

2/12

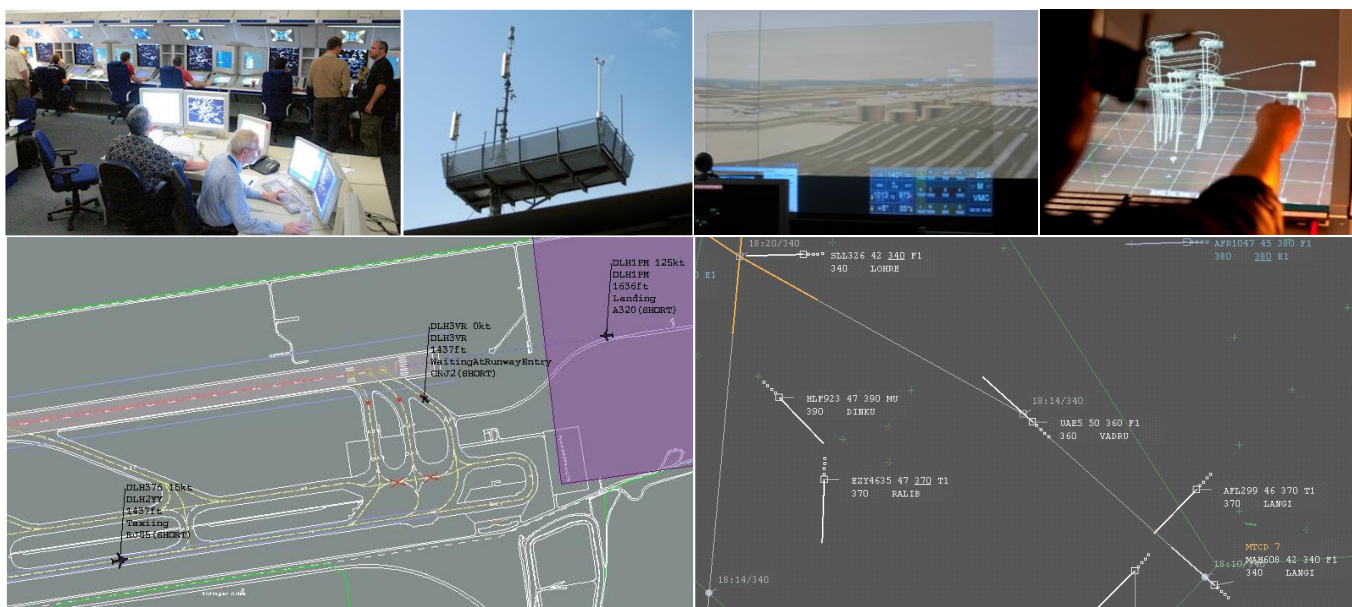
22.11.2012

TE *im Fokus*

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

In dieser Ausgabe:

- SESAR-Validierung der DFS-Tower-iCWP im TOSIM
- Fortschrittliche Visualisierungssysteme für Fluglotsenarbeitsplätze
- „Early Benefits“ von ADS-B: MSCC Nutzung ohne vollständige Mode S Überdeckung
- Funkfeldmessung in Echtzeit mit AMOR-Komponenten
- Proposal for a frequency flexible SSR/Mode N system
- Spracherkennung findet Einzug in der DFS
- Kopplung zwischen einem Schnellzeitsimulationstool und betrieblichen Planungssystemen



