveillance-Sensors lassen sich neben Flugzeugen auch entsprechend ausgerüstete Fahrzeuge detektieren. Hierzu verfügen die betreffenden Fahrzeuge über einen Sender, der die Fahrzeugposition und -kennung im Downlink-Format 18 (DF18) für sogenannte „Non-Transponder Devices“ überträgt.

Es zeigte sich während der Vorbereitungen der TIS-B System Integration, dass das Multilaterationssystem einerseits zwar die DF18 Meldungen der Fahrzeuge auswerten kann, aber andererseits diese nicht von den TIS-B Meldungen, die ebenfalls im DF18 Format vorliegen, unterscheiden kann. Die Unterscheidung zwischen den TIS-B-Daten (DF18: TIS-B) und den Fahrzeugdaten (DF18: ADS-B Non-Transponder Devices) erfolgt über ein „Sub Type“ Feld innerhalb der DF18 Meldung gemäß dem RTCA Standard DO-260A [2]. Da dieser Standard allerdings erst in 2004 vereinbart wurde, kam dieser für das bereits früher von der ANS CR beschaffte Multilaterationssystem zu spät. Weil dieses System nicht zwischen den erwünschten Aussendungen der Fahrzeuge und den – aus Sicht des Multilaterationssystems – unerwünschten TIS-B-Aussendungen unterschied, wurden zwei Probleme identifiziert:

- Die TIS-B-Aussendungen werden vom Multilaterationssystem als gültige Signale identifiziert. Somit werden alle TIS-B-Aussendungen am Standort der TIS-B-Antenne detektiert und zur weiteren Verarbeitung an das SDPS weitergeleitet. Das SDPS wiederum sendet diese Surveillance-Daten als Trackdaten an das TIS-B-System. Das TIS-B-System sendet die Meldungen erneut aus. Womit sich der Kreis schließt und die Daten sich nunmehr in einer unerwünschten Informationsschleife befinden.
- Die tatsächlichen Positionsdaten der Flugzeuge und Fahrzeuge werden von den Surveillance-Sensoren (MLAT und Radar) mit der 24-bit Mode S Adresse als eindeutige Identifikation in den Surveillance-Datenverarbeitungsprozess

eingespeist. Das TIS-B-System sendet nun seinerseits die Positionsdaten der Flugzeuge mit Hilfe der TIS-B-Meldungen aus, die ebenfalls mit der 24-bit Mode S-Adresse des Flugzeugs gekennzeichnet sind. Somit werden von dem Multilaterationssystem für ein Flugzeug (gekennzeichnet durch dessen 24-bit Mode S Adresse) zwei Positionen detektiert, nämlich an der tatsächlichen Position und an der Position der TIS-B-Antenne. Infolgedessen wird am Arbeitsplatz des Fluglotsen (Controller Working Position, CWP) ein zwischen zwei Positionen springendes Ziel angezeigt.

Hätte das MLAT-System die Daten korrekt als TIS-B-Daten identifizieren könnten, hätte es diese Informationen von der weiteren Verarbeitung ausschließen können und keiner der oben genannten Fälle wäre eingetreten. Nach Untersuchung der Problematik durch den Hersteller des Multilaterationssystems, der tschechischen Flugsicherung und der DFS wurden folgende Maßnahmen vereinbart, die auch in der vereinbarten Weise umgesetzt wurden und das Problem für die EMMA2-Versuche lösten:

- Es wird ein geographischer Filter innerhalb des MLAT-Systems um die TIS-B-Antennenposition gelegt, der die TIS-B-Aussendungen entsprechend filtern sollte damit sie in der weiteren Surveillance-Datenverarbeitung nicht mehr berücksichtigt werden. Hiermit wird die Informationsschleife unterbrochen.
- Zusätzlich löscht das SDPS die 24-bit Mode S-Adresse innerhalb der Trackdaten, bevor es diese an das TIS-B-System weitergibt. Danach generiert das TIS-B-System eine synthetische 24-bit Adresse bestehend aus SSR Mode A Code (soweit vorhanden) und der Track-Identifizierung des SDPS. Hierdurch wird das Springen der Zielinformation verhindert, weil das TIS-B-System nun eine eigene Identifikation der Flugzeuge und Fahrzeuge verwendet.

Im Rahmen der Übertragungstests und der EMMA2 -Feldversuche konnte die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen nachgewiesen werden. Es war somit sichergestellt, dass das TIS-B System ohne Beeinflussung des Multilaterationssystems betrieben werden konnte.

Übertragungstests

Die TIS-B Bodenstation, die im Rahmen der EMMA2 Versuche auf dem Flughafen Prag eingesetzt wurde, ist ausschließlich für den Zweck von technische Untersuchungen konzipiert worden. Gemäß der Dokumentation des Herstellers (THALES ATM) entspricht die TIS-B-Bodenstation den Spezifikationen des ICAO Annex 10, Volume 4 [4]. In einer (herstellereigenen) Werkabnahme, die von der DFS begleitet wurde, konnte die Erfüllung der relevanten Anforderungen nachgewiesen werden.

Vor der Inbetriebnahme der TIS-B-Bodenstation wurden einige dieser Tests in Prag wiederholt, um Transportbeschädigungen ausschließen und die korrekte Konfiguration des Systems nachweisen zu können. Diese Tests wurden ohne Aussendung der TIS-B-Daten über eine Antenne, sondern unter Verwendung einer Ersatzlast (Dummy-Load) durchgeführt.

Vor der Inbetriebnahme des TIS-B-Senders erfolgte die Abstimmung mit allen erforderlichen technischen und betrieblichen Abteilungen der tschechischen Flugsicherung um sicherzustellen, dass während des Betriebes keine Beeinträchtigung der Surveillance- Systeme (z.B. Radar- und MLAT- System) am Flughafen Prag erfolgt. Somit wurden Vorkehrungen getroffen, um bei technischen Problemen das TIS-B-System unmittelbar ausschalten zu können. Zur Koordination der TIS-B-Tests wurde ein Mitarbeiter der tschechischen Flugsicherung als zentraler Ansprechpartner benannt.

Die Übertragungstests am Flughafen in Prag bestätigten die korrekte Funktionsweise des TIS-B-Systems und dass keine Beeinträchtigung der Surveillance- Systeme hervorgerufen wurde. Damit konnte das TIS-B-System auch im Rahmen der EMMA2 Feldversuche eingesetzt werden.

EMMA2 Feldversuche in Prag

In der 47. und 48. KW 2008 fanden die Feldversuche zur Validierung des *A-SMGCS Higher Level Prototypen* mit den Funktionen Guidance und Planning am Flughafen Prag statt. Das DLR stellte ein Messflugzeug (ATTAS), die TU Darmstadt ein Messfahrzeug und die DFS die oben beschriebene Traffic Information Service Broadcast (TIS-B) -Infrastruktur zur Verfügung. Die Kom-

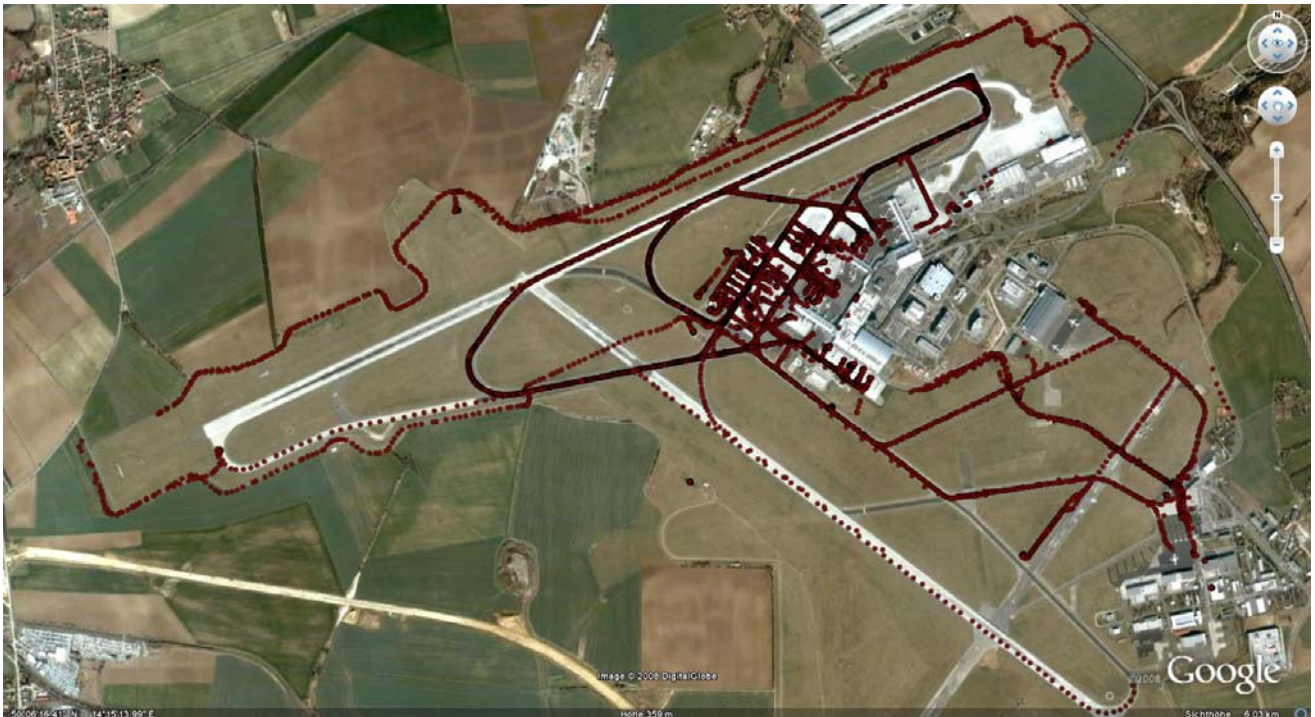


Abbildung 8: Visualisierung aufgezeichneter TIS-B Daten

munikation zwischen TWR-Lotse und ATTAS-Pilot erfolgte für ausgewählte Anwendungen per Data Link (CPDLC), die ihn umgebende Verkehrslage wurde dem Piloten per TIS-B übertragen und auf dem *Airport Moving Map Display* dargestellt. Der Empfangsbereich betrug ca. 30 NM um den Flughafen Prag herum. Einschränkungen des betrieblich genutzten MLAT durch den TIS-B-Betrieb traten nicht auf. Die Bodenverkehrslage wurde den TWR-Lotsen auf den bereits im Vorgängerprojekt EMMA 1 erfolgreich getesteten Displays dargestellt. Die komplette Verkehrsabwicklung erfolgte mittels elektronischer Flugstreifen und wurde durch eine Rollweg- und Zeitplanung unterstützt.

In Abb. 8 werden exemplarisch die aufgezeichneten TIS-B Daten auf der Flughafenoberfläche in Prag dargestellt.

Ergebnisse

Das im Rahmen des EMMA2-Projekts in Prag implementierte System bietet die komplette Verkehrsabwicklung über elektronische Flugstreifen für den Fluglotsen, eine Rollweg- und Zeitplanung bis hin zu einem eigenen Display an [6]. Mit EMMA2 erhält der Pilot eine genaue und schnelle Übersicht über den aktuellen Rollverkehr. Hierzu zählt auch die farblich abgehobene Darstellung möglicher Start- oder Landebahn-„Verletzungen“, das heißt die Nutzung einer nicht freigegebenen Bahn durch ein Flugzeug oder Service-Fahrzeug. Hierbei wird zum ersten Mal auch dem Piloten die gesamte Verkehrslage am Boden über das „Traffic Information System - Broadcast (TIS-B)“ dargestellt. Das TIS-B-System wurde von der DFS (Bereich F&E) installiert, konfiguriert und betrieben. Das DFS-Ziel, der Nachweis der (auch technischen) Machbarkeit einer TIS-B-Nutzung als „Guidance“-Komponente für ein A-SMGCS, konnte somit erreicht werden.

Referenzen

[1]	2008	TIS-B System - System Description, DFS, EMMA2-SP3 Projektdokument
[2]	2004	RTCA DO-260A MOPS for 1090ES ADS-B and TIS-B
[3]	2004	RTCA DO-286 MASPS for TIS-B
[4]	1998	ICAO Aeronautical Telecommunications Annex 10, Volume IV (surveillance radar and collision avoidance systems), second edition,
[5]	2002	The Irregular Terrain Model (ITM Algorithm), George Hufford, version 1.2.2
[6]	2008	A-SMGCS Services, Procedures, and Operational Requirements (SPOR), DLR, EMMA2-SP3 Projektdokument
[7]	2008	Ground System Requirements for High-Level A-SMGCS at Prague Airport, Park Air Systems, EMMA2-SP3 Projektdokument
[8]	2008	Interface Description SDPS - TIS-B Server, DFS, EMMA2-SP3 Projektdokument

Abkürzungen

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast
ANS CR	Air Navigation Services of the Czech Republic
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System
ASAS	Airborne Separation and Assistance
ASR	Airport Surveillance Radar
ASTERIX	All-Purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange
ATM	Air Traffic Management
ATTAS	Advanced Technologies Testing Aircraft System
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communications
DF	Downlink Format
EC	European Commission (Europäische Kommission)
EMMA	European Airport Movement Management by A-SMGCS
F&E	Forschung und Entwicklung
HF	High Frequency
HL	Higher Level
ICAO	International Civil Aviation Organisation
ICD	Interface Control Document
LKPR	ICAO code for Prague Airport
MASPS	Minimum Aviation System Performance Specification
MLAT	Multi-Lateration
RF	Radio Frequency
RWY	Runway
SCV	Surveillance Coverage Volume
SDS	Surveillance Data System (siehe SDPS)
SDPS	Surveillance Data Processing Systems
SSR	Secondary Surveillance Radar
SV	Service Volume
TIS-B	Traffic Information Service - Broadcast
TIV	Traffic Information Volume
TMA	Terminal Manoeuvring Area
TWR	Tower

Arbeiten des Bereichs F&E im Projekt „Data Link Center“

Dr. Andreas Herber, Stefan Stanzel, TEA, Dr. Manfred Korn, TEI

Einleitung

Der Geschäftsbereich Center (GB CC) führt mit dem Projekt „Data Link Center (DLC)“ die Weiterentwicklung des zukünftigen ATM-Systems der DFS „P1/VAFORIT“ um die Komponente „Air-Ground Data Link“ (AGDL) durch. Dadurch soll die Nutzung nicht-zeitkritischer Data Link Dienste im UAC² Karlsruhe ermöglicht werden. Basis der Implementierung ist die LINK2000+ Baseline [8]. Die Entwicklung im Projekt „Data Link Center“ lässt sich in die Bereiche untergliedern

- Beschaffung VAFORIT-AGDL³ (also Erweiterung primär des Lotseninterfaces, des Flugplanverarbeitungssystems und der Middleware),
- Beschaffung DL-FEP⁴ (also Data Link Front End Processor als Kommunikations-Front-End für das Flugplandatenverarbeitungssystem),
- Realisierung einer Umgebung für Data Link Simulationen durch Beschaffung ASIS⁵ und Erweiterung des AFS/SimSys⁶, also des Stimulators⁷, zum Betrieb des Data Link fähigen ATM-Systems mit simulierten Daten.

Alle Arbeiten wurden schließlich durch das *Issue Management Data Link Center* gesteuert und koordiniert.

Schon früher hat der Bereich Forschung & Entwicklung dem GB CC mit Expertenwissen zugearbeitet. Die direkte Mitarbeit betraf die Bereiche Simulationsunterstützung, Validierung oder Test & Integration ([10] bis [13]). Inhaltliche Zuarbeit fand z.B. im Projekt MSP-D/L statt, in dem mittels Realzeitsimulationen Ergeb-

nisse zum Nutzen von Data Link im Karlsruher Luftraum gewonnen werden konnten [2].

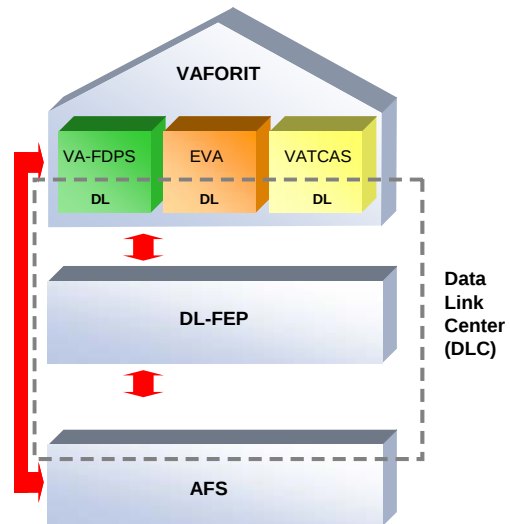


Abb. 1: Umfeld im Projekt DLC

Im Projekt Data Link Center fand und findet derzeit noch eine direkte Mitarbeit maßgeblich in folgenden Bereichen statt:

- konzeptionelle Planung und technische Leitung der Integration der getrennten Entwicklungsstränge zum Gesamtsystem in Langen und Karlsruhe [3],[5],[6],[9],
- Software-Entwicklung eines um Data Link erweiterten AFS/SimSys, sowohl pilotenseitig (Anpassung Piloten-HMI) als auch kommunikationsseitig (Interface für ASIS), sowie
- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Verifizierung, Optimierung und Validierung in Langen (Validierung 1) [1].

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags steht der letzte Teil der Arbeiten (Integration im Zielsystem und Validierung 2) noch aus. Da aber der Großteil der Leistungen des Bereichs Forschung & Entwicklung bereits erfolgreich abgeschlossen werden konnte, soll mit diesem Artikel ein Überblick über die bisherigen Arbeiten gegeben werden.

² Upper Area Control Center, Kontrollstelle im Oberen Luftraum

³ Air Ground Data Link

⁴ Data Link Front End Processor

⁵ Aircraft Simulation System

⁶ Advanced Function Simulator / Simulator System;

⁷ das Zielsystem mit allen Eingangsdaten stimulierend, im Gegensatz zum Simulator

1. Integration und Test

Neben der konzeptionellen Integrationsplanung aus Gesamtsystemsicht [9] lag der Schwerpunkt der Arbeiten bei der technischen Leitung der Integration und Mitarbeit bei den Abnahmen der Teilkomponenten DL-FEP und ASIS [5], [6], [1].

1.1 Integrationsplanung

Der Bereich F&E hat eine Konzeption für die Phase der Gesamtsystem-Integration und -tests entwickelt und mit den beteiligten Bereichen abgestimmt. Dabei war der Bereich F&E Editor für Integrationsdokumentation und Koordinator für die jeweiligen Testteams, allerdings jeweils „nur“ aus Gesamtsystemsicht. Die Planungen für die Stränge „DL-FEP“ einerseits und „AGDL in VAFORIT“ andererseits wurden vollständig innerhalb eigenständiger Projekte im Bereich CNS/DM und CP/VF abgewickelt.

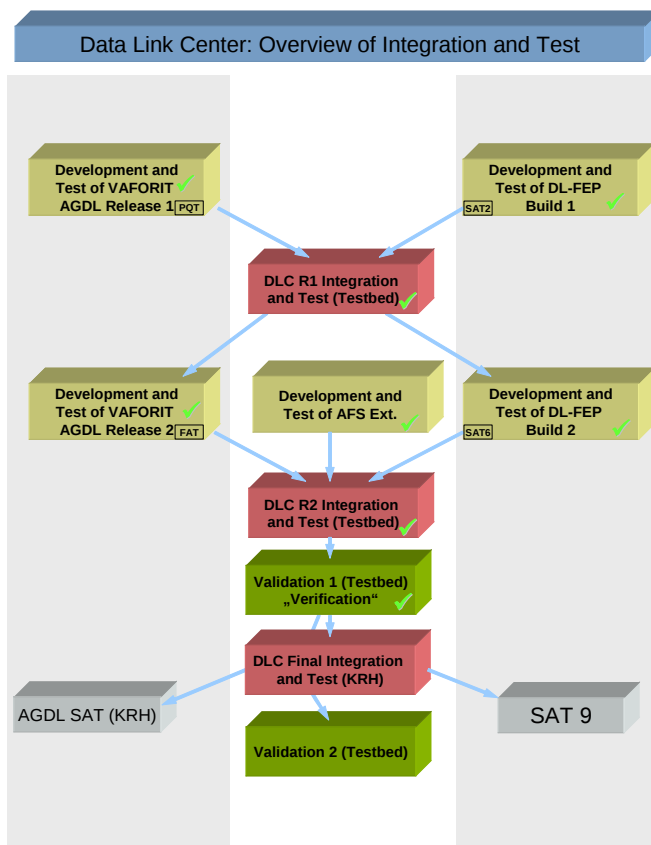


Abb. 2: Integrationsschritte im Projekt Data Link Center

1.2 Integrations- und Testaktivitäten

Die praktische Zuarbeit des Bereichs F&E in diesem Bereich teilte sich wie folgt auf:

- Überwachung der Integration der benötigten Komponenten für die Abnahmetests in den jeweiligen Teilprojekten (Datalink Center Release 1 und 2), Aircraft Simulator System (ASIS) sowie Legal Recording Function (LRF) System,
- Mitwirkung bei den formalen Abnahmetests von DL-FEP, wie Factory Acceptance- und Site Acceptance Tests),
- Technische Unterstützung Technical Verification VAFORIT AGDL Release 1 und 2.

Die Integrationsarbeiten im Rahmen des Data Link Center Projektes hatten vorrangig das Ziel, die Abnahmetests der Hauptkomponenten DL-FEP, AFS-Erweiterung um Data Link und VAFORIT AGDL vorzubereiten und zu unterstützen. Aus diesem Grund wurden bedarfsgerecht eine Reihe von Integrationsschritten, bezogen auf den jeweiligen Fortschritt in den Teilprojekten und den Zielsetzungen der Abnahmetests, durchgeführt. In der Regel fanden somit zunächst Integrationsarbeiten innerhalb der Teilprojekte DL-FEP, AFS-Erweiterung und VAFORIT AGDL statt, anschließend wurden die Systeme der Teilprojekte miteinander integriert und als letzter Schritt wurde die gesamte DLC Infrastruktur an ein externes Avionik Testbed (SITA, Montreal) angeschlossen.

In Abb. 3 werden die wesentlichen Komponenten der Data Link Center Infrastruktur (Testumgebung Langen) dargestellt. Aus der Anzahl der Komponenten und der möglichen alternativen Kommunikationswege ergibt sich eine Vielzahl von einzelnen Systemarchitekturen [3], die jeweils für bestimmte Testaufgaben eingesetzt worden sind. Beispiele der wichtigsten Systemarchitekturen sind:

- DL-FEP Testumgebung (AFAME⁸, DL-FEP, DL-FEP Tester⁹),
- Validierungsumgebung (VAFORIT AGDL, DL-FEP, ASIS, AFS),
- Reale Avionik (VAFORIT AGDL, DL-FEP, Avionik-Testbed).

Durch die Anordnung der Systeme in örtlich getrennten Testumgebungen (VAN Testcenter im Systemhaus, VAFORIT Testbed & AFS Testbed

⁸ Testsystem des DL-FEP zur manuellen Generierung von ATN-Meldungen

⁹ Testsystem des DL-FEP zur automatischen Generierung von Meldungen

im Forschungszentrum) ergab sich die Notwendigkeit, Vorkehrungen für einen Remote-Betrieb der jeweils anderen Testumgebungen vorzusehen. Die jeweiligen Testumgebungen waren über das CoreLAN der DFS und über Firewalls miteinander verbunden.

Um diese unterschiedlichen Systemarchitekturen für die Abnahmetests bereitstellen zu können, wurde in der Regel die folgende Vorgehensweise angewendet:

- realisieren der physikalischen Verbindung zwischen den zu integrierenden Systemen,
- erstellen einer spezifischen Konfiguration der Komponenten für den jeweiligen Testzweck,
- generieren von Testszenarien bzw. Testmeldungen,
- testen der jeweiligen Systemarchitektur unter Verwendung der erstellten Testszenarien,
- archivieren der Konfigurationen und Testszenarien, um die Reproduzierbarkeit der Tests zu gewährleisten.

Die schrittweise Integration wurde auch durch die evolutionäre Entwicklung der beiden Hauptkomponenten (s. Tabelle) bedingt.

Build	DL-FEP	VAFORIT AGDL
1	ATN Funktionalität Stand-Alone System	Data Link (Grundfunktionen)
2	Cluster System SNMP Legal Recording IP-SNDCF	Data Link (voller Funktionsumfang) Switch-over

Die Integrationsarbeiten zum „Data Link Center Release 1“ wurden mit den Build 1-Versionen der Systeme durchgeführt. Für den anschließenden „Data Link Center Release 2“ wurden die Build 2-Versionen der Systeme verwendet. Neben dem Test der neuen Funktionalitäten mussten Regressionstests durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die bereits abgenommenen Funktionen auch weiterhin anforderungsgemäß vorliegen.

Somit fanden jeweils immer dann Integrationsarbeiten statt, wenn die systeminternen Tests abgeschlossen waren und die verschiedenen sys-

temübergreifenden Tests (als Bestandteil der Systemabnahme) dies erforderten (s. Abb. 3).

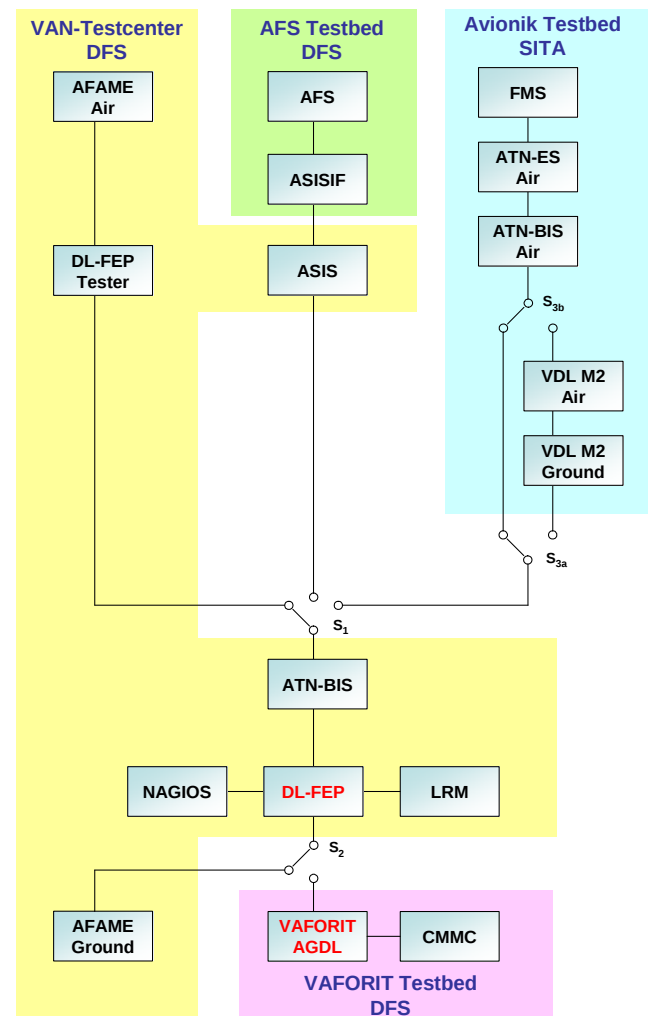


Abb. 3: Überblick zu den jeweils zu integrierenden Komponenten

2. Software-Entwicklung am AFS

Wie bereits eingangs erläutert, war es für zukünftige Simulationen mit einem um Data Link erweiterten P1/VAFORIT notwendig,

- den AFS um eine Schnittstelle zum ASIS (und darüber zu Standard-ATN-Komponenten) zu erweitern sowie
- das Piloten-Interface dahingehend zu erweitern, dass Data Link Meldungen dargestellt und vom System verarbeitet werden.

Letzteres ist in großen Teilen aus früheren Projekten vorhanden gewesen (EuroAGDL, VODAL, MSPDL) und musste nur geringfügig angepasst

werden. Größeren Aufwand bedeuteten die Entwicklung und der Test des ASIS-Interface, was mit den folgenden Abschnitten näher erläutert werden soll.

2.1 Kontext ASIS

In der „realen Welt“ stellt der DL-FEP das Interface zwischen dem P1/VAFORIT FDPS und dem Bord-Boden-Kommunikationsmedium ATN dar. Er bedient dazu, alle ATN-spezifischen Protokolle zu bedienen und wirkt aus ATN-Sicht wie ein einzelnes Ground End System (GES). Dieses kommuniziert wiederum über mehrere Protokoll-Stacks in den Flugzeugen mit deren Endsystemen (Airborne End System, AES).

Will man dieses Prinzip in ein simuliertes Test-Umfeld umsetzen, benötigt man zumindest ebenso viele Protokoll-Stacks wie Flugzeuge mit Data Link simuliert werden sollen. Hier kommt der ASIS ins Spiel, der prinzipiell für den DL-FEP mehrere Flugzeug-End-Systeme in einem Test-Umfeld darstellt (s. Abb. 4). ASIS berücksichtigt, dass jedes Flugzeug seine eigene Routing-Domain bildet und verwendet das im ATN vorgeschriebene Routing-Protokoll IDRP (Inter-Domain Routing Protocol) zum Austausch von Routing-Informationen mit dem Boden-Router.

Die grundlegenden Anforderungen sind:

- ASIS unterstützt die Simulation von bis zu 100 Flugzeugen
- Es ist möglich, mehrere ASIS parallel zu betreiben, um die Anzahl simulierter Flugzeuge

zu erhöhen

- Vom ASIS unterstützte ATN-Applikationen sind diejenigen CM¹⁰- und CPDLC¹¹-Elemente, die auch vom ES des DL-FEP unterstützt werden.

ASIS kommuniziert mit dem AFS über die sog. Air API Libraries [4].

2.2 AFS-Anpassungen an ASIS

Konfiguriert als SimSys [10] stimuliert der AFS das VAFORIT-System über dessen operationelle Schnittstellen mit Radar-, AFTN- und OLDI-Daten. Die Verwendung standardisierter Schnittstellen ermöglicht es, jedes Flugsicherungssystem, das diese Schnittstellen nutzt, mit einem SimSys zu stimulieren.

Zusätzlich zu seinen bisherigen SimSys-Funktionalitäten sollte der AFS so erweitert werden, so dass er in der Lage ist, bis zu 100 mit DataLink ausgerüstete Luftfahrzeuge zu simulieren, die die DataLink Applikationen CM, CPDLC und PMCPDLC¹² zur Verfügung stellen.

Nach dem OSI 7-layer-Modell bildet der ASIS alle 7 Schichten bis hin zur Anwendungsschicht ab, der AFS beinhaltet die eigentlichen ATN-Anwendungsprozesse selbst (und somit auch die Nutzer-Schnittstelle), siehe Abb. 4 und 5.

Die Data Link Module des AFS-SimSys-Systems sind in Abb. 5 dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen bereits vorhandenen Modulen (grün), im Rahmen des Projekts Data Link Center beschaffte Module (blau) und bei F&E im Rahmen des Projekts entwickelte Module (orange).

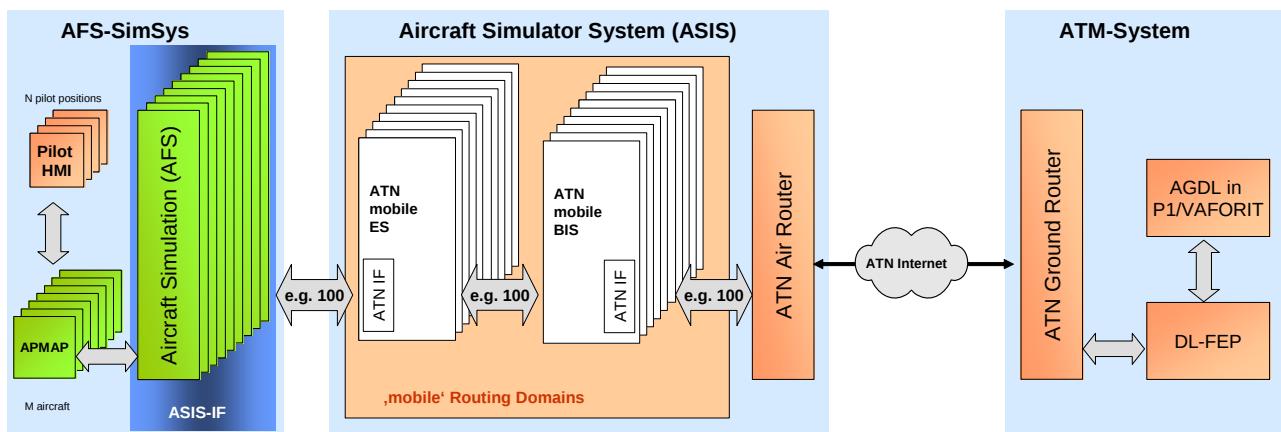


Abb. 4: Prinzip von AFS und Aircraft Simulator System für Data Link Simulationen mit P1/VAFORIT

¹⁰ Context Management

¹¹ Controller-Pilot-Data Link Communication

¹² Protected Mode CPDLC

2.2.1 Modifikation bestehender Software

Wie bereits geschildert, war der größte Teil der Data Link Funktion im AFS-Piloten und die dazugehörige Benutzerschnittstelle bereits in früheren Projekten entwickelt und genutzt worden. Angepasst, bzw. konfiguriert, wurde der Simulator nur dahingehend, dass

- Vom Piloten empfangene Data Link Anweisungen für einen Wechsel des SSR-Codes nach

Eingabe von WILCO automatisch verarbeitet werden,

- Das Modul APMAP (ATN-Pseudo Pilot Mapping Function) wurde um die PM-CPDLC Applikation erweitert und so konfiguriert, dass er den Umfang des CPDLC-Meldungssatzes im Projekts DL-Center unterstützt und
- Die Komponenten VADS (Very Advanced Display System) und APMAP wurden zur Unter-

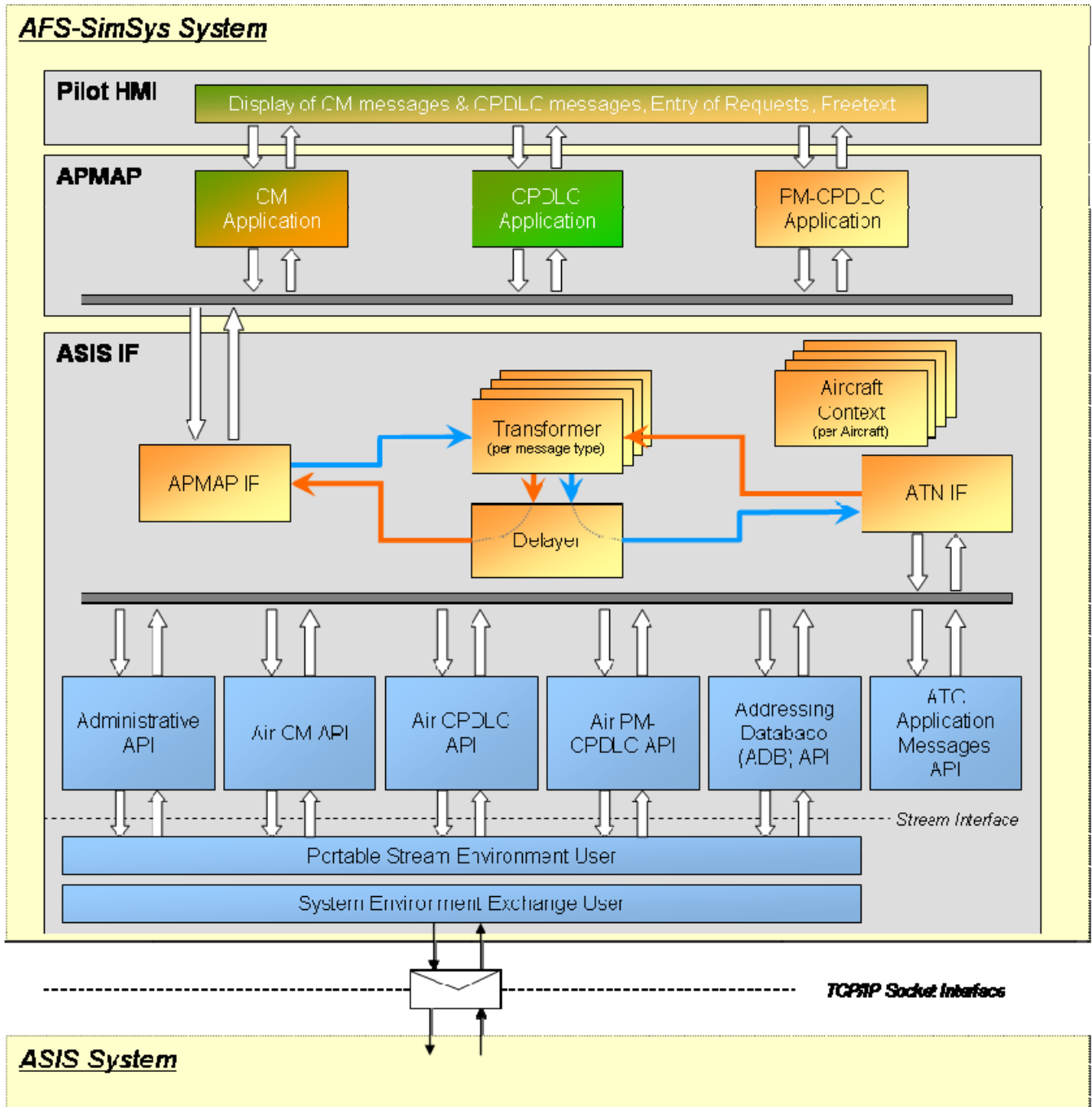


Abb. 5: Data Link Module des AFS-SimSys (grün: vorhandene Module, orange: entwickelte Module, blau: beschaffte Module)

stützung von speziellem Data Link-Meldungen im OLDI-Format (LOF und NAN) [14] erweitert.

2.2.2 Neuentwickelte Software

Im Rahmen des Projekts DL-Center wurde der AFS um eine „ATN-Schnittstelle“ für die Bord-Boden Kommunikation via DataLink erweitert. Diese besteht aus den Komponenten ASIS (im Rahmen des Projekts beschafft) und dem ASIS-Interface (vom Bereich F&E entwickelt).

Im AFS ist die Data Link-Funktionalität auf verschiedene Module verteilt (s. Abb. 5). Die Data Link Applikationen CM, CPDLC und PMCPDLC des Luftfahrzeugs sind im Modul APMAP (ATN-Pseudopilot Mapping Function) realisiert. Dort liegen die in der Link 2000+ Baseline ([14]) definierten CM-, CPDLC- und PMCPDLC-Meldungen in einer internen Darstellung vor und werden über ein APMAP-eigenes Interface versendet und empfangen. Die Anzeige und Eingabe der Data Link Meldungen, sowie die Anzeige des Data Link Status erfolgen am AFS-Piloten-HMI [12].

Den Zugang zum ATN bietet das ASIS-System (siehe. 2.1). Dort ist der ATN-Protokollstack implementiert. Dem Nutzer stehen eine Reihe von Programmierschnittstellen (APIs) zur Verfügung, um CM, CPDLC und PMCPDLC Meldungen via ATN zu „versenden“ und zu „empfangen“ (diese wurden im Rahmen des Projekts DLC beschafft, [4]).

Um vom AFS in die „ATN Formatwelt“ zu gelangen, wurde das ASIS-IF erstellt. Es ist das Verbindungsglied zwischen APMAP und ASIS. Data Link Meldungen in APMAP-interner Darstellung werden vom Piloten empfangen (APMAP IF), in die ASIS-interne Darstellung transformiert (Transformer) und an die jeweiligen APIs weitergegeben (ATN IF). Umgekehrt werden Data Link Meldungen vom ASIS empfangen, von ASIS- in APMAP-interne Darstellung transformiert und zum APMAP (=Piloten) gesendet. Da die Kommunikation asynchron verläuft, müssen pro ausgerüstetem Flugzeug Kontext-Information (Modul „Aircraft Context“) gehalten werden. Weiterhin können Data Link Meldungen im ASIS-IF um eine konstante konfigurierbare Zeit verzögert werden (Modul „Delayer“). Dies ermöglicht eine hinreichend einfache Simulation von Laufzeiten im ATN, da ohnehin noch die variablen Reaktionszeiten des Piloten in die (letztlich vom Lotsen bemerkte) Meldungs-Antwortzeiten eingehen.

3. Verifikation (Validierung 1) in Langen

Im Rahmen des Projekts ist eine zweigeteilte Validierung vorgesehen, von der der erste Teil eine Verifikation/Optimierung im Januar 09 in Langen war [1]. Es wurde vereinbart, die Maßnahme in Langen mit der am VAFORIT Testbed verfügbaren Infrastruktur durchzuführen.

Unter Beteiligung von vier Lotsen aus Karlsruhe wurden bei der Verifikation in Langen daher lediglich zwei Sektoren „besetzt“, also jeweils zwei Piloten- sowie zwei Lotsen-Arbeitsplätze realisiert. Über den Supervisor (AFS/SimSys) bzw. einen „Adjacent Controller“ ließ sich zusätzlich der Verkehr in den benachbarten Lufträumen beeinflussen.

Unter den gegebenen Randbedingungen (Zielfunktionalität, aber deutlich reduzierte Infrastruktur und dementsprechend vereinfachte Verkehrsszenarien) konnte für diese erste Stufe nicht von einer Validierung im Sinne der Definition der „Eurocontrol Operational Concept Validation Methodology (OCVM)“ gesprochen werden. Diese Methode beinhaltet die Bewertung eines Arbeitssystems (also des technischen Systems plus Verfahren plus Bediener) im Hinblick auf seinen entwickelten Nutzen. Hierzu wären Kriterien wie Arbeitslast, Situationsbewusstsein, Frustration etc. zu erfassen gewesen, und eine deutlich realistischere Arbeitsumgebung mit einer größeren Zahl gearbeiteten Sektoren sowie Koordinationen nötig gewesen.

Durchaus aber konnte so eine grundlegende Verifikation von bestehenden Verfahren und System und eine erste Eingewöhnung erfolgen. Zielsetzung der bereits durchgeführten „Validierung 1“ in Langen war

- die Verifikation der Arbeitsverfahren, also die Überprüfung, ob die vorliegenden Arbeitsverfahren so angewandt werden können, und
- die Verifikation der SW-Realisierung, also die Überprüfung ob die realisierte DL-Funktionalität den Anforderungen aus betrieblicher Seite entspricht

3.1 AFS-Konfiguration

Für die Validierung wurde am AFS folgende Umgebung für VAFORIT konfiguriert:

- Radardaten (SSR) werden für alle Flugziele als Asterix Plot-Meldungen generiert (simuliertes RADNET)
- Flugpläne (IFPLs) werden für alle Flugziele geschickt, die später in die Zentrale „Rhein“ fliegen werden (simulierte CFMU)
- Grundlegende OLDI-Kommunikation mit allen Nachbarzentralen (also Maastricht, Schweiz, München, Bremen, Prag, Kopenhagen, Malmö, Warschau, Düsseldorf) sowie der unterhalb Rhein UIR liegenden Zentrale Langen ACC wird nachgebildet,
- Data Link Messages (DLIC, ACL {clearances und requests}, ACM) werden generiert bzw. verarbeitet.

Dazu wurde größtenteils vorhandene technische Infrastruktur im Bereich F&E (AFS Testsystem, IES) genutzt, wobei (ähnlich wie bei SimSys-P1, s. [10]) eine Kopplung mit dem Forschungssimulator AFS (Advanced Function Simulator) genutzt wird. Der AFS stellt auf diese Weise das Umfeld des VAFORIT-Systems dar und stellt die Simulationsdaten in einer Form zur Verfügung, wie sie auch als Live-Daten vom VAFORIT System an den Schnittstellen zur realen Welt erwartet werden.