DFS Deutsche Flugsicherung

Inhalt

Abstracts der Heftbeiträge	2
Dr. Stephen Straub (TM/SPA), Oliver Rühl SESAR-Validierung der DFS-Tower-iCWP im TOSIM	3
Dr. Jörg Bergner, Christoph Schmand Fortschrittliche Visualisierungssysteme für Fluglotsenarbeitsplätze.....	7
Steffen Marquard, Dr. Andreas Herber, Ralf Heidger (SH/P), Jürgen Dix (SH/MA) „Early Benefits“ von ADS-B: MSCC Nutzung ohne vollständige Mode S Überdeckung	14
Harald Fischer, Ralph Hutzenlaub (SIS/RSS) Funkfeldmessung in Echtzeit mit AMOR-Komponenten.....	18
Joachim Wollweber (SIS/MP), Dr. Roland Mallwitz (SIS/S), Steffen Marquard Proposal for a frequency flexible SSR/Mode N system.....	26
Michael Slotty, Oliver Rühl Spracherkennung findet Einzug in der DFS.....	31
Katharina Schwentek Kopplung zwischen einem Schnellzeitsimulationstool und betrieblichen Planungssystemen	38
Impressum.....	44

Die Autoren sind, soweit nicht anders gekennzeichnet, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Bereich Forschung und Entwicklung der DFS.

Abstracts der Heftbeiträge

Dr. Stephen Straub, Oliver Rühl: **SESAR-Validierung der DFS-Tower-iCWP im TOSIM** - Die prototypische Umsetzung einer integrierten Controller Working Position (iCWP) ist eines der Forschungsziele von SESAR. Während die heutigen CWP-Lösungen im Tower ein wahres Patchwork einzelner Bildschirme und verschiedener Eingabegeräte vorsehen, sollen zukünftig die Informationen in einer vereinten, situationsabhängigen sowie rollenbezogenen Darstellung die Arbeit des Towerlotsen unterstützen. Die neue Systemarchitektur wird es erlauben, maßgeschneiderte Systeme für kleine, mittlere und große Flughäfen zu konfigurieren. Der erste Prototyp mit dieser Architektur wurde nun im 3D-Tower-Simulator der DFS validiert.

Dr. Jörg Bergner, Christoph Schmand: **Fortschrittliche Visualisierungssysteme für Fluglotsenarbeitsplätze** - Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick aktueller Arbeiten zu fortschrittlichen Anzeigesystemen in der Flugsicherung am Beispiel der Tower- und Centerlotsenarbeitsplätze. Im ersten Abschnitt wird eine Head-Up Darstellung von kontakt-analogen Informationen für Tower-Lotsen vorgestellt. Der zweite Abschnitt beschreibt die Entwicklung einer stereoskopischen Luftlagedarstellung für Radar-Lotsen in einer Kontrollzentrale. Für beide Anzeigesysteme wurden Demonstratoren erstellt und in Realzeitsimulationen durch Fluglotsen betrieblich bewertet.

Steffen Marquard, Dr. Andreas Herber, Ralf Heidger, Jürgen Dix: **„Early Benefits“ von ADS-B: MSCC Nutzung ohne vollständige Mode S Überdeckung** - Insbesondere an Flughäfen mit konventionellen ASR-Anlagen, an denen keine oder nur unvollständige Mode S-Überdeckung vorhanden ist, kann aufgrund der nicht eindeutigen Identifizierung der Luftfahrzeuge kein Mode A Gruppencode (Conspicuity Code) verwendet werden. Eine Innovationsidee aus dem Bereich F&E verbirgt sich hinter dem Begriff MOCCA: Auffüllen von Überdeckungslücken durch Mode S durch Kombination von ADS-B und SSR für die Nutzung von MSCC auf Basis der bestehenden Radarinfrastruktur. Dazu wurde ein ADS-B-Sensor am Flughafen Nürnberg installiert, der seine Daten via Test-RADNET an das Systemhaus liefert. Erste Ergebnisse liegen nun vor und sind vielversprechend.

Harald Fischer, Ralph Hutzenlaub: **Funkfeldmessung in Echtzeit mit AMOR-Komponenten** - Die DFS besitzt mit der Sensorik aus dem Projekt AMOR (ACAS Monitor) ein bundesweit verteilt installiertes Empfängernetzwerk, mit dem Daten auf den SSR Kanälen empfangen werden können. Durch eine Erweiterung, den RT-RFM, ist es möglich, einen Sensorstandort um die Funkfeldmonitorfunktionalität für die SSR-Kanäle, 1030 und 1090 MHz) zu erweitern. In dem Artikel wird auf die Funktionsweise, erste Messungen sowie einen Ausblick eingegangen.