Damit waren keine Infrastruktur-Erweiterungen am VAFORIT- System erforderlich. Konkret bedeutet das: über zwei physikalische Datenleitungen – eine Ethernet-Leitung und eine X.21 Leitung, die beide bereits existieren, werden die simulierten Daten des AFS in das VAFORIT System geleitet. Auf diesen beiden Leitungen werden drei Arten von Daten ausgetauscht: Surveillance-Daten¹³, Flugplaninformationen¹⁴ und die Kommunikation zu entsprechend ausgerüsteten Nachbarzentralen via OLDI¹⁵. Data Link-Meldungen im proprietären Format (ASIS-

API¹⁶), [4], werden über eine weitere Ethernet-Leitung zwischen AFS und ASIS ausgetauscht.

Neu an dieser Konfiguration ist, dass der AFS Flugzeuge simuliert, die mit Data Link ausgerüstet sind, und dass die Piloten auf entsprechende Freigaben antworten (WILCO, UNABLE, STANDBY) bzw. sog. Requests für Freigaben senden können.

3.2 Luftraumstruktur

Aufgrund der limitierten Hardware-Ressourcen am Testbed wurde beschlossen, nur zwei Sektoren der Rhein UIR zu besetzen (NTM und FFM, jeweils von FL245 bis UNL → Konfiguration „Säule“) und den gesamten umgebenden Luftraum in einem „Adjacent“ zusammenzufassen (s. Abb. 6). Bodenseitig war hier, allerdings nur sehr bedingte, Verkehrssteuerung möglich, bedarfsweise wurde über den AFS-Supervisor das Flugverhalten der Flugzeuge beeinflusst. Dieser „Adjacent“ beinhaltete also alle Nachbarzentralen (Maastricht, Schweiz, München, Bremen, Prag, Kopenhagen, Malmö, Warschau, Düsseldorf sowie Langen). Eine OLDI-Kommunikation mit Data Link-relevanten Meldungen (LOF, NAN) wurde in dieser ersten Validierung nicht simuliert, eine Einbuchung in das Karlsruher System erfolgte rein Flugzeug-initiiert (analog zur späteren Situation mit Zentralen, die kein Data Link haben bzw. wo keine entsprechende OLDI-Kommunikation unterstützt wird).

Da am VAFORIT-Testbed kein Sprachkommunikationssystem vorhanden ist, wurde der Sprechfunk zwischen Lotsen und Piloten mit Hand-sprechfunkgeräten durchgeführt.

¹³ Asterix Plot-Meldungen wie aus dem RADNET

¹⁴ IFPL-Meldungen der simulierten CFMU

¹⁵ On-Line Data Interchange, Koordinationsmeldungen zu entsprechend ausgerüsteten Nachbar-Zentralen

¹⁶ API (Application Programming Interface) des ASIS (Aircraft Simulator System)

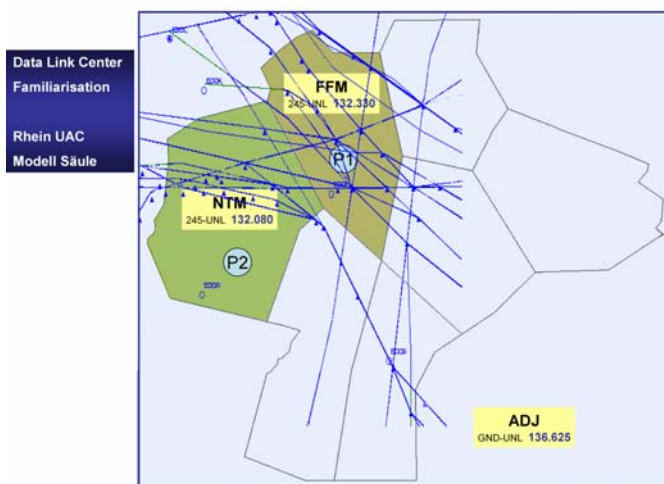


Abb. 6: Luftraumstruktur für die Data Link Validierung 1 und Flugspuren (Beispiel: Szenario „11“)

3.3 Verkehrsszenarien

Basis der in der Validierung zum Einsatz kommenden Verkehrsbeispiele sollten vorhandene Szenarien aus Karlsruhe sein, da diese bereits in einer (bis auf Data Link) vergleichbaren Konfiguration der Einzelsysteme gelaufen waren. Aus diesen Trainings-Szenarien wurden drei Szenarien für die Validierung 1 ausgewählt und an die verwendete Konfiguration (nur 2 „besetzte“ Sektoren) angepasst:

- Beschränkung nur auf Verkehr, der durch die Sektoren NTM und FFM fliegt,
- Korrektur der Sektor-Einflughöhen (NFL) für Verkehr aus benachbarten Sektoren auf „typische“ Werte, da dort keine Lotsen und Piloten arbeiteten,
- Anpassung der Pilotenzuordnung und Einfügung von vordefinierten Pilotenkommandos für die Phase vor Eintritt in die kontrollierten Sektoren,
- Anpassung der Szenarien auf Data Link (adaptierte Sektorfrequenzen, max. 100 Flugzeuge ausgerüstet mit Data Link).
- Reduktion des Verkehrs nach Vorgabe aus betrieblicher Sicht.

Zusätzlich wurden durch Änderung von Rufzeichen weitere Varianten der Szenarien erstellt. Diese für eine mehrtägige Simulation verhältnismäßig kleine Zahl von Verkehrsszenarien war in diesem Fall ausreichend, da es hier nicht um systematische Simulationen ging.

Der Data Link Ausrüstungsgrad der Flugzeuge lag bei ca. 80% des Gesamtverkehrs.

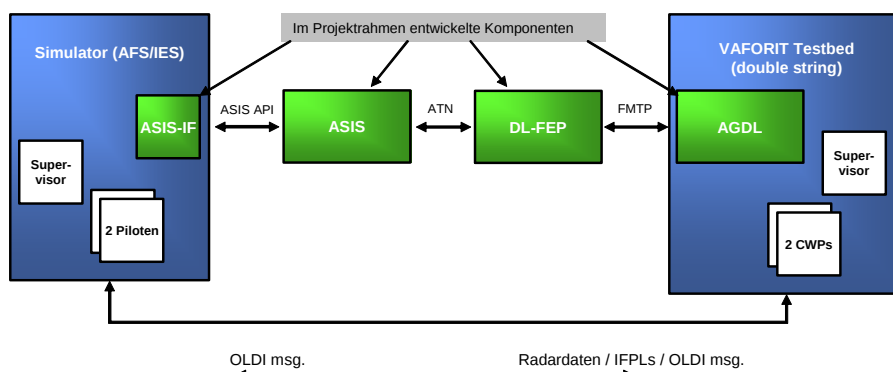
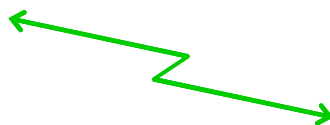


Abb. 7: Infrastruktur am VAFORIT Testbed für die Validierung 1 in Langen

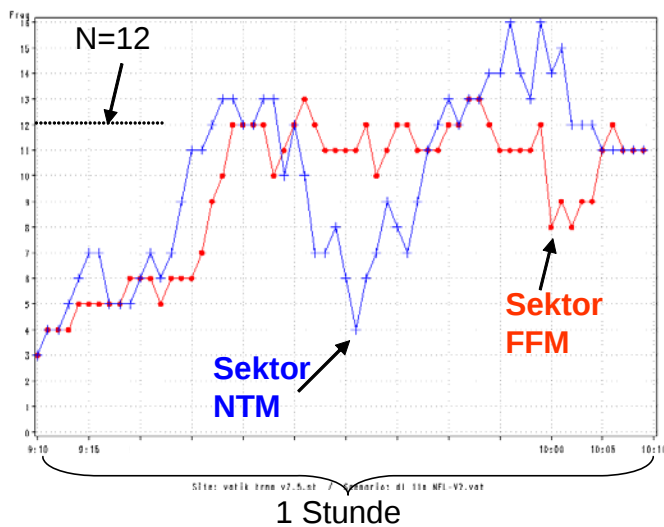


Abb. 8: Typische Anzahl von Luftfahrzeugen in den beiden besetzten Sektoren (Beispiel: Szenario „11“)

Wie aus Abb. 8 ersichtlich, waren während eines typischen Simulationslaufs immerhin rund ein Dutzend Luftfahrzeuge in jedem Sektor, so dass rund 10 Lfz. mit Data Link ausgerüstet waren. Es konnten also hinreichend Erkenntnisse zur Data Link Nutzung und -Implementierung gesammelt werden.

3.4 Pilotenverhalten

Bezüglich des Pilotenverhaltens war folgendes Vorgehen verabredet worden:

- Eine Freigabe vom Loten sollte in der Regel mit WILCO beantwortet werden (sofern die Anweisung aus Gründen der Flugzeug-Performance nicht ausgeführt werden kann, wird diese Antwort vom System automatisch in ein UNABLE umgesetzt). Selten sollte die Antwortmöglichkeit UNABLE gegeben werden und STANDBY nur äußerst sporadisch (hierbei ist die spätere Antwort nicht zu vergessen).
- Eine Nachricht, den SSR-Code zu ändern, ist stets mit WILCO zu beantworten.
- Requests für andere Höhen oder DIRECTs können gesendet werden, sofern dies zeitlich möglich ist und sofern es „sinnvoll“ erscheint.
- Freitext-Meldungen sollten wirklich nur gegeben werden, falls „Zeit dafür“ ist, also eher zum Ausprobieren in den Randzeiten der Szenarien.

- Darüber hinaus war vereinbart worden, dass die Reaktion auf eine uplink-Meldung durchaus verzögert gegeben werden sollte (unter Beachtung, dass die Antwort innerhalb von max. 2 Minuten beim Lotsen sein muss). Gelegentlich sollten Freigaben unbeantwortet bleiben und der Dialog damit ins *timeout* laufen.

3.5 Ergebnisse der Verifikation in Langen

Mit dem weiterentwickelten AFS-SimSys konnte ein Simulationssystem bereitgestellt werden, mit dem die Data Link-Validierung 1 in Langen erfolgreich durchgeführt werden konnte. In den vier Tagen wurden mit der problemlos laufenden Infrastruktur mehr als sieben Stunden Verkehr simuliert und von Lotsen der Karlsruher "task force" mit den vorgesehenen Data Link Betriebsverfahren überprüft. Ergebnis dieser Optimierung sind lediglich geringe Überarbeitungen an der Bediener-Oberfläche und kleine Ergänzungen zu Betriebsverfahren, um den beauftragten Soll-Zustand herzustellen.

Die Simulation war letztlich auch durch die enge und gute, ergebnisorientierte Zusammenarbeit aller Beteiligten ein Erfolg. Dies betrifft sowohl die verschiedenen Mitarbeiter im Bereich F&E als auch weitere DFS-Bereiche bei der Erstellung der Szenarien, bei der Integration aller benötigten Komponenten und bei der übergeordneten Koordination der Aktivitäten.

4 Fazit und Ausblick

Der Bereich F&E hat das Projekt „Data Link Center“ des GB CC in den vergangenen Jahren tatkräftig in den Bereichen Simulationsinfrastruktur, Simulationsvorbereitung, -durchführung und -auswertung sowie Test & Integration unterstützt. Neben der reinen Unterstützungsleistung im Bereich Test- und Integrationsmanagement, was eher weniger im Fokus F&E liegt, sehen wir den Transfer unseres Know-hows aus früheren Projekten in die betriebliche Nutzung, die Realisierung eines SimSys für Data Link sowie die Zusammenarbeit bei der Verifikation in Langen als wertvollstes Ergebnis dieser Aktivität.

Eine Validierung Teil 2 wird ebenfalls am VAFORIT Testbed in Langen stattfinden. Dabei wird der Fokus auf der Überprüfung der implementierten Änderungen an der Benutzer-

Oberfläche und der angepassten Betriebsverfahren liegen.

Der SimSys in Karlsruhe, der bereits jetzt schon dort verwendet wird, wird nach der Einrüstung von Data Link in VAFORIT für das Training ebenfalls entsprechend zu erweitern sein.

Die Weiterentwicklungen des AFS/SimSys und das bei dessen Integration erworbene know-how ist eine gute Basis für die Evolution der Produkte des ATM-Simulatorzentrums z.B. für SimSys iCAS oder SimSys Karlsruhe.

Abkürzungen

ACC	Area Control Centre (Bezirkskontrollstelle)
ACL	ATC Clearances (Freigaben per Data Link)
ACM	ATC Communication Management (Frequenzübergaben per Data Link)
AES	Airborne End System
AFAME	.J. (ATN Message Emulation Software for ATN CM/ADS/ CPC Development)
AFS	Advanced Function Simulator (Realzeitsimulator)
AGDL	Air Ground Data Link (Erweiterung P1/VAFORIT um Data Link)
API	Application Programming Interface
APMAP	ATN-Pseudo Pilot Mapping Function
ASIS	Aircraft Simulator System (Erweiterung DL-FEP für Simulationen)
ATN	Aeronautical Telecommunication Network (ICAO-Standard)
CFMU	Central Flow Management Unit (Europäische Zentrale zur Steuerung und Optimierung der europäischen Luftraumnutzung in Brüssel)
CM	Context Management
CPDLC	Controller-Pilot Data Link Communication
CSCI	Computer Software Configuration Item
DL-FEP	Data Link Front End Processor
DLIC	Data Link Initiation Capability (Data Link Applikation)
GES	Ground End System
IDRP	Inter Domain Routing Protocol (im ATN genutzt)
IFPL	Initial Flight Plan
OLDI	Online Data Interchange (Automatischer Austausch von Flugdaten)
PMCPDLC	Protected Mode CPDLC
RADNET	Radar Data Network (Integriertes Netz zum Austausch von Radardaten)
SSR	Secondary Surveillance Radar
UAC	Upper Area Control Center, Kontrollstelle im Oberen Luftraum (oberhalb FL 245)
VADS	Very Advanced Display System
VAN	Value Added Network (DFS Kommunikationsnetz)

Nachwort

Hinter der Arbeit, die in diesem Bericht vorgestellt wurde, standen etliche weitere Mitarbeiter aus dem Bereich F&E – an Alle ein großes Dankeschön an dieser Stelle!



Abb.9 Das F&E-Team „Datalink Center“

Referenzen

[1]	30.03.09	Thomas Heß, Sylvia Dietz: Data Link Center Validierungskonzept, Version 1.3
[2]	15.12.08	Stephan Herr, Dr. Andreas Herber: Zusammenfassung der Ergebnisse im Projekt MSP-D/L, TE im Fokus 2/08
[3]	08.12.08	Dr. Andreas Herber, Sylvia Dietz: R2 Integration in Langen, Integration Plan
[4]	11.09.08	egisavia: DL-FEP Test System ICD – Annex 7: Air ATN API ICD
[5]	26.05.08	Dr. Andreas Herber: ASIS Integration in Langen, Integration Plan
[6]	20.03.08	Dr. Andreas Herber: R1 Integration in Langen, Integration Test Description / Integration Test Result
[7]	05.02.08	Dr. Andreas Herber: R1 Integration in Langen, Integration Plan
[8]	07.11.06	EUROCONTROL LINK 2000+ Baseline (Ed. 1.4)
[9]	18.05.06	Dr. Andreas Herber, Stefan Stanzel: Integration & Test Concept, Master Document
[10]	12.12.05	Alexander Grimm, Dr. Ralph Leemüller, Dr. Thomas Bierwagen: Die SimSys Systeme und deren Nutzung für VAFORIT in Karlsruhe, TE im Fokus 2/05
[11]	06.12.04	Stefan Tenoort, Thomas Heß: VAFORIT Optimierung am AFS, TE im Fokus 2/04
[12]	25.06.04	Andreas Nees, Dr. Andreas Herber, Dr. Manfred Korn: VODAL – Erweiterung des Forschungssimulators auf Data Link, TE im Fokus 1/04
[13]	07.07.03	Dr. Andreas Herber: TE-Support für das Projekt VAFORIT-EVA, TE im Fokus 1/03
[14]	31.10.03	EUROCONTROL: Standard Document For On-Line Data Interchange (OLDI), proposed issue 3.0

Schnellzeitsimulation zur Überprüfung einer Trennflächenanhebung im Bereich Rhein UAC, München ACC/UAC und Bremen ACC

Jascha Runow, TES

Hintergrund

In jüngster Vergangenheit führte die wirtschaftliche Entwicklung der osteuropäischen Länder zu hohen Wachstumsraten im Luftverkehr mit erheblichen Auswirkungen auf die Verkehrsmengen und die Verkehrsabwicklung in den Sektoren der Ost-EBG der Kontrollzentrale Karlsruhe.

Die DFS-Niederlassungen Karlsruhe, Bremen und München beauftragten Ende Juli 2008 eine Schnellzeitsimulation zur Überprüfung von Kurzfristmaßnahmen, um mögliche Überlastungs- und Verspätungssituationen in den betroffenen Sektoren zu vermeiden.

Es sollten die Auswirkungen einer Trennflächenanhebung von FL285 auf FL315 zwischen den Sektoren der ACCs München und Bremen und den entsprechenden Sektoren des UAC Karlsruhe sowie des Verzichts auf eine Sektorteilung in der Ost-EBG Karlsruhe bestimmt werden.

Ergänzend wurde anhand eines gesteigerten Verkehrsaufkommens simuliert, wie nachhaltig sich die Trennflächenanhebung darstellt.

Eine Anschlussstudie beinhaltet die Überprüfung weiterer verschiedener Sektorkonfigurationen.

Ablauf

Zur Analyse der Luftraumstruktur wurde das Schnellzeitsimulationsprogramm TAAM verwendet. Um die Auswirkungen einer neuen Luftraumstruktur analysieren zu können, wurden verschiedene Simulationsszenarios entwickelt:

- Ein Referenzszenario (REF), das als Vergleichsbasis dient und die Luftraumstruktur zu Beginn der Studie mit Stand Juli 2008 abbildet.
- Zwei Zukunftsszenarios (FUT1, FUT2), die auf einer neuen Luftraumstruktur bei gleicher (FUT1) beziehungsweise gesteigerter Verkehrsmenge (FUT2) im Vergleich zum REF basieren.

Verkehrsbeispiel

Als Verkehrsbeispiel wurde seitens der Niederlassung Karlsruhe der 04. Juli 2008 ausgewählt. Dieser repräsentiert ein typisches Verkehrsaufkommen und diente somit als Basis für die Simulationsszenarios. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine gute Vergleichbarkeit hinsichtlich der zu erhebenden Simulationsdaten. Sie erlaubt Rückschlüsse, ob eine neue Luftraumstruktur bei gleicher Verkehrsbelastung Vorteile gegenüber der heutigen Luftraumstruktur bietet. Würden gleichzeitig Änderungen in der Luftraumstruktur und am Verkehrsbeispiel vorgenommen, wäre ein unmittelbarer Vergleich der Simulationsszenarios deutlich schwieriger.

Das Lage- und Informationszentrum LIZ der DFS stellte die Flugplandaten dieses 04. Juli 2008 dem Bereich F&E zur Verfügung.

Rahmenbedingungen

Neben dem Verkehrsbeispiel wurden eine Reihe weiterer Randbedingungen für die Simulation festgelegt, unter anderem:

- Betriebsrichtung West für alle Flughäfen
- Berücksichtigung aller größeren Flughäfen in der Umgebung des Messgebiets mit den in der AIP veröffentlichten SIDs und STARs
- Implementierung kleinerer Flugplätze als Point-Airports (ohne Berücksichtigung von Flughafen-Layout, SIDs und STARs)
- Berücksichtigung der Flugbeschränkungsgebiete entsprechend ihrer Aktivierungszeiten am Verkehrstag
- Berücksichtigung aller relevanten Übergabebedingungen aus den LOAs der jeweiligen Niederlassungen
- 5 NM laterale und 1000 ft vertikale Staffellung im En-route Bereich
- 3 NM laterale und 1000 ft vertikale Staffellung im Flughafennahbereich
- RVSM Staffellung
- Wirbelschleppenstaffellung

Auswertekriterien

Zur Bewertung der Simulationsszenarios stehen verschiedene Auswertekriterien zur Verfügung, mit denen sich unterschiedliche Luftraumstrukturen miteinander vergleichen lassen. Darüber hinaus dienen sie zur Lokalisierung von Engpässen innerhalb eines Systems, wodurch gezielte Optimierungsmaßnahmen angewendet werden können. Im Rahmen dieses Projekts wurden verschiedene Auswertekriterien zur Analyse des potentiellen Nutzens einer Trennflächenanhebung herangezogen.

Für die Auswertung wurde dabei ein Auswertzeitraum von 0500 bis 1900 UTC festgelegt und dafür folgende Daten aus den Simulationsaufzeichnungen extrahiert und bewertet:

- **Verkehrsverteilung:** Die Anzahl der Flugbewegungen in einem Sektor pro Stunde ist ein wichtiges Kriterium, um die zu kontrollierende Verkehrsbelastung eines Sektors abschätzen zu können. Die Auswertung der Flugbewegungen je Sektor ist wiederum unterteilt in eine Betrachtung der durchschnittlichen und maximalen Anzahl zu kontrollierender Flugbewegungen innerhalb einer Stunde. Weiterhin wird die Anzahl der maximal gleichzeitig zu kontrollierenden Flugbewegungen in einem Sektor ausgewiesen.
- **Arbeitslast:** Die Berechnung der Sektorbelastung basiert auf einem generischen Arbeitslastmodell in Form von Arbeitslastpunkten, welches den Output des Simulationstools verarbeitet. Dieses Workload-Modell wird von verschiedenen TAAM-Nutzern zur Analyse von Luftraummodellen beziehungsweise Gutachten genutzt. Die Ermittlung der Arbeitslast eines Kontrollsektors setzt sich dabei aus den folgenden Komponenten zusammen:
 - Anzahl der Flugbewegungen und Verweildauer der Flugzeuge
 - Anzahl und Gewichtung der vom Simulator erfassten potentiellen Konflikte
 - Art des Koordinationsaufwands
 - Arbeitsaufwand für Vertikalbewegungen

- **Produktivität:** Zur Beurteilung der Produktivität wird als Kriterium ‚flight hours controlled per sector hour‘ in der Bewertung berücksichtigt. Der Geschäftsbereich Center hat hierbei als ‚Richtwerte für die Zielproduktivität‘ einen Wert von 2,5 für ACC und 3,8 für UAC festgelegt. Für die Produktivität steht der ermittelte Durchschnittswert für jeden Sektor, der Rückschlüsse auf die zu erwartende Produktivität eines Kontrollsektors erlaubt.

Referenzszenario

Das Referenzszenario basiert auf der Mitte des Jahres 2008 gültigen Luftraumstruktur und dient im Rahmen der vorgenommenen Studie in erster Linie als Vergleichsbasis gegenüber der veränderten Struktur.

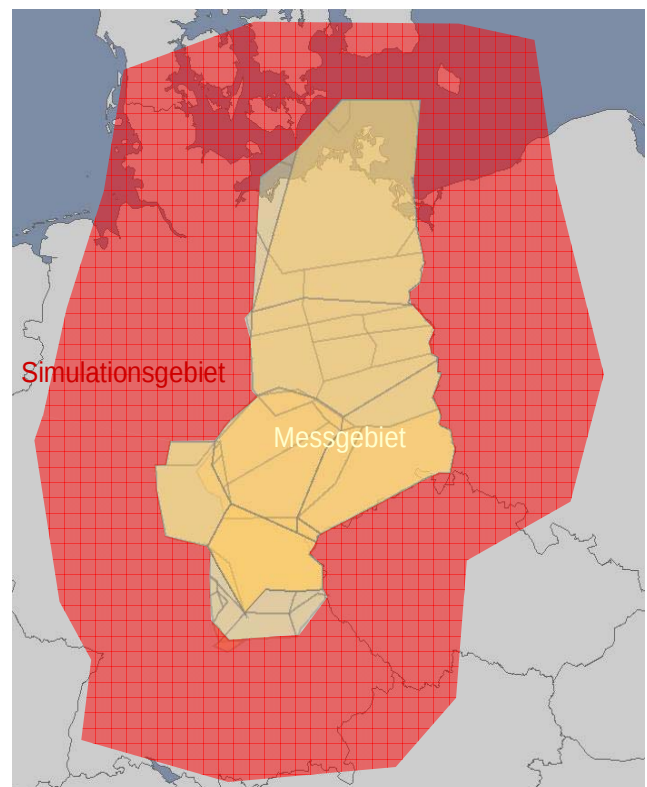


Abbildung 1: Simulations- und Messgebiet

Der Nutzen eines solchen Vorgehens besteht einerseits darin, dass das Referenzszenario zur Kalibrierung der Simulation herangezogen wird, andererseits dass die im Simulator abgebildete Situation mit realen Daten vergleichbar ist.

Die in der Grafik gelb eingefärbten Kontrollsektoren zeigen das Messgebiet. Innerhalb dieses Bereichs wurden alle Sektoren hinsichtlich der Anzahl der Flugbewegungen und der Arbeitslast pro Sektor ausgewertet. Das Messgebiet der Simulation umfasste dabei die Sektoren der Ost-EBG des UAC Karlsruhe (SPEH, SALH, SALT, HVLH, HVL, OSEH), den Bereich der Sektoren Erlangen (ERLH, ERLT) und Fulda (FULL, FULH) sowie die darunterliegenden Sektoren der Kontrollzentralen München (FRKH, SASH, TRGH) und Bremen (FLG, BOR, MAR, MRZ). Für den Bereich des Thüringen-Sektors wurde in der Simulation bereits die seit März diesen Jahres implementierte Teilung in TRGHW und TRGHE berücksichtigt.

Das rot eingefärbte Simulationsgebiet wurde absichtlich weitaus größer gewählt, um möglichst realistische Ein- und Ausflugbedingungen für alle in der Simulation ausgewerteten Sektoren zu gewährleisten.

Zukunftsszenario

In einem ersten Zukunftsszenario (FUT1) wurde eine Anhebung der Trennfläche zwischen den Sektoren der ACCs München und Bremen zu denen des UAC Karlsruhe von FL285 auf FL315 beziehungsweise eine Absenkung der Trennfläche von FL325 auf FL315 (ERL) vorgenommen. Überprüft werden sollte in diesem Szenario, ob auf eine weitere Teilung der Sektoren der Karlsruher Ost-EBG (FL315 - UNL) verzichtet werden kann. Von den an der Simulation beteiligten Niederlassungen wurden hierfür neue Übergabebedingungen erarbeitet und berücksichtigt.

Das zweite Zukunftsszenario (FUT2) entspricht mit Ausnahme des Verkehrsbeispiels dem ersten Zukunftsszenario. Es sollte mit Hilfe eines um linear 10% gesteigerten Verkehrsaufkommens gegenüber dem FUT1 getestet werden, ob und inwieweit bei ansteigenden Flugbewegungen zusätzliche Sektoren notwendig sind. Um die 10%ige Verkehrssteigerung zu erreichen, wurden vorhandene Flüge dupliziert und zeitlich versetzt. Dabei wurde berücksichtigt, dass der zeitliche Versatz eines Fluges nicht über die Zeitstunde hinaus in die Vor- beziehungsweise Folgestunde verschoben wurde. Eine Steigerung des Verkehrs über den gesamten Flugplan kann dazu führen, dass die Anzahl der Flugbewegungen in den einzelnen Sektoren insbesondere in den

jeweiligen Spitzenstunden unterschiedlich stark zunimmt. Diese Verkehrszunahme kann in Verbindung mit den sich daraus ergebenden neuen Verkehrskonstellationen zu einem unterschiedlich starken Anstieg der Arbeitslast führen.

Lower Sectors	REF	FUT
MRZ	<u>285</u> 165	<u>315</u> 165
MAR	<u>285</u> 135	<u>315</u> 135
BOR	<u>285</u> 165	<u>315</u> 165
FLG	<u>285</u> 135	<u>315</u> 135
TRGHW	<u>285</u> 195	<u>315</u> 195
TRGHE	<u>285</u> 195	<u>315</u> 195
SASH	<u>285</u> 195	<u>315</u> 195
FRKH	<u>265</u> 195	<u>265</u> 195
Upper Sectors	REF	FUT
OSEH	<u>UNL</u> 285	<u>UNL</u> 315
HVL	<u>UNL</u> 355	nicht
HVLH	<u>355</u> 285	<u>UNL</u> 315
SALT	<u>UNL</u> 345	nicht
SALH	<u>345</u> 285	<u>UNL</u> 315
SPEH	<u>UNL</u> 285	<u>UNL</u> 315
ERLT	<u>UNL</u> 325	<u>UNL</u> 315
ERLH	<u>325</u> 265	<u>315</u> 265
FULH	<u>UNL</u> 345	<u>UNL</u> 345
FULL	<u>345</u> 245	<u>345</u> 245

Abbildung 2: Trennflächen der ausgewerteten Sektoren

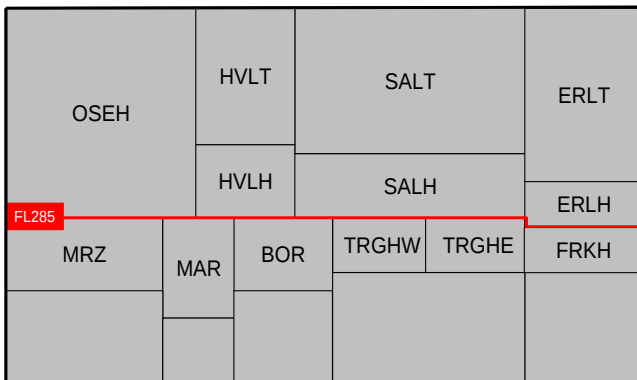


Abbildung 3: Sektorstruktur Simulationsszenarium REF

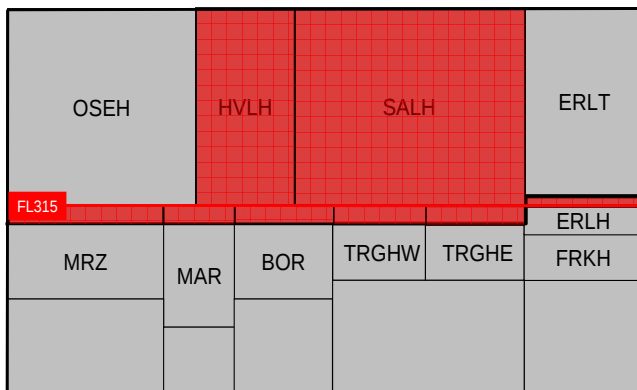


Abbildung 4: Sektorstruktur Simulationsszenarium FUT

Simulationsergebnisse

Ziel der Simulation war es zu überprüfen, welche Auswirkungen sich durch eine Trennflächenverschiebung im Bereich der Ost-EBG des UAC Karlsruhe ergeben und ob in Folge der Trennflächenverschiebung für die heute vertikal zweigeteilten Sektoren HVLH/HVLT und SALH/SALT jeweils ein Sektor zur Verkehrsabwicklung ausreichend ist.

Für alle Sektoren bis zur neuen Trennfläche FL315, das heißt:

- TRGHW, TRGHE, SASH, FRKH der Kontrollzentrale München
- MAR, BOR, FLG, MRZ der Kontrollzentrale Bremen,

ergaben sich aus der Simulation heraus Verkehrszahlen und Arbeitslastwerte, die nicht gegen eine Anhebung der Trennfläche auf FL315 sprechen.

Im Detail wurden in den Münchener Sektoren nach der Trennflächenanhebung lediglich im Sektor TRGHW in der Spitzenstunde ein hoher Arbeitslastwert im Belastungsbereich erreicht. Erwartungsgemäß ergaben sich durch die Anhebung auch für die umliegenden Sektoren TRGHE und SASH höhere Verkehrszahlen und Arbeitslastwerte, es wurden allerdings durchweg moderate Werte erreicht. Für den Sektor FRKH waren keine messbaren Unterschiede feststellbar, er wurde in seinen Dimensionen nicht verändert.

Ein ähnliches Ergebnis ergab sich bei Auswertung des nördlichen Simulationsgebiets. Nach Anhebung der Trennfläche zwischen den Bremer und Karlsruher Sektoren von FL285 auf FL315 stiegen, wie erwartet, die Anzahl der Flugbewegungen und die Arbeitslastwerte in den Sektoren MAR, BOR, FLG an. Hauptanteile an der Verkehrssteigerung im FLG-Sektor hatten dabei neben einer Vielzahl einzelner europäischer Verbindungen vornehmlich zusätzliche Verkehrsströme aus Fernost mit Ziel Frankfurt (+29 Flugbewegungen), aus Skandinavien mit Destination Prag (+13 Flugbewegungen) und aus Polen mit Zielen in England (+4 Flugbewegungen). Die Verkehrssteigerung vom Referenz- zum Zukunftsszenario wurde im benachbarten BOR-Sektor dagegen im Wesentlichen durch Verbindungen von und nach Hamburg hervorgerufen. Eine auffällig starke Zunahme stellte dabei der Hamburg-Verkehr von und nach Osteuropa dar (+20 Flugbewegungen). Diese zusätzlichen Flugprofile wurden vor der Trennflächenanhebung vom oberen Luftraum gearbeitet. Im Sektor MRZ ergaben sich in den Simulationsszenarios REF und FUT dagegen nahezu identische Verkehrszahlen.

Für alle Sektoren oberhalb der neuen Trennfläche FL315, das heißt

- SPEH, ERLH, ERLT, SALH, SALT, HVLH, HVLH, OSEH der Kontrollzentrale Karlsruhe,

trat im Gegensatz dazu der umgekehrte Effekt ein. Es wurden für die Sektoren erwartungsgemäß geringere Verkehrs- und Arbeitslastwerte erreicht.

Durch die höhere Vertikalausdehnung des Sektors SASH wurde beispielsweise der darüberliegende Sektor SPEH entsprechend entlastet.

Für den Sektor ERLH wurde im Mittel ein leichter Rückgang der Anzahl der Flugbewegungen im Zukunftsszenario erkennbar. Aufgrund des Trennflächenwechsels von FL325 auf FL315 zwischen ERLH und ERLT wurde die Flugfläche FL320 dem ERLT-Sektor zugeordnet. Für den bereits im Referenzszenario relativ hoch belasteten Sektor ERLT führte diese zusätzliche Flugfläche zu höheren Verkehrszahlen und damit einhergehend zu einem etwas höheren Spitzenlastungswert. Im Gegenzug wurde der vergleichsweise weniger ausgelastete ERLH-Sektor durch Wegfall der Flugfläche FL320 geringfügig entlastet.

Aktuell ist der SAL-Sektor mit einem DFL345 zweigeteilt in SALH und SALT. Ziel der Simulation war es, durch die Anhebung der Untergrenze des SALH von FL285 auf FL315 eine vertikale Teilung des Sektors zu vermeiden. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden für den SAL-Sektor im Referenzmodell die Werte mit und ohne Teilung angegeben. Für den zusammen gelegten Sektor (FL285 - UNL) wurden dabei sehr hohe Verkehrszahlen und deutlich zu hohe Arbeitslastwerte gemessen. Unter Berücksichtigung des verwendeten Verkehrsbeispiels ist dagegen bei reduzierter Vertikalausdehnung von FL315 – UNL im Bereich SAL ein Sektor ausreichend. Dadurch wurden für den Sektor deutlich günstigere Werte erreicht.

Auch der HVL-Sektor ist derzeit zweigeteilt, im Gegensatz zu SAL allerdings mit einem DFL355 zwischen HVLH und HVL. Im Falle eines zusammen gelegten Sektors, das heißt, von der heutigen Untergrenze FL285 bis UNL, ergeben sich sehr hohe Verkehrszahlen und Arbeitslastwerte. Die Arbeitslastschwellenwerte wurden sowohl im Durchschnitt als auch im Peak deutlich überschritten, was die heute bestehende Teilung des Sektors notwendig macht. Auch im Zukunftsszenario mit einem angehobenen DFL315 war der Sektor HVLH von kontinuierlich hohen Verkehrszahlen geprägt. Im Mittel wurde bei neuer Trennfläche FL315 der Grenzlastbereich erreicht und einmal am Tag der Spitzenlastbereich geringfügig überschritten. Im Sektor OSEH dagegen reduzierte sich durch die Anhebung die Anzahl der Flugbewegungen. In Folge dessen nahm die Arbeitslast ebenfalls ab.

In einem zweiten Zukunftsszenario (FUT2) wurde das Verkehrsbeispiel linear um 10% erhöht, um Erkenntnisse über die Zukunftsfähigkeit der neuen Sektorisierung mit angehobener Trennfläche FL315 zu erhalten.

Für den Sektor HVLH wurde bereits im ersten Zukunftsszenario ein hoher Spitzenlastwert erreicht. Nach Steigerung des Verkehrsaufkommens um 10% lag im HVLH der durchschnittliche Arbeitslastwert im Belastungsbereich. Der gesteigerte Verkehr führte somit zu Arbeitslastwerten, die eine Teilung des Sektors erforderlich machen. Für die Sektoren TRGHW und ERLT müssten diesbezüglich ebenfalls Maßnahmen ergriffen werden, um Überlastsituationen zu vermeiden. Bereits im ersten Zukunftsszenario wurden hohe Spitzenlastwerte gemessen. Mit erhöhtem Verkehrsvolumen wurde im Sektor TRGHW zusätzlich der durchschnittliche Arbeitslastbereich erreicht, im Sektor ERLT wurde die durchschnittliche Arbeitslastgrenze überschritten.

Zusammenfassung

Die Studie hat gezeigt, dass die Anhebung der Trennfläche von FL285 auf FL315 und der Verzicht auf eine Zweiteilung der Karlsruher Sektoren SAL und HVL als Kurzfristmaßnahme denkbar sind. Abhängig von der zukünftigen Verkehrsentwicklung tragen diese Maßnahmen dazu bei, dass im Bereich SAL und HVL eine Teilung der Sektoren nicht notwendig wird.

Umsetzung

Ende des letzten Jahres hat der Geschäftsbereich Center in Anlehnung an die Simulationsergebnisse die Realisierung der Anhebung der Trennfläche zwischen den Ost-EBGen der Niederlassungen Karlsruhe und München auf FL315 beschlossen. Damit erfolgt ab November 2009 in den Sektoren SASH, TRGH, FRKH in der Niederlassung München sowie in den Sektoren ERLH, SALH und SPEH in der Niederlassung Karlsruhe die Anhebung der Trennflächen von heute FL265 (ERLH) beziehungsweise FL285 (SALH/SPEH) auf FL315. Der Geschäftsbereich Center erhofft sich durch diese Maßnahme, nachfragegerechte Kapazitäten zu schaffen um den Anforderungen der Luftraumnutzer auch in den kommenden Jahren genügen zu können.

Abkürzungen

ACC	Area Control Center
AIP	Aeronautical Information Publication
DFL	Division Flight Level
EBG	Einsatz-Berechtigungsgruppe
FL	Flight Level
FUT	Future Simulation Scenario
LIZ	Lage- und Informationszentrum
LOA	Letter Of Agreement
REF	Reference Simulation Scenario
RVSM	Reduced Vertical Separation Minima
SID	Standard Instrument Departure Route
STAR	Standard Instrument Arrival Route
TAAM	Total Airspace and Airport Modeler
UAC	Upper Area Control Center
UNL	Unlimited
UTC	Universal Time Coordinated
VAFORIT	Very Advanced Flight Data Processing Operational Requirement Implementation

Entwurf einer integrierten Planungsanzeige für den Tower-Controller

Dr. Jörg Bergner, TEA

Vorwort

Der nachfolgende Beitrag basiert auf einer Veröffentlichung anlässlich des Deutschen Luft- und Raumfahrtkongresses im September vergangenen Jahres (Bergner et al. 2008). Er beschreibt die Entwicklung des „WFF TWR-HMI“ für den Platzlotsen (PL-1) im Tower des Frankfurter Flughafens mit heutigem 3-Bahn-System.

In der Zwischenzeit wurden auf der Grundlage dieses Entwurfes und unter Berücksichtigung der aktuellen betrieblichen Anforderungslage HMIs für die Arbeitsplätze PL-CS, PL-W, PL-N sowie PG-T und PG-D abgeleitet. Diese wurden in den Realzeit-Simulationen zum Betriebskonzept TWR/FRA 2011+ in bereits weit mehr als 100h erfolgreich eingesetzt.

Die Entwicklung der Prototypen erfolgte unter der Federführung von F&E und intensiver Beteiligung von Frankfurter Tower-Lotsen, den Bereichen TWR/ST, TWR/SP, TWR/SR, TWR/F-MUC, der Firma delair ATS GmbH sowie dem Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt.

Basierend auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes entwickelt derzeit TM/ST ein Produkt, das als Benutzeroberfläche für TFDPS mit der Inbetriebnahme der neuen Kontrolltürme an den Flughäfen Frankfurt und Berlin Brandenburg International eingeführt werden soll.

1. Kurzfassung

Im Rahmen des nationalen Luftfahrtforschungsprogrammes LUFO III entstand in Zusammenarbeit von delair Air Traffic Systems GmbH und der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH ein Konzept zur kooperativen Planung von An- und Abflügen an einem Großflughafen. Vor der Maßgabe, die knappe Ressource des Start- und Landebahnsystems möglichst optimal auszunutzen, wurden dazu die beiden bereits betrieblich eingesetzten Planungssysteme „4-D Planer“ (Arrival-Manager) und „darts“ (Departure-Manager) miteinander gekoppelt.

Der vorliegende Artikel beschreibt die Entwicklung einer geeigneten Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI), um dem Platzlotsen eines Hub-Airports eine effiziente Abwicklung des Verkehrs gemäß dieser kooperativen Planung zu ermöglichen. Heute werden für die Arrivals und Departures jeweils eigene Systeme eingesetzt und die Darstellung der Flugplaninformation erfolgt auf separaten Monitoren. Sowohl die Gestaltung der HMIs als auch die Interaktionsmöglichkeiten sind sehr unterschiedlich.

Am Beispiel des Flughafen Frankfurts konzentriert sich die Untersuchung daher auf zwei Schwerpunkte. Neben der Vereinheitlichung der graphischen Darstellung und der Interaktionsmöglichkeiten ist das Ziel, dem Lotsen eine möglichst schnelle Erfassung der Planungssituation zu ermöglichen, da sein Hauptaugenmerk auf der Beobachtung des Verkehrs anhand der Aussen-sicht liegt.

Der Entwurf des HMI erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der Firma delair Air Traffic Systems GmbH und dem Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt. Zur Analyse des Ist- und des Soll-Zustandes werden betrieblich eingesetzte Fluglotsen im Rahmen von Experten-Workshops und Einzelbefragungen eingebunden.

Ausgehend von einem Basis-Entwurf erfolgt eine Bewertung und schrittweise Weiterentwicklung mit Hilfe von mehreren Realzeit-Simulationen. Die Simulations-Infrastruktur besteht dabei aus einem gekoppelten 3D Tower- und Center-Simulator, die eine realitätsnahe Abwicklung des Verkehrs durch betriebliche Lotsen von der Vorfeldposition bis hin zur TMA ermöglicht. Als Ergebnis der Untersuchung liegt ein betrieblich und arbeitswissenschaftlich bewerteter Prototyp des HMI vor.

2. EINLEITUNG

Der Beruf des Fluglotsen ist eine hoch beanspruchende Tätigkeit. Ein hohes Maß an Verantwortung verbunden mit extrem kurzen Entscheidungsphasen führen zu einer starken Arbeitsbelastung. Der zunehmende Luftverkehr und die immer komplexeren Entscheidungsketten steigern diese zusätzlich (Leonhardt 2005; Manning 2005).

Dies gilt auch für den Arbeitsplatz des Tower-Lotsen, zu dessen Aufgaben die Koordination der Starts und Landungen gehört. Besonders in Phasen hohen Flugverkehrsaufkommens muss er in kurzer Zeit eine Vielzahl unterschiedlicher Informationen verarbeiten sowie schnell und sicher handeln.

Während Anflugplanungssysteme in der Strecken- und Anflugkontrolle verschiedener europäischer Großflughäfen bereits seit vielen Jahren eingesetzt werden, haben sich Abflugplanungssysteme, die die Tower- und Vorfeld-Lotsen bei der Abwicklung der Abflüge unterstützen, bis dato noch nicht weit verbreitet.