Joachim Wollweber, Dr. Roland Mallwitz, Steffen Marquard: **Proposal for a frequency flexible SSR/Mode N system** – Gegenstand des Artikels die Erläuterung eines Vorschlags für den Ersatz von DME und TACAN durch ein System (Mode N-Transponder), das Navigations-, Surveillance und Data Link Funktionen in einem System vereinen kann. Das vorgeschlagene System wäre Spektrum-effizienter, würde mehr Funktionen wie inter-aircraft-link bieten und keine grundlegende Änderung an vorhandenen ICAO-Standards erfordern.

Michael Slotty, Oliver Rühl: **Spracherkennung findet Einzug in der DFS** – Bereits Ende der 90er Jahre wurde Spracherkennung für das Simulatorumfeld im F&E-Bereich der DFS getestet. Damals war die Erkennungsrate viel zu niedrig und die damalige Technik noch nicht reif für Anwendungen im Flugsicherungsbereich. Nach 2003 wurde das Thema wieder aufgegriffen - und obwohl die Software bereits integriert war, erschien die Erkennungsrate immer noch nicht ausreichend, um sie im Trainingsbetrieb einzusetzen. Mittlerweile ist die Entwicklung "reif" und Spracherkennung hat Einzug in die Ausbildungssimulatoren der DFS gehalten. Der vorliegende Artikel gibt dazu einen Überblick über Technik und Realisierung sowie einen Ausblick auf Kommendes.

Katharina Schwentek: **Kopplung zwischen einem Schnellzeitsimulationstool und betrieblichen Planungssystemen** – Bisher ist für die Untersuchung und Validierung neuer oder erweiterter Planungssysteme die Durchführung von zeit- und ressourcenaufwändigen Realzeitsimulationen erforderlich. In iPort fand erstmals die Kopplung zwischen dem Schnellzeitsimulationstool AirTOP und den Planungssystemen CLOU/FMAN, AMAN sowie DMAN statt. Das Ziel war, den potentiellen Nutzen einer prä-taktischen Mengenvorsteuerung für die Verkehrsabwicklung an einem Hub-Flughafen zu untersuchen. Der Artikel beschreibt zunächst die Umsetzung und Probleme, die während der Simulationen auftraten. Anschließend werden die Erkenntnisse aufgeführt, die aus dieser neuartigen Kopplung gezogen werden können sowie auf potentielle Verwertungsmöglichkeiten eingegangen.

SESAR-Validierung der DFS-Tower-iCWP im TOSIM: Erste Bewährungsprobe einer offenen Architektur für zukünftige Lotsenarbeitsplätze

Dr. Stephen Straub (TM/SPA), Oliver Rühl

Abstract

Die prototypische Umsetzung einer integrierten Controller Working Position (iCWP) ist eines der Forschungsziele des "Single European Sky Implementation Programm (SESAR)". Während die heutigen CWP-Lösungen im Tower ein wahres Patchwork einzelner Bildschirme und verschiedener Eingabegeräte vorsehen, sollen zukünftig die Informationen in einer vereinten, situationsabhängigen sowie rollenbezogenen Darstellung die Arbeit des Towerlotsen unterstützen (A-iCWP, Airport iCWP, im folgenden nur iCWP genannt). Die neue Systemarchitektur wird es erlauben, maßgeschneiderte Systeme für kleine, mittlere und große Flughäfen zu konfigurieren. Der erste Prototyp mit dieser Architektur wurde nun im 3D-Tower-Simulator der DFS validiert.