Der nächste logische Schritt besteht in einer gekoppelten An- und Abflugplanung mit dem Ziel, die vorhandene Infrastruktur optimal zu nutzen und allen Akteuren, wie z.B. Fluglinien, Flughafenbetreibern und Flugsicherung eine einheitliche Planungsinformation zur Verfügung zu stellen. Zur Zeit existiert noch kein vergleichbares, operationell nutzbares System.

Im Rahmen des nationalen Luftfahrtforschungsprogrammes LUFO III entstand daher in Zusammenarbeit von delair Air Traffic Systems GmbH und der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH ein Konzept zur kooperativen Planung von An- und Abflügen an einem Großflughafen. Während dieser Arbeiten wurde deutlich, dass das volle Potential der gekoppelten technischen Systeme erst durch eine neu zu entwerfende, integrierte Planungsanzeige für den Tower-Lotsen genutzt werden kann.

Die Herausforderung bei der Entwicklung der neuen Planungsanzeige besteht darin, eine für die Arbeitsaufgabe und -situation optimal angepasste Gestaltungslösung zu entwickeln, die sowohl ergonomischen und betrieblichen Anforderungen genügt als auch die Akzeptanz der Lotsen besitzt.

Die im Rahmen des vom BMWi geförderten LUFO IV Verbundvorhabens „Wettbewerbsfähiger Flughafen“ (WFF) durchgeführte Untersuchung konzentriert sich daher auf zwei Schwerpunkte. Neben der Vereinheitlichung der graphischen Darstellung und der Interaktionsmöglichkeiten ist das Ziel, dem Lotsen eine möglichst schnelle Erfassung der Planungssituation zu ermöglichen, da sein Hauptaugenmerk auf der Beobachtung des Verkehrs anhand der Außensicht liegt.

Der Entwurf soll beispielhaft für den Platzlotsen erstellt werden, der für das Parallelbahnsystem am Flughafen Frankfurt zuständig ist.

3. STAND DER TECHNIK

Die Arbeitsplatzgestaltung in den Kontrolltürmen ist heute typischerweise stark geprägt von einer systembezogenen Darstellung von Informationen. Gleichartige Funktionen bzw. Informationen werden in speziellen Systemen z.B. für die Luft- und Bodenlagedarstellung, die Flugplan- und Wetterinformationen zusammengefasst. In der Regel erfolgt die Anzeige und die Interaktion mit diesen Systemen auf getrennten Monitoren bzw. mit separaten Eingabemedien. Im einfachsten Fall sind dies mehrere Tastaturen und Computer-Mäuse. Typisch ist jedoch ein Mix aus Standard- und Spezial-Tastaturen, Trackballs, Finger- und Stift-Touch Monitoren.

3.1. DEPCOS

Das Departure-Coordination-System (Depcos) ist eines der zentralen Tower-Systeme. Es beinhaltet den aktuellen Flugplan sowie alle notwendigen Details zur Kennzeichnung eines Abfluges in einer monochromen Textdarstellung (Abb. 1).

Zum System gehört eine spezielle Tastatur, die auf die Bedürfnisse der Bildschirmbedienung abgestimmt ist.



Abb. 1: DEPCOS Anzeige

3.2 Tower-TID

Für die Bearbeitung der Anflugsequenz wurden ursprünglich die in der Flugsicherung üblichen Papierstreifen verwendet. Wesentliches Kennzeichen des Abflug-Prozesses ist, dass dem Flugzeug im zeitlichen Verlauf der jeweils aktuelle Status der Luftverkehrsfreigabe zugewiesen wird. Ursprünglich wurde dies auf Papierstreifen dokumentiert. Heute wird dazu das Tower-Touch-Input-Device (Tower-TID) verwendet. Es basiert auf einem berührungsempfindlichen Bildschirm, auf dem die Anflugsequenz in Form einer Zeitleiter dargestellt ist (Abb. 2).

Dazu werden die erwarteten Landezeiten auf der Grundlage der Luftlagedaten bestimmt und die einzelflugbezogenen Daten entsprechend an der Zeitleiter dargestellt. Der aktuelle Status des Anfluges wird per Finger-Touch eingegeben und mit Hilfe einer farblichen Markierung visualisiert.

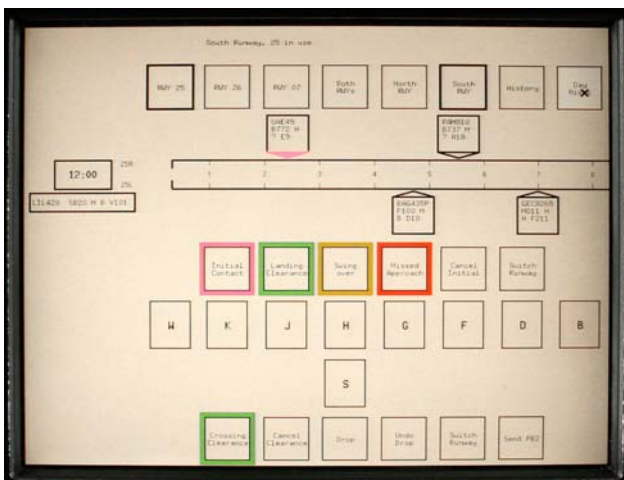


Abb. 2: Tower-TID Anzeige

4. EVOLUTIONÄRES PROTOTYPING

Ausgehend von einem Basis-Entwurf erfolgt die Bewertung und schrittweise Weiterentwicklung mit Hilfe von Realzeitsimulationen. Das Vorgehen folgt dabei dem Prinzip des iterativen Designs (Genov 2005): Nach Analyse der bestehenden Arbeitssituation, der Arbeitsaufgaben sowie aktueller Bedienkonzepte wurden Soll-Kriterien für das Interface definiert und der Basis-Entwurf erstellt. Ein Entwicklungsschritt besteht daraufhin aus der Implementierung, der Bewertung des Entwurfes in einer Realzeitsimulation sowie der Ableitung von Verbesserungen. Im vorliegenden Fall wurden nacheinander vier solcher Entwicklungsschritte vollzogen.

4.1. Simulationsumgebung

Für die Evaluation war die Realitätstreue der Simulation von großer Bedeutung. Daher wurde als Testumgebung der gekoppelte 3D-Tower- und Center-Simulator der DFS ausgewählt. Dieser stellt den Arbeitsplatz des Tower-Lotsen realitätsgetreu inklusive einer vollständigen Rundumsicht dar und bietet damit eine ähnliche Situation wie im realen Tower.

Die Simulationsumgebung umfasst die Arbeitsplätze von Anflugkontrolle, Tower und Vorfeldkontrolle. Alle diese Arbeitsplätze werden besetzt, um Eingaben und Funkverkehr analog zum normalen Tower-Betrieb durchzuführen. Reale Personen übernehmen außerdem als so genannte „Pseudopiloten“ die Rolle der Piloten, indem sie die Anweisungen der Lotsen ausführen und die simulierten Flugzeuge „steuern“.

Die Arbeitsplätze im Tower-Simulator der DFS sind mit Touch-Displays der Firma Wacom ausgestattet (Wacom Cintiq 21UX). Da diese Bildschirme per Stift (Grip-Pen) bedient werden, wurde das HMI so konzipiert, dass alle notwendigen Eingaben und Interaktionen mit diesem Stift ohne Zuhilfenahme weiterer Eingabegeräte vorgenommen werden können.

4.2 Implementierung des HMI-Prototypen

Ziel der softwareseitigen Entwicklungsarbeiten war es, am Ende des Entwicklungsprozesses eine möglichst flexible Software-Struktur für die Realzeitsimulationen verfügbar zu haben.

Denn nur so ist es möglich, die im Rahmen des evolutionären Prototyping zu erwartenden und für die Weiterentwicklung wichtigen Änderungs- bzw. Verbesserungsvorschläge kurzfristig implementieren zu können. Des Weiteren sollte die einzusetzende Systemarchitektur genug Stabilität bieten, um das System nach der Entwicklungsphase möglichst schnell in den operationellen Betrieb zu überführen.

Die HMIs wurden mit Hilfe der QT Grafikbibliothek der Firma Trolltech in SVG realisiert. Diese Programmiersprache erlaubt eine flexible Gestaltung der zu programmierenden Oberfläche in einem standardisierten Format. Für die Systemarchitektur wurde eine Client-Server Architektur gewählt. Ein spezialisierter Server Prozess kümmert sich um die Geschäftslogik der Flugstreifen, ein weiterer Server um die Generierung der Grafik. Die Darstellung übernehmen so genannte Thin Clients, dabei handelt es sich um recht einfache Prozesse, die lediglich die Darstellung der auf dem SVG Server generierten Grafiken übernehmen. Die Kommunikation zwischen Client und Server wurde mit dem SOAP Protokoll realisiert, welches auch von QT durch spezielle Bibliotheken unterstützt wird. Die Verwendung des SOAP Protokolls ermöglicht einen Betrieb zwischen Client und Server auch über Firewall-Grenzen hinweg. Dies ist notwendig, da die eher leistungshungrigen Server in zentralen Rechenzentren betrieben werden, die Clients hingegen direkt am Lotsenarbeitsplatz. Dabei müssen oft größere Strecken überwunden werden.

Die Vorteile der Client-Server Architektur liegen in einer hohen Skalierbarkeit der darstellenden Clients und der Verwendung von Hardware mit geringen Anforderungen an die Performance. Dadurch können an den Lotsenarbeitsplätzen sehr leise, d.h. passiv gekühlte Rechner zum Einsatz kommen, was sich positiv auf das Arbeitsklima auswirkt. Ein Server kann je nach verwendeter Hardware ca. 10 Clients bedienen. Bei einer höheren Anzahl an Clients wird einfach ein weiterer Server hinzugenommen, der für die Anbindung der darüber hinausgehenden Clients zur Verfügung steht.

Die Server werden über die delair eigene A-CDM (Advanced Collaborative Decision Making) Plattform mit den erforderlichen Flugplandaten versorgt. Diese Plattform wurde entwickelt, um die Prozesse des betrieblich genutzten Departure Managers über einen Rechner Cluster hinweg

mit Daten zu versorgen. Dabei laufen alle Prozesse mindestens zweimal, einmal im aktiven Modus und zum anderen in einem hot-standby Modus. Damit sind sie jederzeit in der Lage die Arbeit des aktiven Prozesses im Fehlerfall der Hardware oder auch der Software zu übernehmen. Durch das Cluster-Prinzip kann ein Ausfall der Hardware ohne merkliche Auswirkung auf den Anwender kompensiert werden.

4.3 Bewertungsmethodik

In den Simulationen wurden die Lotsen ständig arbeitswissenschaftlich begleitet und ihre Bedienhandlungen und -schwierigkeiten protokolliert. Die Lotsen erhielt zu Beginn eine kurze Einführung in die Bedienlogik des Interfaces sowie ihre eigenen Aufgaben. In der anschließenden Simulation wurde eine alltägliche Situation am Tower nachgestellt, wobei die Lotsen angewiesen wurden, sich möglichst realitätsnah zu verhalten.

Zusätzlich erfolgte die Anweisung, Gedanken und Überlegungen bezüglich des verwendeten Interfaces laut zu äußern, um sie so den Beobachtern zugänglich zu machen (Methode des lauten Denkens, vgl. Bortz & Döring 2002). Der Schwerpunkt der Instruktion lag jedoch auf der korrekten Erfüllung der Arbeitsaufgabe, um so eine dem normalen Tower-Betrieb annähernd gleiche Arbeitsweise zu erhalten.

Um strukturierte und verlässliche Daten zu erhalten, wurde die Methode des Beobachtungsinterviews gewählt (vgl. Dunckel 1999). Der Beobachter kann damit seine Erkenntnisse direkt mit dem Nutzer besprechen, offene Fragen und Unklarheiten beantworten und so die eigenen Beobachtungen direkt verifizieren. Auch nicht direkt beobachtbare Informationen wie beispielsweise die Einschätzungen und Meinungen der Lotsen bezüglich des HMI können so erfasst werden.

Zwar stellt dieses Vorgehen, wie generell die Verwendung einer Simulationsumgebung, auch einen größeren Eingriff in den natürlichen Arbeitsablauf des Lotsen ein. Hier kommt aber eine Besonderheit der Benutzergruppe zum Tragen: Die Arbeit im Tower-Simulator ist den Lotsen vertraut, da sie auch in ihre Aus- und Weiterbildung integriert ist. Auch die Interaktion mit anderen Personen, über Funk oder persönlich, ist im Arbeitsalltag der Lotsen üblich.

Daher wurde die Beeinträchtigung durch die Befragung während der Arbeit im Vergleich zum großen Nutzen der gewonnenen Daten als gering eingeschätzt.

Zur Ergänzung der während der Simulation erhaltenen Daten wurde im Anschluss an jeden Simulationslauf ein weiteres, strukturiertes Interview zu Aspekten der HMI-Gestaltung und -Bedienung durchgeführt.

5. Basis-Entwurf

In diesem Abschnitt wird zuerst schematisch der Aufbau des Basis-Entwurfes (Abb. 3) beschrieben. Darauf folgt eine Aufstellung der Anpassungen, die aufgrund der Erfahrungen mit dem HMI während der vier Realzeitsimulationen vorgenommen wurden.

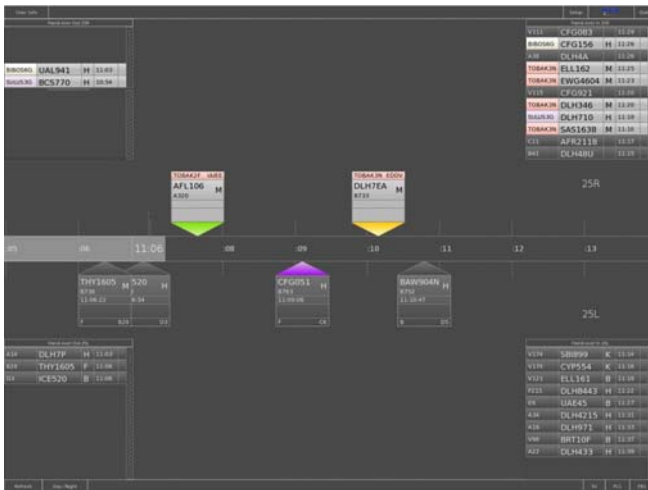
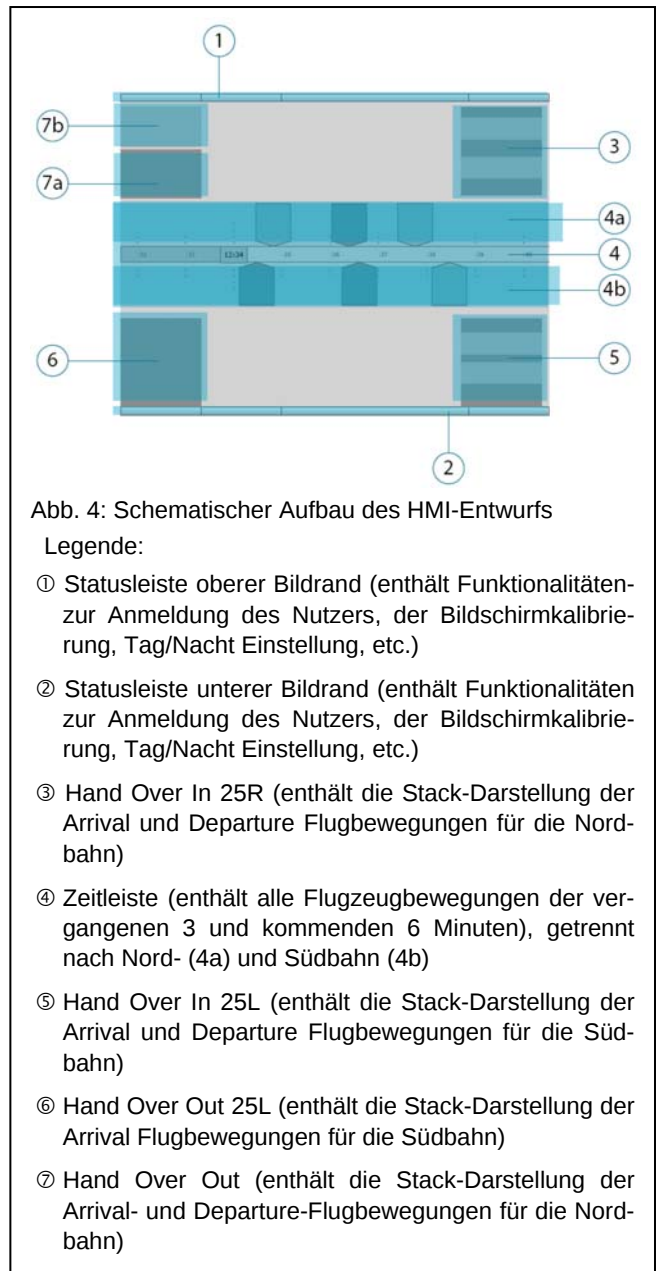


Abb. 3: Basis-Entwurf vor Beginn der Simulationen

5.1 Zeitleiter

Die für den Lotsen wichtigen Informationen sind auf dem Bildschirm in Bereichen mit unterschiedlicher Bedeutung (Abb. 4) angeordnet. Seine Aufmerksamkeit gilt vor allem Luftfahrzeugen, die innerhalb der nächsten Minuten die Runway belegen werden. Informationen über diese Luftfahrzeuge sind im Zentrum des Displays und damit im Aufmerksamkeitsfokus des Lotsen angeordnet. In Anlehnung an das Tower-TID wird hierzu auf das Prinzip der Zeitleiter zurückgegriffen. Die Darstellung der einem Luftfahrzeug zugeordneten Informationen erfolgt zusammengefasst in Form so genannter Label, die entsprechend der zu erwarteten Bahnbelegungszeit entlang der Zeitleiter angeordnet sind.



Dort werden alle Luftfahrzeuge angezeigt, deren Start oder Landung für die nächsten sechs Minuten geplant bzw. erwartet ist. Sie bewegen sich langsam entlang der Zeitleiter auf den Jetzt-Zeitpunkt zu.

Passend zur Außensicht des Lotsen auf das Parallelbahnsystem in Frankfurt verläuft die Zeitleiter in horizontaler Richtung. Der Jetzt-Zeitpunkt befindet sich analog zur Anflugrichtung der Luftfahrzeuge bei der hier dargestellten Betriebsrichtung 25 im mittleren linken Bereich des Bildschirms.

Label der Luftfahrzeuge für die Piste 25R sind oberhalb, die für die Piste 25L unterhalb der Zeitleiter dargestellt. Bei dieser Art der Darstellung ist zu beachten, dass der Abstand zweier Label auf der Zeitleiter nicht ihrer räumlichen Entfernung zueinander entspricht.

5.2 Stacks

Geringere Aufmerksamkeit benötigen dagegen diejenigen Luftfahrzeuge, die erst zu einem späteren Zeitpunkt die Start- und Landebahnen belegen werden oder sich noch nicht bzw. nicht mehr im Verantwortungsbereich des Lotsen befinden.

Informationen für diese Luftfahrzeuge sind daher in Form von Listen (Stacks) in den Eckbereichen des Bildschirms platziert und beanspruchen so weniger visuelle Aufmerksamkeit. Auf diese Weise werden aktuell wichtige von aktuell nicht wichtigen Objekten auch räumlich unterschieden, so dass dem Lotsen die visuelle Orientierung und Gewichtung seiner Aufmerksamkeit erleichtert wird.

Die Menge der Informationen auf den Labels im Stack ist reduziert, da zu diesem Zeitpunkt nur wenige Informationen von Bedeutung sind. Diese Daten können leicht in einer Zeile des Labels dargestellt werden. Durch die Stapelung der Label liegen so alle Informationen einer Art direkt übereinander und können so leichter auf einen Blick erfasst und miteinander verglichen werden.

5.3 Label-Gestaltung

Als Label wird die grafische Repräsentation eines Luftfahrzeugs bezeichnet. Ein Label enthält alle Informationen, die für den Tower-Lotsen relevant sind, zum Teil in alphanumerischer, zum Teil in grafischer Form. Letzteres wird beispielsweise durch farbliche Gestaltung oder seine räumliche Position realisiert.

Die Unterscheidung von An- und Abflügen wird neben den Unterschieden in der dargestellten Information anhand der Hintergrundfarbe der Label getroffen. Abflüge sind hell- Anflüge dunkelgrau hinterlegt (vergl. Abb. 5 und Abb. 6).

5.3.1 Aufbau der Label

Jedes Label setzt sich aus Labelkörper und Labelkopf zusammen. Der Körper ist immer rechteckig, kann jedoch unterschiedliche Formen annehmen, je nachdem, an welcher Stelle des Prozesses sich das entsprechende Luftfahrzeug befindet (vergl. Abb. 5 und Abb. 7).

Die zentrale Information eines Labelkörpers ist das Callsign des Luftfahrzeugs. Es dient der Identifikation und steht daher an erster Stelle. Ebenfalls wichtig ist der Aircraft-Type, der daher an zweiter Stelle angezeigt wird. Von geringerer Bedeutung sind dagegen in diesem Zusammenhang Slot-Zeiten und Anmerkungen. Sie sind daher kleiner und weniger auffällig dargestellt.

Die verbleibenden Informationen werden in der letzten Zeile visualisiert. An dieser Stelle befinden sich bei einem ankommenden Luftfahrzeugen (Arrival) Daten zu Taxiway und Stand. Bei einem startenden Luftfahrzeug (Departure) sind hier dagegen Informationen zu Abflugroute (SID) und Zielflughafen (Destination) zu finden, zum Teil in alphanumerischer, zum Teil in farblicher Codierung. Durch diese Kombination soll die Komplexität der Information „SID“ aufgelöst werden, so dass sie leichter aufgenommen und verarbeitet werden kann.

Im Gegensatz zu den anderen Informationen im Labelkörper verändert diese letzte Informationszeile ihre Position, da sie sich immer auf der entgegengesetzten Seite der Labelspitze befindet und durch deren Seitenwechsel beeinflusst wird.

Die auf einem Label dargestellten Informationen wurden danach ausgewählt, was der Tower-Lotse in der jeweiligen Situation benötigt. Einige davon sind immer auf dem Label zu finden, andere nur unter bestimmten Voraussetzungen.

Folgende Informationen können enthalten sein:

- Callsign
- Wirbelschleppenkategorie
- Slot / Zeit
- Status der Luftverkehrsfreigabe
- Aircraft Type (nur bei Labeln an der Zeitleiter)
- Remarks (nur bei Labeln an der Zeitleiter)
- Standard Instrument Departure Route (SID) (nur bei Departure)
- Destination (nur bei Departure und Labeln an der Zeitleiter)
- Taxi (nur bei Arrivals)
- Stand (nur bei Arrivals und an der Zeitleiter)

Der Labelkopf hat ebenfalls unterschiedliche Formen, abhängig von dem Zustand bzw. der Position des Labels. Während ein Label im Stack einen rechteckigen Kopf auf der rechten Seite des Körpers besitzt (Abb. 7 und Abb. 8), befindet sich bei einem Label an der Zeitleiter eine dreieckige Spitze ober- oder unterhalb des Körpers (Abb. 5 und Abb. 6).

Der Labelkopf zeigt durch seine Farbe den aktuellen Status der Luftverkehrsfreigabe des Luftfahrzeugs an. Da das Label im Stack jedoch keiner Zeit auf der Zeitleiter zugeordnet ist, ist hier eine Pfeilform nicht notwendig.

Durch die Kombination von strukturiertem Aufbau einerseits und farbige Balken bzw. Spitzen andererseits können wichtige Informationen leicht gefunden und erfasst werden.

Der strukturierte Aufbau führt in Verbindung mit festen Bereichen auf dem Bildschirm zu einer rasterförmigen, übersichtlichen Anordnung der Label. Erste Eindrücke, z.B. über Anzahl und Position aktuell relevanter Luftfahrzeuge, können so leicht gewonnen werden. Die farbigen Hervorhebungen ermöglichen ebenfalls das Erfassen wichtiger Informationen auf einen Blick, wie beispielsweise von Status und dem daraus erfolgenden Handlungsbedarf.

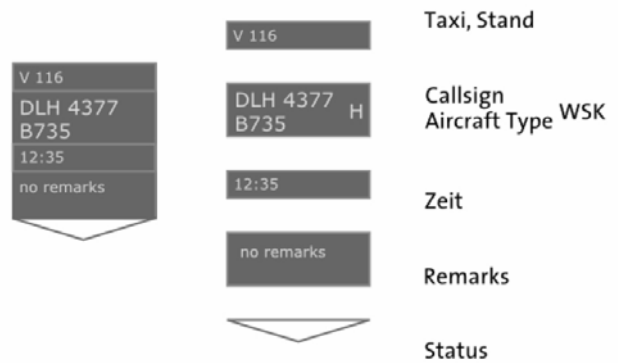


Abb. 5: Label an der Zeitleiter (Anflüge)

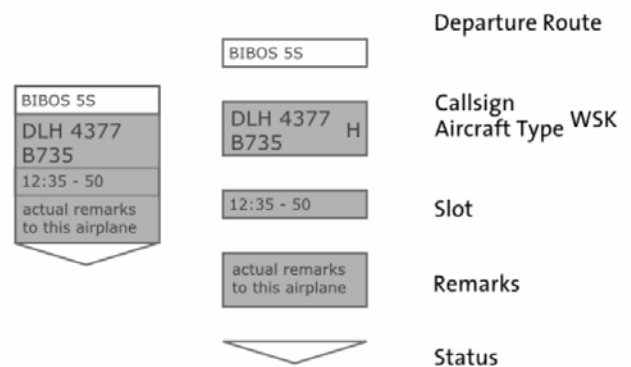


Abb. 6: Label an der Zeitleiter (Abflüge)



Abb. 7: Label im Stack (Anflüge)

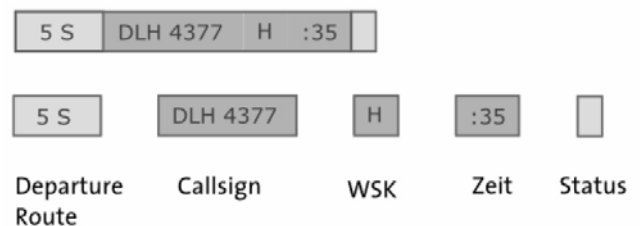


Abb. 8: Label im Stack (Abflüge)

5.3.2 Verwenden von Farben

Bei der Zuordnung der Farben zu ihrer Bedeutung wurde sowohl die Codierung des Tower-TID als auch die allgemein verwendete Farbhierarchie berücksichtigt.

Durch die Verwendung schon bekannter Farbschemata sind weniger Lernprozesse nötig und weniger Fehler zu befürchten. Da mehrere Informationen (Status und SID) mittels Farbe codiert werden, wurden zwei unterschiedliche Farbgruppen verwendet, die sich leicht unterscheiden lassen. So ergaben sich Farbcodierungen für:

- Status: klare bzw. kräftige Farben (Tabelle 1)
- SID-Gruppen: Pastelltöne
- Anflug / Abflug: dunkelgrau bzw. hellgrau

	Farbe	Verwendung	Beispiel
1	violett	allgemein: keine besondere Bedeutung -> hier: erfolgte Kommunikation	Arr: Initial Contact Dep: Initial Contact
2	grün	allgemein: betriebsbereites oder fehlerfrei laufendes System, sicherer Systemzustand -> hier: Freigabe (Clearance), Erlaubnis	Arr: Landing Clearance Dep: Take-off Clearance
2	gelb-orange	allgemein: nicht sicherer Systemzustand, keine sofortige Handlung notwendig, aber Aufmerksamkeit -> hier: besondere Aktion noch vor der Freigabe	Arr: Swingover Dep: Line-Up
3	rot	allgemein: Signal-, Warnfarbe, Systemfehler, -defekt, -ausfall, unmittelbare Gefahr, kritischer Systemzustand, sofortige Handlung notwendig -> hier: Warnung, besondere Aufmerksamkeit erforderlich, Abweichung vom üblichen Ablauf	Arr: Missed Approach Dep: Warning
4	türkisblau	allgemein: Hinweise auf besonderes Verhalten oder Tätigkeiten, reine Informationsanzeigen -> hier: besondere, aber nicht zeitkritische Handlung erforderlich	Arr: Crossing Dep: -
6	grau	allgemein: neutral, keine besondere Bedeutung, „Nicht-Farbe“ -> hier: neutraler Status, nicht im Verantwortungsbereich des Tower-Lotsen	noch kein Status bzw. kein Status mehr

Tabelle 1: Farben zur Darstellung des Status

Bei sämtlichen Farbdarstellungen muss berücksichtigt werden, dass sie sowohl in der Tag- als auch in der Nachtdarstellung sowie bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen gut erkennbar, unterscheidbar und blendfrei sind.

5.4 Interaktionen mit dem HMI

Die logische Abfolge der Luftverkehrsfreigaben ist hinterlegt, sodass die sukzessive Zuweisung des Status durch einen Klick mit der Stiftspitze auf den Labelkopf erfolgt. Für den Fall einer Fehleingabe oder wenn einzelne Informationen nicht korrekt sind, ist eine Editierfunktion vorgesehen. Mittels eines Kontextmenüs (Abb. 9 und Abb. 10), das sich durch Antippen des Labelkörpers anzeigen lässt, können die Informationen verändert bzw. Anmerkungen (Remarks) hinzugefügt werden.

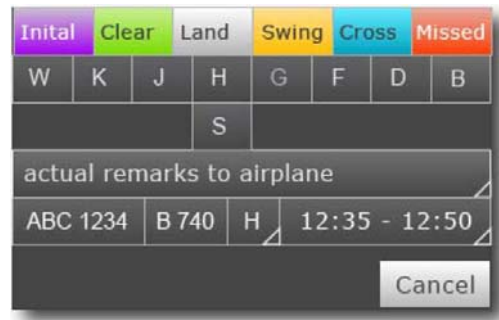


Abb. 9: Kontextmenü für Anflüge

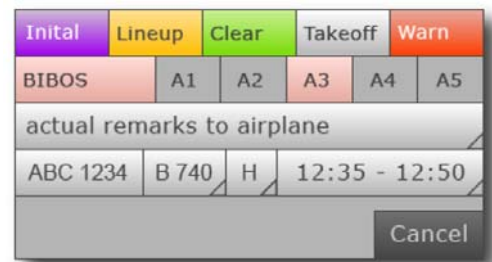


Abb. 10: Kontextmenü für Abflüge

Da der gesamte Labelkörper als Feld dient, kann das Kontextmenü auch bei den automatischen Bewegungen der Label entlang des Zeitstrahls leicht aufgerufen werden. Wäre das Feld jedoch zu klein, wie es beispielsweise der Fall wäre, wenn jede Information direkt im Label editiert werden würde, könnte das nicht sichergestellt werden.

Alle Bereiche des Labelkörpers sind editierbar. Durch Antippen mit dem Stift öffnet sich neben dem Label ein Kontextmenü-Fenster. Dort stehen in der ersten Stufe mehrere Eingabe- und Auswahlfelder zur Verfügung. Anzahl und Inhalt der Felder unterscheidet sich für Arrival und Departure ausgehend von den jeweiligen Informationen und Eingabebedürfnissen.

Mit dem Stift können die entsprechenden Felder ausgewählt werden. Diese Auswahl führt teilweise direkt zu einer Änderung, teilweise zum Erscheinen eines weiteren Menüfensters, in dem Eingaben gemacht werden können. Je nach Eingabemöglichkeiten wird dazu eine virtuelle Tastatur (Buchstaben oder Zahlen) oder eine Liste angezeigt. Damit erfolgt selbst hier die Eingabe mit dem Stift, wodurch die Konsistenz der Eingabe erhalten bleibt.

Das mitwandernde Kontextmenü bietet gegenüber einem an einem festen Platz dargestellten Menü den großen Vorteil, dass größere Bewegungen über das Display hinweg nicht nötig sind. Sowohl der Blick des Lotsen als auch der Stift verbleiben in der Nähe der aktuellen Objekte, eine Orientierung auf dem gesamten Display ist nicht nötig. Durch die kurzen Wege mit dem Eingabegerät erhöht sich nach „Fitt's Law“, das den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen der benötigten Zeit zur Positionierung, der Entfernung einer Eingabemarke vom Ziel sowie der Größe des Ziels beschreibt, neben der Bediengeschwindigkeit auch die Präzision und damit die Bediensicherheit.

6. Entwurf nach evolutionärem Prototyping

Die Beurteilung des HMI im Rahmen von vier Realzeitsimulationen bestätigte im Wesentlichen das Design- und Interaktionskonzept. Die im Rahmen des evolutionären Designprozesses vorgenommenen Änderungen erwiesen sich als sinnvoll und wurden von den Lotsen positiv bewertet. Die augenfälligsten Modifikationen gegenüber dem Basisentwurf lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Die Darstellung der Label am Zeitstrahl wurde erheblich modifiziert. Während sich die Darstellung der Label im Basisentwurf noch am Tower-TID orientiert, weisen die Label zum Zeitstrahl hin nun keine Pfeile mehr auf. Sie sind komplett rechteckig gehalten und markieren ihren entsprechenden Zeitpunkt nur durch eine feine senkrechte Linie zum Zeitstrahl.

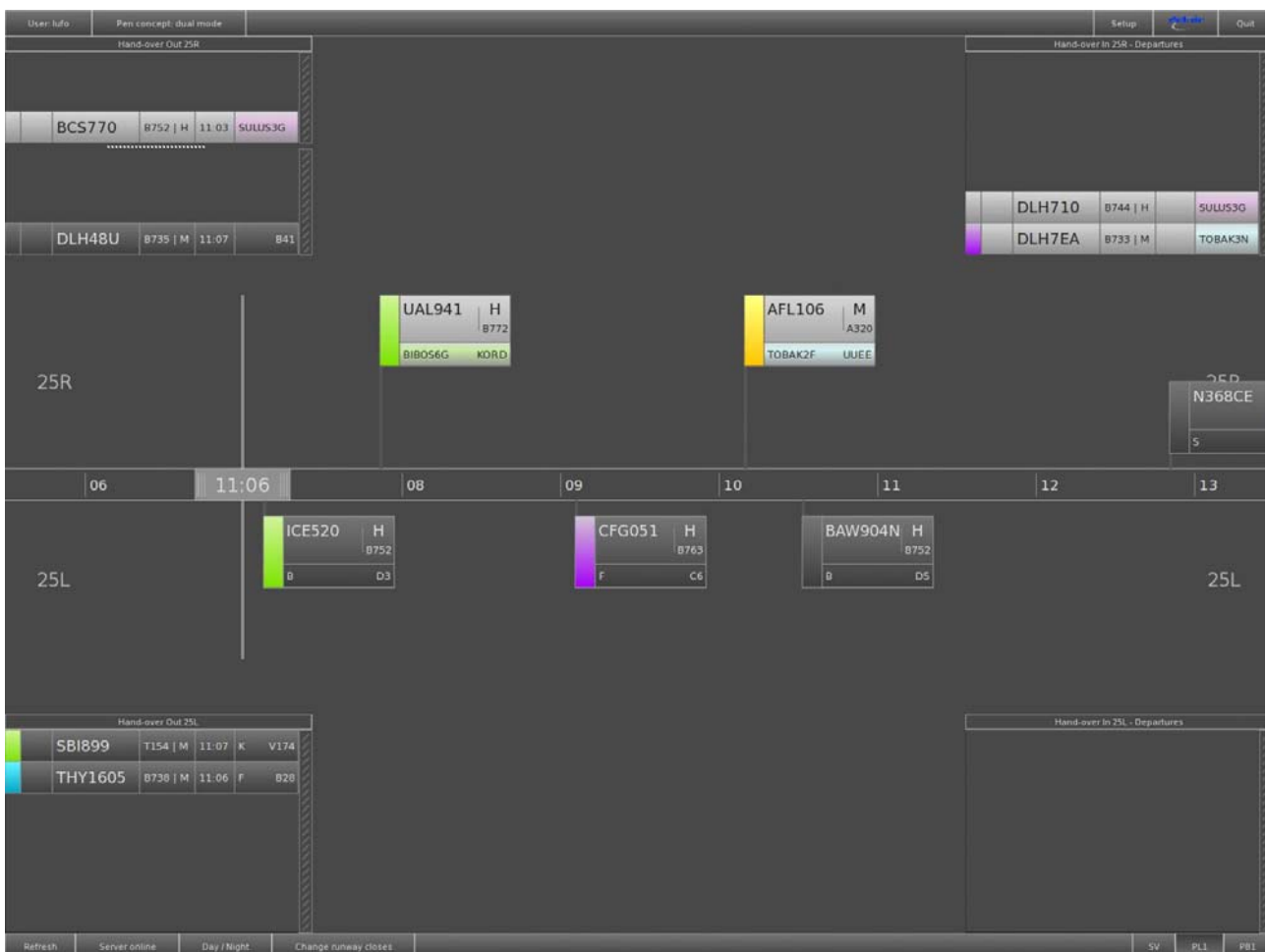


Abb. 11: Entwurf des Tower-HMI nach vier Simulationen

Auch der Aufbau der Label hat sich geändert. So ist z.B. die farbliche Markierung des Status nicht mehr zum Zeitstrahl hin aufgesetzt sondern befindet sich immer einheitlich am linken Rand des Labels.

Darüber hinaus werden nun die Label für die Abflüge in je einer separaten Zeile ober- bzw. unterhalb der Arrival-Label dargestellt. Dies dient einer besseren Unterscheidung zwischen An- und Abflügen.

Weiter wurde zur besseren Lesbarkeit der Informationsinhalt sowie die Anordnung der Informationen in den Label sowie die Gestaltung der Zeitleiter überarbeitet.

Wesentliche Veränderungen betreffen auch die Interaktionen der Lotsen mit dem HMI. Da die Hauptinteraktion der Lotsen mit den Labels in der Veränderung des Status besteht, wurde die gesamte Labelfläche als „klickbarer“ Bereich definiert.

Nun kann durch einen Druck mit der Stiftspitze auf eine beliebige Stelle des Labels eine Umschaltung zum nächsten logischen Status vorgenommen werden. Dies verkürzt die Interaktionszeit erheblich. Nur bei nicht routinemäßigen Interaktionen muss noch das Kontextmenü aufgerufen werden. Dies erfolgt nun durch ein Drücken mit der Stiftrückseite (Radiergummi) auf einen beliebigen Bereich des Labels.

Zusammenfassung und Ausblick

In einem interdisziplinären Team aus Arbeitswissenschaftlern, Designern, Ingenieuren und Lotsen wurde ein Human-Machine-Interface (HMI) für einen Towerlotsen-Arbeitsplatz entwickelt. Dieses Interface soll die Arbeit des Tower-Fluglotsen sinnvoll unterstützen, indem es benötigte Informationen optimal aufbereitet und dem Lotsen situationsgerecht bereitstellt.

Entwicklungsbegleitend wurde das HMI in mehreren Realzeitsimulationen in einer realitätsnahen Umgebung, einem 3D-Tower-Simulator von betrieblichen Lotsen bewertet und schrittweise weiterentwickelt. Visualisierungs- und Interaktionskonzepte konnten so frühzeitig bewertet und auf ihre Eignung für den betrieblichen Einsatz im Tower überprüft werden.

Während der Simulation wurden Beobachtungsinterviews mit den Lotsen durchgeführt, um beobachtete Bedienhandlungen besser bewerten und interne Prozesse erfassen zu können.

Der abschließende Gestaltungsentwurf entspricht sowohl betrieblichen als auch ergonomischen Anforderungen und genießt gleichzeitig eine hohe Akzeptanz bei den Tower-Lotsen.

Eine betriebliche Implementierung der integrierten Planungsanzeige ist im Rahmen der Neubauprojekte in Frankfurt, München und Berlin geplant. Dafür ist der vorliegende Prototyp jedoch noch u.a. in folgender Hinsicht weiterzuentwickeln:

- Implementierung von Betriebsrichtungswechseln
- Berücksichtigung von VFR-Verkehr
- Zusammenlegung von Arbeitsplätzen in den verkehrsschwachen Tagesrandzeiten

Literatur

Bergner, J.; König, C.; Hofmann, T.; Ebert, H. (2008): Entwurf einer integrierten Planungsanzeige für den Tower-Controller. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, Darmstadt.
Bortz, J. & Döring, N. (2002): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin: Springer.
Dunckel, H. (1999): Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren. Zürich: vdf, Hochschulverl. an der ETH Zürich.
Genov, A. (2005): Iterative Usability Testing as Continuous Feedback: A Control Systems perspective. In: Journal of Usability Studies, Vol. 1, Nr. 1, S. 18-27.
Leonhardt, J. (2005): Implementation of Critical Incident Stress Management at the German Air Navigation Services. In: Kirwan, B.; Rodgers, M. & Schäfer, D. (Hrsg.): Human Factors Impacts in Air Traffic Management. Hampshire: Ashgate Publishing Limited, S. 207-225.
Manning, C. & Stein, E. (2005): Measuring Air Traffic Controller Performance in the 21st Century. In: Kirwan, B.; Rodgers, M. & Schäfer, D. (Hrsg.): Human Factors Impacts in Air Traffic Management. Hampshire: Ashgate Publishing Limited, S. 283-31

Der EUROCONTROL Human Factors Case - Pilotanwendung im Projekt Wettbewerbsfähiger Flughafen (WFF)

Eliana Haugg, Stefan Tenoort (TEH), Alexander Heintz (AK)

Human Factors (HF) beschäftigen sich mit der systematischen Betrachtung und Einbeziehung der Rolle des Menschen im Gesamtsystem Air Traffic Management ATM. HF ist ein Sammelbegriff für psychische, kognitive und soziale Einflussfaktoren in sozio-technischen Systemen und damit bei der Entwicklung, Bewertung und Einführung neuer ATM Systeme eine erfolgskritische Größe (s.a. [1]). Insbesondere vor dem Hintergrund von SESAR werden zukünftige Konzepte, Verfahren und Technologien im ATM auf die menschlichen Rollen im Gesamtsystem nachhaltigen Einfluss haben, ebenso wie im Hinblick auf zunehmende Automation die Bedeutung von Human Factors weiter ansteigt.

Bei der Entwicklung von neuen Systemen oder Systemkomponenten stellt sich jedoch den Projektleitern eine Reihe von Herausforderungen:

- HF Themen sind komplex und es ist oft schwierig, sie sicher und greifbar zu identifizieren.
- Notwendige Eingriffe zur Berücksichtigung des menschlichen Faktors in der Systementwicklung werden oftmals zu spät vorgenommen.
- Erforderliche Ressourcen, Zeit und Budget für HF werden oft nicht eingeplant oder müssen begründet und gerechtfertigt werden.
- Nicht immer kann bei Nutzern und Experten Akzeptanz für HF erlangt werden.
- HF sollten nicht stringent verordnet, sondern flexibel und bedarfsgerecht berücksichtigt und angewendet werden.

Dies führte zu fünf Grundsätzen, wie eine notwendige Berücksichtigung von HF Themen in Projekten zu strukturieren sei und letztendlich zur Entstehung des HF Case,

- als ein praktischer Ansatz, um HF Themen zu identifizieren und zu bearbeiten,
- als ein Prozess, um rechtzeitige Interventionen zu ermöglichen,

- als Unterstützung für Projektleiter, um Argumente für HF zu liefern,
- als eine Struktur, die sowohl eine Beteiligung von Experten wie die Einbindung von Endnutzern vorsieht,
- als ein anpassbarer Prozess, um den unterschiedlichen oder sich veränderten Projektanforderungen zu begegnen.

Der Human Factors (HF) Case ist ein von EUROCONTROL entwickelter Prozess, welcher bereits 2004 für die Anwendung in europäischen ATM Projekten entwickelt wurde. Seitdem wurde der HF Case in verschiedensten Projekten eingesetzt und im Austausch mit Stakeholdern erprobt und stetig weiterentwickelt.

Mit Hilfe des HF Case sollen Projektleiter bei dem Erreichen von operationellen und wirtschaftlichen Zielen eines Projektes unterstützt werden, indem potentielle HF Probleme systematisch und während des ganzen Projektverlaufs betrachtet werden. Der Fokus liegt hierbei auf den gegenseitigen Auswirkungen der Projekteinhalte auf der einen Seite und menschliche Arbeitsleistung auf der anderen Seite sowie deren Optimierung.