Einleitung

Die verbesserte Interoperabilität vom ATM-Systemen sowohl auf technischer als auch auf betrieblicher Ebene ist ein wesentliches Ziel von SESAR, ist sie doch auch einer der Schlüssel für eine Verbesserung der Effizienz, die Erhöhung der Kapazitäten und Kostensenkungen. Im Hinblick auf einen zukünftigen integrierten Arbeitsplatz für Tower-Lotsen ist dies eine effizientere Benutzeroberfläche und damit verbunden eine effizientere Gestaltung der Arbeitsabläufe betrieblicher Verfahren, was zu einer Erhöhung der Flughafenkapazitäten und einer Senkung der Investitions- und Betriebskosten für alle beteiligten Interessengruppen führen soll.

SESAR-Projekt 12.05.04: technische Umsetzung operationeller Anforderungen

Die prototypische Umsetzung einer zukünftigen integrierten Tower Controller Working Position (iCWP) ist das Ziel des SESAR-Projektes 12.05.04 "Advanced integrated Controller Working Position". Statt einem Flickwerk einzelner Bildschirme individueller Anwendungen und verschiedener Eingabegeräte von heute existierenden CWP-Lösungen, sollen zukünftig die Infor-

mationen der Systemkomponenten in einer konsistenten und vereinten, situationsabhängigen und rollenbezogenen Darstellung auf ein oder zwei großen Bildschirmen integriert, die Arbeit des Towerlotsen bestmöglich unterstützen.

Zuarbeit zu diesem Prototypen wird von den anderen im SESAR Arbeitspaket 12 "Airport" angesiedelten technischen Projekten geleistet, deren prototypische Komponenten sich als Module "nahtlos" in die iCWP einfügen sollen. Die geeignete Kombination dieser Komponenten soll es erlauben, maßgeschneiderte Systeme für unterschiedliche Nutzerrollen sowohl für kleine, mittlere und große Flughäfen zu konfigurieren.

Den individuellen Kundenanforderungen entsprechend sind kombinierbare Module ein wesentliches Merkmal der im Systemhaus der DFS entwickelten Towersysteme. Hinzu kommt die in SESAR gesetzte Service-orientierte Architektur, die es erlaubt das Gesamtsystem als eine Menge beliebig kombinierbarer Informationsdienste zu betrachten.

Hat man diese Architektur umgesetzt, so liegt es nahe, diese Dienste zu standardisieren und diese Standards öffentlich zu machen. Somit wären Komponenten leicht durch neue, leistungsfähigere zu ersetzen und auch Komponenten unterschiedlicher Hersteller einfach und kostengünstig im Verbund miteinander einsetzbar. Diesen Ansatz verfolgt die DFS bei der Entwicklung der iCWP.

Die Entwicklung des iCWP-Prototypen

In der ersten von drei Entwicklungsphasen des Projektes 12.05.04 entstand der Rahmen für die weitere Entwicklung der iCWP, welches die Integration beliebiger Komponenten in das Gesamtsystem erlaubt. Basis für diese Entwicklung ist die Konzeption einer offenen Architektur mit offenen Schnittstellen, in der Komponenten und Dienste gleicher Funktionalität beliebig austauschbar sind. Die Verwendung etablierter *Open Source*-Lösungen soll eine Herstellerabhängigkeit des Frameworks verhindern und gleichzeitig

von der ständigen Weiterentwicklung dieser Lösungen profitieren.

Als Machbarkeitsnachweis wurde das elektronische Flugstreifensystem smartStrips® der Firma Frequentis in die DFS-iCWP integriert. Die Firma Frequentis unterstützt ebenfalls die Entwicklung offener Standards und ist interessiert daran, ihre Komponenten in ein Gesamtsystem zu integrieren. Für die DFS dient diese Kooperation mit einer Fremdfirma als ein perfektes Beispiel für die Leistungsfähigkeit des gewählten Integrationsansatzes. Die entwickelte offene Systemarchitektur wird so gezwungenermaßen sofort vom Konzept in ein real existierendes und funktionierendes System überführt.