Um HF Implikationen rechtzeitig zu identifizieren und zu steuern, sollte der HF Case so früh wie möglich im Projektverlauf begonnen werden, denn ein frühes und kontinuierliches Management der Human Factors in allen Phasen eines Projekts einschließlich der Transition ist ein entscheidender Beitrag zur erfolgreichen Einführung operativer Verfahren und Technologien.

Der HF Case sieht hierzu fünf Stufen vor, die von HF Experten begleitet werden (*siehe Abb. 1*):

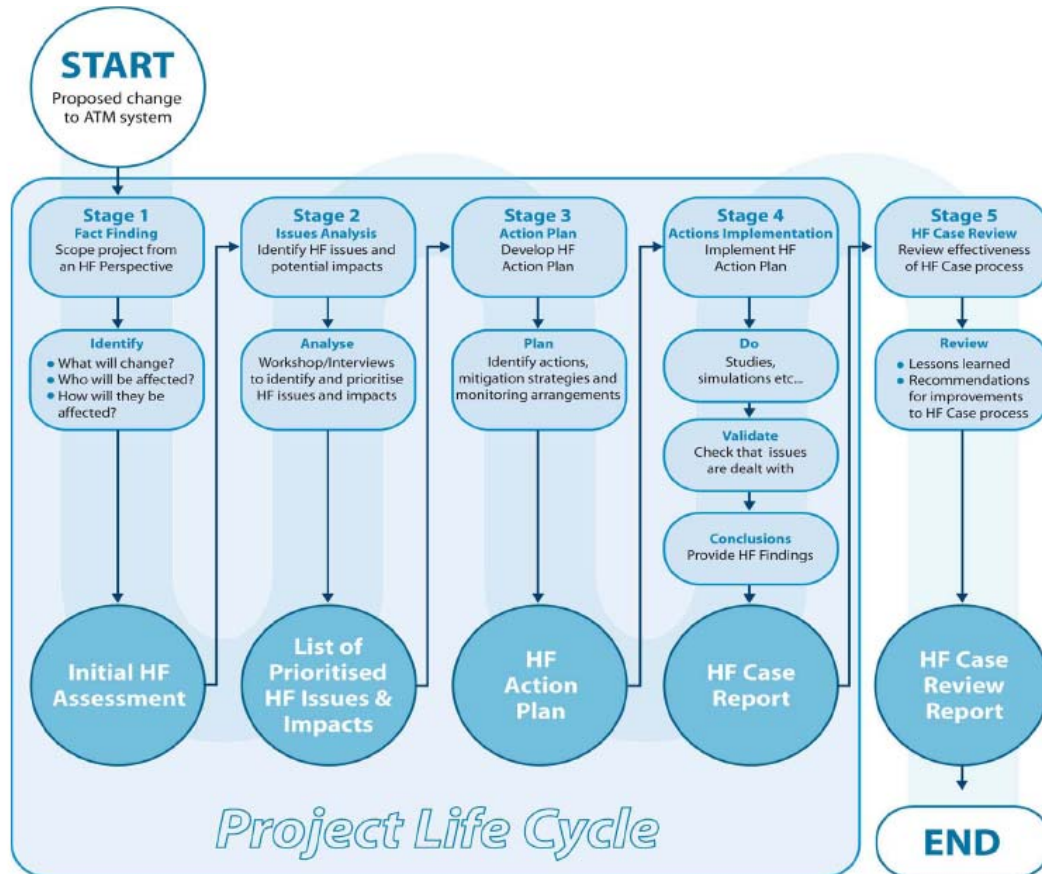


Abb. 1: HF Case Prozessüberblick

Stufe 1 - Fact Finding:

In dieser Stufe machen sich die HF Experten zunächst mit dem Projekt vertraut. Ziel des ersten Schrittes ist eine Abgrenzung des Projekts aus HF Sicht gegenüber einer technischen Sichtweise. Ferner erfolgt eine erste Identifikation von Veränderungen die zu erwarten sind, welche zukünftigen Nutzer betroffen sind und eine Einschätzung in welcher Art und in welchem Ausmaß diese betroffen sein werden.

Das Ergebnis von Stufe 1 ist eine Erstbeurteilung der für das Projekt relevanten Human Factors Themen. Daraufhin wird entschieden, ob entsprechend Bedarf und die Notwendigkeit besteht weitergehende Analysen (Stufe 2) durchzuführen oder ob das Projekt von keinen kritischen HF Elementen betroffen ist und der HF Case Prozess an dieser Stelle abgebrochen werden kann.

Stufe 2 - Issues Analysis:

In der zweiten Stufe werden mit den Projektbeteiligten projektspezifische HF Themen analysiert, Problemstellungen identifiziert und später priorisiert. Je nach Anzahl der Teilnehmer kann das in

Gesprächsrunden oder in einem Workshop stattfinden.

Um die Identifikation von projektrelevanten HF Themen zu strukturieren und durch eine systematische Betrachtung zu erleichtern dient der sogenannte „HF Pie“. Dieser ist grob in sechs Themenfeldern unterteilt: Interaktion Mensch-Maschine (Human in System), Arbeitsumgebung (Working Environment), Personalplanung und Organisationsentwicklung (Organisation and Staffing), Training and Development, Verfahren und Verantwortlichkeiten (Procedures, Roles and Responsibilities) sowie Teamarbeit (Teams and Communication). Damit entspricht der „HF-Pie“ einem multidisziplinären Ansatz, der sich mit einer systematischen Untersuchung und Einbeziehung der Rolle des Menschen befasst. Jedes Themenfeld muss im Rahmen einer Systementwicklung oder –veränderung adressiert werden.

Jedes Stück (Issue) des „HF Pie“ ist weiterhin in mehrere Ebenen untergliedert. Sie stellen einen Leitfaden bei der umfassenden Analyse des Projekts und seiner Auswirkungen dar und helfen bei der Identifizierung von HF Problemen.

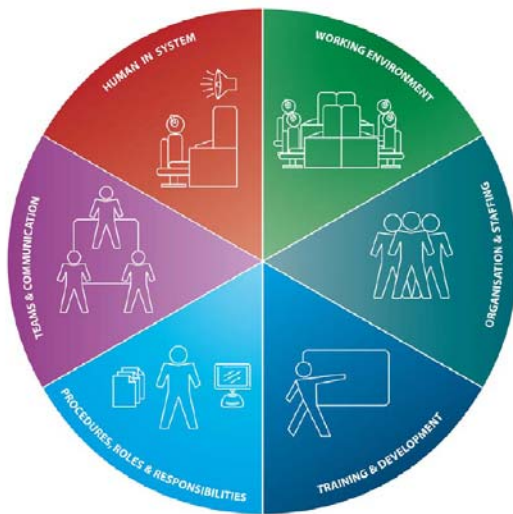


Abb. 2: Der „HF Pie“

So unterteilt sich beispielsweise die Kategorie Working Environment in Work Place Layout, Operator Working Position und Physical Environment. Darunter gibt es eine oder mehrere weitere Detaillierungsebene(n), in der Abb. 3 durch das (+) symbolisiert. Je nach Bedeutung für das aktuelle Projekt können somit die Kategorien des „HF Pie“ entsprechend detailliert betrachtet werden. Dadurch wird gewährleistet, dass alle HF Themen vollständig und systematisch berücksichtigt werden. Zunächst unabhängig davon, ob sie sich als tatsächlich relevant erweisen oder nicht.

Nach der Sammlung der projektrelevanten HF Themen auf Basis der HF issues und ihrer Definitionen werden diese weiter analysiert und bewertet. In einer sogenannten „Was-wäre-wenn“ Analyse werden mögliche Auswirkungen auf das

System herausgearbeitet, die eintreten würden, wenn ein potentielles HF Problem nicht angegangen wird. Diese Auswirkungen werden nach ihrem Ausmaß gewichtet und erste Ideen für Lösungsstrategien erarbeitet.

Zusätzlich werden die Auswirkungen jedes identifizierten HF Problems in der „Was-wäre-wenn“ Analyse hinsichtlich seiner Auswirkung auf die menschliche Leistung ausgewertet, falls ein Problem nicht im Projekt behoben würde. Die wichtigsten und häufigsten Einflussfaktoren menschlicher Leistung werden dabei anhand von zwölf Kategorien beschrieben. Diese sind Akzeptanz, kognitive Prozesse, Wohlbefinden, Fehler, Erschöpfung, Arbeitszufriedenheit, Motivation, Situationsbewusstsein, Veränderung von Fähigkeiten und Fertigkeiten, Stress, Vertrauen und Beanspruchung.



Abb. 4: HF Impacts

Auf dieser Basis werden abschließend mögliche Auswirkungen auf das Gesamtsystem und seine Leistung berücksichtigt, z.B. auf Aspekte wie Sicherheit (safety & security), Effizienz, Kapazi-

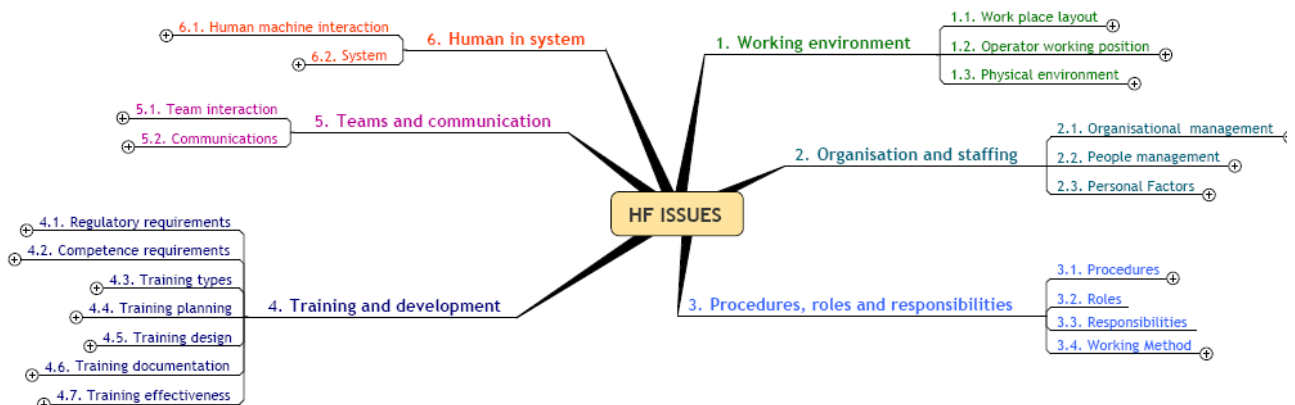


Abb. 3: HF Issues Mindmap

tät, Verzögerungen, Budget und Ressourcen.

Da die Diskussionen oft bereits in Richtung möglicher Lösungen steuert, werden gleichzeitig schon denkbare Maßnahmen und Ansätze zur Risikominderung dokumentiert, d.h. Lösungsstrategien mit denen die Auswirkungen auf die menschliche Leistung, wie auf das Gesamtsystem beseitigt werden könnten. Diese Lösungsstrategien bilden die Grundlage für die nächsten Stufen des HF Case.

Abschließend werden Kriterien ausgewählt und anhand dieser die Priorisierung der HF Problemstellungen durchgeführt. Hintergrund ist, dass aufgrund beschränkter Ressourcen nicht alle identifizierten HF Themen gleichermaßen bearbeitet werden können, sondern Schwerpunkte gebildet werden müssen. Mögliche Priorisierungskriterien können sein: Erforderlicher Aufwand, Einfluss auf die Akzeptanz, Auswirkung auf das geplante Implementierungsdatum, mit welchen „issues“ lassen sich auch andere Probleme lösen, Dringlichkeit usw. Die Priorisierungskriterien werden je nach Projekt festgelegt und angewendet.

Als Ergebnis dieser Stufe wird eine Dokumentation aller identifizierten und priorisierten HF Problemstellungen erstellt.

Stufe 3- Action Plan:

Der dritte Schritt des HF Case besteht darin, die relevanten HF Problemstellungen auszuwählen und einen Plan zu entwickeln, der die weiteren Aktivitäten sowie Lösungsstrategien innerhalb des Projektes beschreibt. Dabei wird Bezug genommen auf die identifizierten und priorisierten HF Themen aus Stufe 2, insbesondere auf die „Was-wäre-wenn“ Analysen.

In der Regel werden der Projektleiter und HF Vertreter die Liste identifizierter Problemstellungen durchgehen und mögliche Aktivitäten ableiten. Diese könnten sein:

- Entwickeln von Lösungsstrategien, d.h. Anwendung anerkannter und zweckmäßiger Interventionen, Methoden und Standards, um die negativen Auswirkungen in einem HF Bereich zu minimieren.
- Durchführung von Realzeit-Simulationen z.B. mit ersten Prototypen, um die Auswirkungen zu messen und quantitative wie qualitative Bewertungen zu erhalten.

- Analysen und Studien um weitere Daten zu erhalten und bestimmte HF Themen und ihre Auswirkungen im Kontext des jeweiligen Projekts besser zu verstehen, z.B. Literaturrecherchen, Aufgabenanalysen, Arbeitsplatzbegehung, Beobachtungen, Fehleranalysen und weitere verfügbare Informationsquellen, etc.

Die Umsetzung solcher Maßnahmen, insbesondere von Simulation oder Studien, wird oftmals einen erheblichen Aufwand an Zeit und Ressourcen erfordern. Der Action Plan sollte daher eine genaue Beschreibung der HF Aktivitäten enthalten, Angaben wie und zu welchem Zeitpunkt diese durchgeführt werden sollen sowie Kriterien, anhand derer der Erfolg einer Maßnahme beurteilt werden kann. Der HF Vertreter muss sich dabei ständig mit dem Projektleiter abstimmen, welche Maßnahmen notwendig, sinnvoll und durchführbar sind.

Als Ergebnis dieser Stufe wird ein HF Action Plan erstellt, in dem alle durchzuführenden Aktivitäten beschrieben sind. Im Idealfall wird dieser integrierter Bestandteil der übergreifenden Projektplanung.

Stufe 4 - Actions Implementation:

In dieser Stufe wird der zuvor entwickelte Plan umgesetzt, der Erfolg der Aktivitäten bewertet und Ergebnisse und Schlussfolgerungen in einem HF Case Bericht beschrieben.

Im Wesentlichen geht es also darum die Aktivitäten zu planen und durchzuführen (= Management). Der Erfolg der Aktivitäten wird anhand von Befunden, lessons learnt, Rückmeldungen der Beteiligten, Empfehlungen usw. bewertet und überprüft.

Das Ergebnis dieser Stufe ist der HF Case Bericht, der Ergebnisse der Aktivitäten aus Schritt drei und sich daraus ergebende Schlussfolgerungen einschließlich empfohlener Folgemaßnahmen beschreibt.

Stufe 5 - HF Case Review:

Während Stufe 1 bis 4 direkt an das Projekt gekoppelt sind, besteht Stufe 5 aus einer kritischen Bewertung des Prozesses an sich. Damit soll die Qualität des HF Case gewährleistet, bzw. gegebenenfalls Empfehlungen für Verbesserungen der HF Case Methodik abgeleitet werden. Vorgeesehen ist eine Überprüfung durch einen unab-

hängigen, d.h. bisher nicht im Projekt involvierten HF Experten.

Dieser wird das vorhandene Material, z.B. die Reports jeder Stufe, sichten und bewerten. Ferner kommen als Methoden Befragungen und Interviews mit Projektbeteiligten und Nutzern, Ergebnisse quantitativer Analysen aus HF relevanten Messungen, systematische Kosten-Nutzen Analysen u v m. in Frage. Insbesondere der Projektleiter sollte Rückmeldung dazu geben, inwieweit ein solch strukturiertes Vorgehen zum Erreichen der Projektziele beigetragen hat.

Als Ergebnis wird ein HF Case Review Report erstellt. Idealerweise sollte dann auch ein Rückmeldung an EUROCONTROL erfolgen, ebenso ein Austausch mit anderen Nutzern des HF Case, um eine kontinuierliche Verbesserung des Prozesses zu erhalten.

Pilotanwendung des HF Case in der DFS

Aufgrund der Bedeutung von Human Factors für die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems ATM wurde mit Beschluss der Geschäftsführung im November 2007 die Human Factors Plattform gegründet, u. a. zur Etablierung eines bereichsübergreifenden Netzwerks zur Abstimmung und Vernetzung von Positionen in Human Factors relevanten Gremien und Projekten sowie zur Förderung eines bereichsübergreifenden Bewusstseins für Human Factors Management in der DFS (s.a. Intranetmeldung [3]).

Im Rahmen dieser Human Factors Plattform werden zurzeit im Sinne der beschriebenen Ziele verschiedene Aktivitäten durchgeführt. Wesentliche Ziele sind dabei u. a. die Etablierung und Anwendung von anerkannten und einheitlichen Standards im Bereich Gestaltung von Arbeitsplätzen und anderen HF Bereichen, sowie die Durchführung von Human Factors Betrachtungen in Projekten.

Dementsprechend sollte überprüft werden, ob der Human Factors Case von EUROCONTROL ein geeigneter Standard-Prozess für die DFS ist, um HF Themen stärker und systematisch in (System-) Projekten zu berücksichtigen. Neben der Bewertung des notwendigen Know-hows zur Durchführung, sollte auch eine Abschätzung von Aufwand und Nutzen des HF Case gegeben werden.

Als Erstanwendung des HF Case bot sich das Arbeitspaket „Tower HMI“ an, welches im Ver-

bundvorhaben „Wettbewerbsfähiger Flughafen (WFF)“ durchgeführt wurde. Dieses Verbundvorhaben ist Teil des nationalen Luftfahrtforschungsprogramms (LUFO IV), gefördert vom BMWi.

Das Arbeitspaket „Tower HMI“ beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI= Human Machine Interface) für Tower-Lotsen zur integrierten Darstellung von Planungsinformationen der An- und Abflüge an einem Hub-Airport und hatte somit einen starken Bezug zu Human Factors (s. [2] in dieser Ausgabe von TE im Fokus). Dank der Unterstützung durch den Arbeitspaketleiter Dr. Jörg Bergner konnten die ersten beiden Stufen des HF Case als Pilotprojekt durchlaufen werden.

Im ersten Schritt des Fact Finding wurde an den regelmäßigen Projektbesprechungen teilgenommen und relevante Projektdokumente gesichtet. Im zweiten Schritt der Issues Analysis wurde der Fokus auf die HMI zur Darstellung der Planungsinformationen gelegt und wie oben in Stufe 2 beschrieben vorgegangen.

In drei Sitzungen mit dem Projektleiter Dr. Bergner wurden alle sechs „HF Pie“ Themenbereiche durchlaufen und relevante HF Probleme gesammelt. Da es zu diesem Zeitpunkt keine Tools gab, die die Durchführung des HF Case und die Dokumentation der (Zwischen-) Ergebnisse ermöglichte wurde pragmatisch eine Excel-Datei erstellt, um die Resultate der Issue Analyse festzuhalten. Mit den verfügbaren Funktionen konnten dann auch erste quantitative Analysen durchgeführt werden. Mit jedem Schritt der Issue Analyse wurde auch die Funktionalität der Excel-Datei immer weiter ausgebaut. Insofern hat die Pilotanwendung zugleich auch Entwicklungscharakter, da bereits Ansätze von für die DFS geeigneten Umsetzungstools entstanden sind.

Eine Besonderheit des WFF Projekts war, dass es schon relativ weit fortgeschritten war und die Issue Analyse somit ex-post durchgeführt wurde. Somit konnte überprüft und vermerkt werden, welche relevanten Aspekte im Projekt schon berücksichtigt worden sind bzw. in welchen Belangen Maßnahmen erforderlich gewesen wären. Bei der Analyse wurde daher bereits eine tatsächliche Implementierung Tower HMI als operatives System berücksichtigt und analysiert.

In der anschließenden „was-wäre-wenn“ Analyse wurden mögliche Auswirkungen auf das Gesam-

tystem bewertet., falls ein HF Problem nicht angegangen wird. Jedes relevante „issue“ wurde so bezüglich Sicherheit, Effizienz, Kapazität, Training, Budget und Verspätungen bei der Implementierung bewertet. Diese Auswirkungen wurden zusätzlich nach ihrem Ausmaß hoch-mittelgering bewertet. Gleichzeitig wurden erste Lösungsstrategien erarbeitet und die jeweils kritischsten Wechselwirkungen einer Lösung mit der menschlichen Arbeitsleistung anhand der zwölf Impact Kategorien (vgl. Abb. 4) erfasst.

Für die abschließende Priorisierung der HF Probleme wurden die Kategorien Arbeitsaufwand, Auswirkung auf das Implementierungsdatum und Dringlichkeit der Maßnahme gewählt und jeweils auf einer dreistufigen Skala bewertet.

Somit wurde eine vollständige Durchführung der ersten beiden Stufen des HF Case erreicht. Da das Projekt WFF schon weit fortgeschritten war, bestand keine Notwendigkeit mehr, einen Aktivitätenplan (Stufe 3) zu erstellen. Jedoch wurden schon während der „was-wäre-wenn“ Analysen in Stufe 2 wesentliche Lösungsstrategien erarbeitet, die in einem Aktivitätenplan eingeflossen wären.

Zusammenfassend ergaben sich folgende quantitativen Ergebnisse des HF Case in Bezug auf das Tower HMI und seine operative Implementierung. Es wurden 63 HF Themen analysiert, davon hatten 51 Relevanz. Schwerpunkte lagen im Bereich Training, Arbeitsumgebung, Organisation und Interaktion Mensch-Maschine. Unter Berücksichtigung einer möglichen Implementierung eines solchen Displays im Betrieb bestünde in 48 Themen Handlungsbedarf, davon 13 mit hoher, 22 mit mittlerer und 14 mit niedriger Priorität. Die hohe Zahl an relevanten Themen lässt erahnen, dass ohne eine systematische Analyse möglicherweise wichtige Human Factors Betrachtungen nicht erfolgt wären und potentielle Problemstellung erst später aufgefallen wären. Zum Teil war die Fülle und Wechselwirkung erfolgskritischer HF Themen für die Beteiligten höher als anfangs erwartet.

Fazit der Pilotanwendung

Grundsätzlich ist der HF Case eine gute Methode, um HF Themen strukturiert in einem Projekt zu adressieren. Es wird gewährleistet, dass alle Themen, die Human Factors relevant sind angesprochen werden und falls notwendig tiefer gehend analysiert werden.

Auch Dr. Bergner zog ein positives Fazit: „Es war sehr aufschlussreich die Human Factors Themen in ihrer Gesamtheit so strukturiert zu betrachten. Noch bedeutsamer wäre eine Anwendung in einem Implementierungsprojekt statt einem F&E Projekt“.

Eine erste Aufwandsabschätzung für die ersten beiden Stufen ergab, dass dieser je nach Projektumfang nicht unerheblich ist. Insbesondere die Durchführung eines Workshops mit einer relativ großen Anzahl von Projektbeteiligten, bindet entsprechend Ressourcen. Dennoch ist zu betonen, dass sich der erhöhte Aufwand zu Beginn eines Systemprojekts später auszahlen wird, denn nachträgliche notwendige Veränderungen, die eine (zu) spät durchgeführte Validierung aufdeckt, sind mit wesentlich höheren Kosten, nicht nur monetär, verbunden. So ist nachweisbar, dass Einflussmöglichkeiten von Human Factors Betrachtungen mit zunehmenden Entwicklungsstand eines Systems abnehmen. Aber je später HF berücksichtigt werden, desto schwieriger wird es Erkenntnisse in die Entwicklung zurückzuführen. Ergebnisse können nicht mehr berücksichtigt werden oder es steigt die Gefahr, dass Kosten- und Zeitrahmen nicht gehalten werden können und ein System nicht im gewünschten Maß den gestellten Anforderungen entspricht. Erfahrungen zeigen jedoch, dass Systeme oder Systemkomponenten oftmals erst relativ spät in der Entwicklung validiert werden (Benutzbarkeit der Benutzerschnittstelle, Funktionalitäten, Systemeffizienz, Akzeptanz, etc). Durch eine frühzeitige Berücksichtigung von Human Factors während der Systementwicklung kann hingegen das Zusammenspiel von Mensch, Technik und Verfahren objektivierbar verbessert werden. Ziel ist es, frühzeitig Fehlentwicklungen in einer neuen ATM Systementwicklung zu erkennen, Lösungsansätze zu entwickeln, die den Projekterfolg sicherstellen und dafür rechtzeitig Zeit und Ressourcen einzuplanen (Proaktive Vorgehensweise). Um das zu erreichen ist der HF Case ein sehr gut geeignetes Mittel.

Wie Eingangs erwähnt sollten HF Methoden nicht stringent verordnet, sondern flexibel und bedarfsgerecht berücksichtigt und angewendet werden. Dies gilt gleichermaßen für den HF Case, denn jedes Projekt ist unterschiedlich und die Schwerpunkte werden anderes gesetzt. Somit ist der HF Case nicht als starres Gebilde zu sehen, in dem jeder Schritt penibel umgesetzt werden

muss, sondern dass er bedarfsgerecht anzupassen ist

Wie in Stufe 5 beschrieben, unterliegt auch der HF Case einem stetigen Verbesserungsprozess im Austausch mit den bisherigen Anwendern. Auch während der Pilotanwendung konnte Verbesserungspotential identifiziert werden. So zeigte sich während der Issue Analyse, dass die Themenbereiche des HF Pies unterschiedlich stark detailliert sind und gewisse Redundanzen, bzw. Überschneidungen enthalten sind.

Zum Zeitpunkt der Pilotanwendung gab es noch kein Unterstützungstool, um den HF Case durchzuführen und Ergebnisse zu dokumentieren. Somit wurde mit vorhanden Mitteln der MS-Office Umgebung ein erstes Dokumentations- und Analysewerkzeug erstellt. Dieses ist allerdings noch nicht ausgereift. Mittlerweile existiert allerdings ein Tool von EUROCONTROL, welches die Durchführung des HF Case erleichtern soll. Eine abschließende Überprüfung und Bewertung dieses Tools steht noch aus. Daraufhin wird entschieden, inwieweit eine DFS interne Lösung weiter verfolgt wird, die an spezifische Anforderungen angepasst werden kann oder ob ein extern erstelltes Tool genutzt werden kann.

Vorhandene Möglichkeiten den HF Case weiter praktisch zu erproben sollten daher genutzt werden. Projektleiter, die die Notwendigkeit erkennen, Human Factors Themen in ihrem Projekt zu berücksichtigen, können sich mit den Autoren dieses Beitrags in Verbindung setzen oder eine Anfrage an die Human Factors Plattform (email: HF-Plattform@dfs.de) stellen. Erste Diskussionen um eine Einführung solcher HF Betrachtungen als Standard für DFS-Projekte wurden bereits angestoßen, z.B. im Rahmen der Projektleitertagung.

Sollten die Ergebnisse der Tower HMI Entwicklung ihre Fortführung in einem Implementierungsprojekt finden – erste Anzeichen dafür bestehen – hoffen die Autoren, dass die bisherigen Erkenntnisse, die der HF Case gebracht haben, berücksichtigt werden und bei Bedarf um notwendige Analysen und Maßnahmen erweitert wird.

Abschließend kann die Empfehlung abgegeben werden, den HF Case als Projekt Standard weiter zu entwickeln und zu nutzen, um der eingangs erwähnten Bedeutung von Human Factors gerecht zu werden.

Referenzen

[1]	Stefan Tenoort: TE und die Herausforderung „Human Factors“, TE im Fokus 1/08
[2]	Dr. Jörg Bergner: Entwurf einer integrierten Planungsanzeige für den Tower-Controller, TE im Fokus 1/09
[3]	Meldung im DFS-Intranet vom 22.1.2009

Forschungsprojekt INOUI (INnovative Operational UAS Integration) Über die Integration unbemannter Luftfahrzeuge in ein zukünftiges ATM System

Stefan Tenoort (TEH), Marita Lintener (AS)

Hintergrund

Unbemannte Luftfahrzeuge werden traditionell mit militärischen Anwendungen verbunden, z.B. als Drohnen für militärische Übungen, für Aufklärungseinsätze bis hin zu bewaffneten Kampfdrohnen. In den letzten Jahren hat sich allerdings parallel dazu ein verstärkter Bedarf an zivilen und hoheitlichen Anwendungen entwickelt. Verschiedenste Einsatzmöglichkeiten sind im Gespräch, zum Teil bereits in der Erprobung und teilweise sogar schon einsatzbereit. Diese konzentrieren sich auf Überwachungs- und Beobachtungsaufgaben, stationäre Relaisstationen und Frachttransport.

Mögliche zivile Missionen sind beispielsweise Luftaufnahmen, Unterstützung bei Agrareinsätzen, Überwachung und Kontrolle von Energieversorgungsleitungen und Verkehrsinfrastruktur, Forschungsmissionen zu Wetter, Klima, Flora und Fauna, Unterstützung der Feuerwehr bei Bränden oder des THW bei Katastropheneinsätzen, etc. Der teilweise Ersatz von kostspieligen Satelliten z.B. für Telekommunikation ist ebenso denkbar, wie der Einsatz als Transportsystem, um Medizin und Nahrungsmittel in entlegene, schwer zugängliche Gebiete bringen zu können. Die Nutzung zum Zwecke hoheitlicher Aufgaben umfasst Einsätze bei Polizei (z.B. Strafverfolgung) und Grenzschutz (Grenz- und Küstenüberwachung) sowie im Katastrophenschutz.

Die Größe von unbemannten Luftfahrzeugen (Englisch: Unmanned Aircraft – UA; wohingegen UAS Unmanned Aircraft System das komplette System, bestehend aus Luftfahrzeug, Kontrollstation, Datenübertragung u.a. bezeichnet) reicht von kleinen Microdrohnen (Micro Aerial Vehicle) mit einem Gewicht von wenigen Gramm (s. Abb. 1) bis hin zu großen Flugzeugen mit einer Spannweite von fast 40 m und einem Startgewicht von ca. 14.500 kg (z.B. Global Hawk, s. Abb. 2).

Viele unbemannte Luftfahrzeuge haben Flugeigenschaften, die ganz andere Einsatzmöglichkei-

ten bieten als bemannte oder bestimmte Einsatzzwecke erst gestatten. Sie sind oftmals wesentlich kleiner und wendiger, können sehr niedrig und langsam fliegen und Gebiete erreichen, die für bemannte LFZ nicht zugänglich sind, z.B. aufgrund ihrer Größe. Weitere Vorteile sind potentiell längere Missionszeiten, Verzicht auf bordseitige Lebenserhaltungssysteme und damit Gewichts- und Kostenersparnis und schließlich Einsatzmöglichkeiten, bei denen Gefahr für Piloten bestehen würde.



Abb. 1 Micro UA der Seiko Epson Corp



Abb. 2 Global Hawk der Firma Northrop Grumman

Es gibt eine Vielzahl potentieller Anwendungsgebiete für unbemannte Luftfahrzeuge und damit große Marktchancen für Industrie und Betreiberfirmen. Allerdings gibt es auch einige Hürden, die es zu überwinden gilt, bevor UA in größerer Zahl

eine neue Klasse von Luftraumnutzern werden können. Denn zurzeit fliegen diese nur mit Sondergenehmigungen oder in gesperrtem Luftraum, bzw. Flugbeschränkungsgebieten. Die große Herausforderung besteht allerdings darin, UA in jeglichen Luftraum zu integrieren und routinemäßig in die etablierten operationellen Abläufe einzubinden (z.B. „file-and-fly“). So ist die Zulassung von UAS noch nicht hinreichend geklärt, ebenso wenig die Lizenzierung von Piloten und Wartungspersonal. Für das Äquivalent des „see-and-avoid“ Prinzips in der bemannten Luftfahrt sind noch keine bindenden Anforderung spezifiziert und notwendige operationelle Verfahren derzeit nicht definiert.

Projektbeschreibung

Das Projekt INOUI (INnovative Operational UAS Integration) ist eine Antwort auf diese Herausforderung. Es ist im 6. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission, Directorate General for Energy and Transport (DG Tren), gefördert. Projektbeginn war Oktober 2007, Projektende ist Dezember 2009. Das Projektkonsortium wird von der DFS geleitet und besteht aus Herstellern, Forschungseinrichtungen, Beratungsfirmen, die aus Frankreich, Spanien und Deutschland stammen:

- DFS Deutsche Flugsicherung GmbH als Konsortialführer
- Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España, S.A. (Isdefe),
- Boeing Research & Technology Europe, S.L. (BRT&E),
- Fundación Instituto de Investigación INNAXIS,
- Rheinmetall Defence Electronics GmbH (RDE),
- Office National d'Etudes et Recherches Aéropatiales (Onera) und
- Oldenburger Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Informatik-Werkzeuge und -Systeme (OFFIS).

INOUI beschäftigt sich mit der Integration von „Unmanned Aircraft Systems“ (UAS) in den zivilen Luftverkehr 2020+. Das Projekt versteht sich als „Kondensationskern“ für einen künftigen ganzheitlichen Ansatz, um ein Konzept für die Integration von UAS in den künftigen Luftraum 2020+ unter SESAR Bedingungen vorzuschla-

gen. Die Zielsetzung ist, die SESAR Konzepte hinsichtlich der UAS Thematik zu vervollständigen, denn in den bisherigen SESAR Dokumenten D1 bis D6 der Development Phase werden UAS nur als Randerscheinung erwähnt.

Der Fokus von INOUI liegt daher in der Integration von UAS außerhalb von Flugbeschränkungsgebieten und in einem ATM System, wie es 2020+ zu erwarten ist. Dabei müssen natürlich notwendige Zwischenschritte für eine sukzessive Integration berücksichtigt werden. Entsprechend wurden die verschiedenen Arbeitspakete (WPs) des Projekts definiert.

- WP1 - Operationelle Konzepte: Identifikation operationeller Konzepte von UAS Anwendungen sowie Bestimmung und Beschreibung notwendiger Verfahren und Anforderungen im Zeitrahmen von 2020+.
- WP2 - ATM Umgebung: Bewertung der technischen Anforderungen und Identifikation der notwendigen Entwicklungen um UAS in ein ATM System von 2020 zu integrieren.
- WP3 - Zulassung und Lizenzierung: Analyse bestehender Zulassungsanforderungen und Erarbeitung von Vorschlägen, um die Zulassung von UAS und zugehöriger Technologien sowie Lizenzierung von Personal zu standardisieren.
- WP4 - Zukünftige Betriebsabläufe: Analyse, wie UAS in ein System Wide Information Management System (SWIM) eingebunden werden und alle Luftraumnutzer profitieren können sowie Identifikation der notwendigen Aktivitäten, um eine Integration zu erreichen.
- WP5 - Sicherheitsanalyse: Entwicklung von Sicherheitszielen und Anforderungen, Bestimmung der Gefährdungsfaktoren für den UAS-Betrieb und Durchführung einer Sicherheitsbewertung.
- WP6 - Flugplatzkonzepte für UAS: Anforderungen von UAS an Flugplätze, Identifikation möglicher geeigneter Flugplatztypen für UAS, Erarbeitung entsprechender operationeller Konzepte und Verfahren sowie Identifikation und Bewertung notwendiger Technologien.

Daneben gibt es noch die Arbeitspakete „Projektmanagement“ (WP0) und „Publikation und Verbreitung“ (WP7).

Zusammenarbeit mit der UAS Stakeholder Community

Eine Vielzahl von Interessen- und Nutzergruppen, die sog. Stakeholder, beteiligen sich an den aktuellen Diskussionen und Forschungen zur zivilen Nutzung von UAS. Bestandteil des INOUI-Projekts ist u.a. die Durchführung von zwei Stakeholder Workshops. Der 1. Stakeholder Workshop als Teil des Arbeitspaketes 1 „UAS ATM Concepts, Procedures and Requirements for 2020“, fand vom 21. – 23. Oktober 2008 statt, der 2. Stakeholder Workshop als Teil des Arbeitspakets 6 „New Aerodromes Concepts for UAS“ vom 10.-12. März 2009. Ziele dieser Workshops waren die Diskussion der bisherigen INOUI-Arbeit sowie der Austausch über die Wechselwirkungen zwischen SESAR, INOUI und UAS. Ziel bei beiden Workshops war außerdem der gegenseitige Informationsaustausch zwischen den Teilnehmern, um die Herausforderungen für die Implementierung von UAS Anwendungsgebieten integriert zu betrachten. Die Workshop-Ergebnisse flossen in die INOUI-Arbeit ein und sind damit auch Input für künftige SESAR-Detailkonzepte. Insgesamt nahmen 54 Teilnehmer aus Europa und USA an dem 1. Workshop teil, 46 Teilnehmer beteiligten sich am 2. Workshop. Alle UAS-Stakeholder wie private, staatliche und militärische Nutzer, Betreiber, Regulatoren und Behörden, Forschungsinstitute, Produzenten, ANSPs waren mit mindestens einem Repräsentanten vertreten. Weiterhin waren andere Projekte z.B. Air4All und Organisationen wie Eurocae WG73 aktiv eingebunden. Die NATO war in beiden Workshops mit Vertretern des Joint Air Power Competence Centre (JAPCC) beteiligt.

In der folgenden Abb. 3 ist das Umfeld der UAS Aktivitäten schematisch dargestellt. Im inneren Kreis sind die wichtigsten Stakeholdergruppen abgebildet, der äußere Kreis zeigt die relevanten Themenschwerpunkte, die für eine erfolgreiche Integration von UAS in das bestehende bzw. zukünftige ATM-System bearbeitet werden müssen. Bis auf Security werden alle Themen in INOUI behandelt.

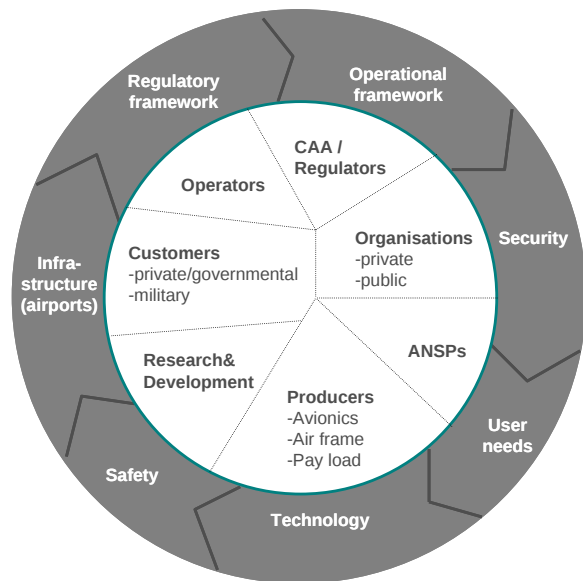


Abb. 3 UAS Stakeholder Rahmenbedingungen

Nach Teilnehmeraussagen boten die Workshops den Stakeholdern, die neu im Gebiet UAS arbeiten, die Möglichkeit, sich umfassend über den aktuellen Stand der UAS Aktivitäten und Probleme zu informieren. Langjährigen Experten wurden die verschiedenen Teilgebiete und Probleme, die einer UAS Einführung zurzeit entgegenstehen, erstmals in dieser Breite und Übersichtlichkeit präsentiert.

Im 1. Workshops traten als Key Note Speaker Gilles Fartek, Europäische Kommission Leiter DG TREN 2 sowie Peter Ahlers, DFS und designierter Leiter des WP B vom SESAR Joint Undertaking Programm (SJU) auf. Neben grundlegenden Präsentationen zu verschiedensten UAS-Teilthemen wurden vier parallele Arbeitsgruppen durchgeführt. Themen dieses Workshops waren „Challenges for the integration into future SESAR ATM environment“, „User needs“, „Use of UAS technology for manned aviation“ und „Regulatory issues“. Im 2. Workshop im März wurden die Themen „Concepts for UAS operations at aerodromes“ und „Technologies to enable UAS operations at aerodromes“ in Arbeitsgruppen behandelt. Die Ergebnisse dieser Working Sessions wurden jeweils am Ende im Plenum vorgestellt und diskutiert sowie konkrete Zusammenarbeit für Teilthemen zwischen den Teilnehmern vereinbart. So wurde z.B. in der Gruppe „Regulatory issues“ des 1. Workshops eine konkrete Zusammenarbeit für die kurzfristige Umsetzung von Richtlinien zur Zertifizierung verabschiedet, ein

gemeinsames Diskussionsforum wird dazu auf der INOUI Internetseite eingerichtet. Des Weiteren wurden Überschneidungen bzw. Synergien zwischen zivilen und militärischen Anwendungsgebieten herausgearbeitet und eine künftige engere Zusammenarbeit vereinbart.

Die beiden INOUI Stakeholder-Workshops und ihre Ergebnisse stellen damit einen wichtigen Meilenstein im Projektverlauf dar. Die Diskussionen und Arbeitsgruppenergebnisse fließen direkt in die zu erstellenden Projektberichte der einzelnen Arbeitspakete ein.

Aktuelle Aktivitäten und Ausblick

Der Schwerpunkt der aktuellen Arbeit im INOUI-Projekt liegt in der Fertigstellung der zu liefernden Dokumente sowie in der parallelen Diskussion mit anderen UAS Forschungs- und Arbeitsgruppen. Inzwischen werden Teilergebnisse, nach Freigabe durch die Europäische Kommission, publiziert und auf Fachtagungen vorgestellt. Im Laufe des Jahres 2009 findet eine verstärkte Zusammenarbeit mit dem SESAR-Team statt, insbesondere mit dem DFS-Team des SESAR-Arbeitspakets B „Target Concept and Architecture Maintenance“, das als zentraler Ankerpunkt für UAS innerhalb von SESAR dienen wird.

Die Gesamtergebnisse des Projekts INOUI werden den UAS-Stakeholdern auf einem Final INOU Dissemination Forum vorgestellt, das vom 1.-3. Dezember 2009 in Brüssel stattfinden wird.

Die DFS ist im Bereich UAS Forschung nicht nur bei INOUI, sondern auch im Rahmen der Projekte WASLA/HALE (Weitreichendes Abbildendes Signalerfassendes Aufklärungssystem / High Altitude, Long Endurance, vorgestellt in [1], [2]) sowie VUSIL (Validierung von UAS zur Integration in den Luftraum, vorgestellt in [3]) aktiv. Erfahrungen mit Flugtests und Simulationen aus VUSIL sind in die INOUI-Konzepte eingegangen. Umgekehrt ist geplant, Erkenntnisse und Konzepte, die im Rahmen von INOUI erarbeitet wurden, künftig in praktischen Tests zu validieren. Projekte wie VUSIL II (Fortführung von VUSIL) bei der DFS können dabei jedoch nur der Anfang sein. Die schrittweise Implementierung von verschiedensten UAS-Anwendungen und -Missionen zum zivilen und hoheitlichen Nutzen - auf Basis der erarbeiteten und geprüften Konzepte - muss das Ziel sein, damit UAS ihren Platz am Himmel als neue Luftraumnutzer erobern.

Aktuelle Projektinformationen, die Präsentationen der INOUI-Stakeholder-Workshops sowie publizierte Dokumente finden sich auf der INOUI-Homepage <http://www.inoui.isdefe.es/INOUI>.

Ansprechpartner:

- UAS Focal Point im Bereich Forschung und Entwicklung: Andreas.Udovic@dfs.de
- INOUI-Projektkoordination AS/C:
Achim.Baumann@dfs.de,
Marita.Lintener@dfs.de
- Leiter INOUI WP1:
Stefan.Tenoort@dfs.de

Referenzen

[1]	Andreas Udovic, Heinz Thomas: Unmanned Aerial Vehicles (UAV) - Simulation von Verfahren bei TE, TE im Fokus 2/03
[2]	Andreas Udovic: UAS – Unmanned Aircraft Systems: Systemüberblick und DFS-Aktivitäten, TE im Fokus 2/07
[3]	Andreas Udovic: VUSIL-Flugversuche, TE im Fokus 2/08

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, 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),
Oliver Haßa (oliver.hassa@dfs.de),
Stefan Tenoort (stefan.tenoort@dfs.de)

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

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