Das Validierungsteam

Den Abschluss der Phase 1 bildete die Validierung des iCWP-Prototypen vom 4. bis 6. Juni 2012. Die Planungen und Vorbereitungen der Übungen vor Ort übernahmen die Kollegen des Bereichs Forschung & Entwicklung als Vertreter des SESAR Arbeitspaketes 3. Ort der Validierung war der Tower-Simulator in den Räumlichkeiten der Akademie (TOSIM 3D-2¹). Das TOSIM-Produktmanagement stand beratend und unterstützend bei den Validierungsvorbereitungen und dem Aufbau der iCWP-Hardware zur Seite. Die Kollegen der Akademie erstellten die erforderlichen Simulationsszenarien und begleiteten zusammen mit den Simulationspiloten die Validierungsübungen. Das SESAR-Projekt 6.9.2 hatte die Validierungsübungen Nr. 569 geplant, durchgeführt und wird sie auch auswerten. Lotsen aus diesem Projekt nahmen dazu an den Simulationen vom Betrieb des Flughafen Hamburg teil, um die iCWP zu validieren. Es handelte sich dabei um zwei ehemalige Airport-Lotsen, die jetzt bei Eurocontrol arbeiten. Zwei Arbeitspositionen waren definiert, *Tower Runway Controller* und *Tower Ground Controller*. Aufgrund der guten Zusammenarbeit der DFS-internen wie externen Partner (Frequentis, Eurocontrol) konnten die Simulationen erfolgreich durchgeführt werden.

¹ Zweiter Tower-Simulator der DFS mit 3D-Sichtsystem

Die operationellen Anforderungen

SESAR Projekt 06.09.02 spezifizierte die operationellen Anforderungen an das HMI der iCWP und dessen Nutzung. Die Validierung dieser Anforderungen war das Ziel der durchgeführten Übungen. Darüber hinaus war es für die Lotsen aber auch wichtig zu erfahren, wie ihre Anforderungen umgesetzt wurden, und diese Erfahrungen dann wieder in das operationelle Projekt 06.09.02 einfließen zu lassen. Dies erlaubt es Vergleiche mit den parallel laufenden iCWP-Validierungen der Prototypen von Thales, Indra und Selex zu ziehen, und anhand der gewonnen Erkenntnisse die operationellen Anforderungen zu verfeinern und weiterzuentwickeln.

Die Simulationsumgebung

Der Towersimulator TOSIM simulierte das operationelle System, welches die Daten (Flugplandaten, Asterix CAT011) des simulierten Flughafens *Hamburg Airport* für die iCWP lieferte. Über ein 4-kanaliges Projektionssystem wurde die 3D-Außenansicht des Towers in einer 180° Sicht projiziert. An zwei Pilotenpositionen wurden die simulierten Luftfahrzeuge gesteuert und über Voice Communication die Anweisungen der Lotsen entgegen genommen.

Der Lotsenarbeitsplatz

Ein Lotsenarbeitsplatz besteht aus zwei 22 Zoll großen, interaktiven Stift-Displays der Firma WACOM, von denen je Einer für die elektronischen Flugstreifen (smartStrips von Frequentis) bzw. für die PHOENIX Boden- und Luftlagedarstellung genutzt wird. Die Anwendungen sind komplett mit Stifteingabe bedienbar, Maus und Tastatur werden nicht benötigt. In der Validierung kamen jeweils ein Lotsenarbeitsplatz für den Runway Controller und für den Ground Controller zum Einsatz. Hinzu kommt die Frequentis Voice Communication für die Kommunikation mit den Simulationspiloten.

Ablauf der Validierung

Der einzelne Validierungslauf dauerte zwischen 45 und 60 Minuten. Es standen je zwei Simulationsszenarien mit mittlerer (28 Starts und Landungen) und mit hoher Verkehrslast (40 Starts und Landungen) zur Verfügung, die durch Tau-

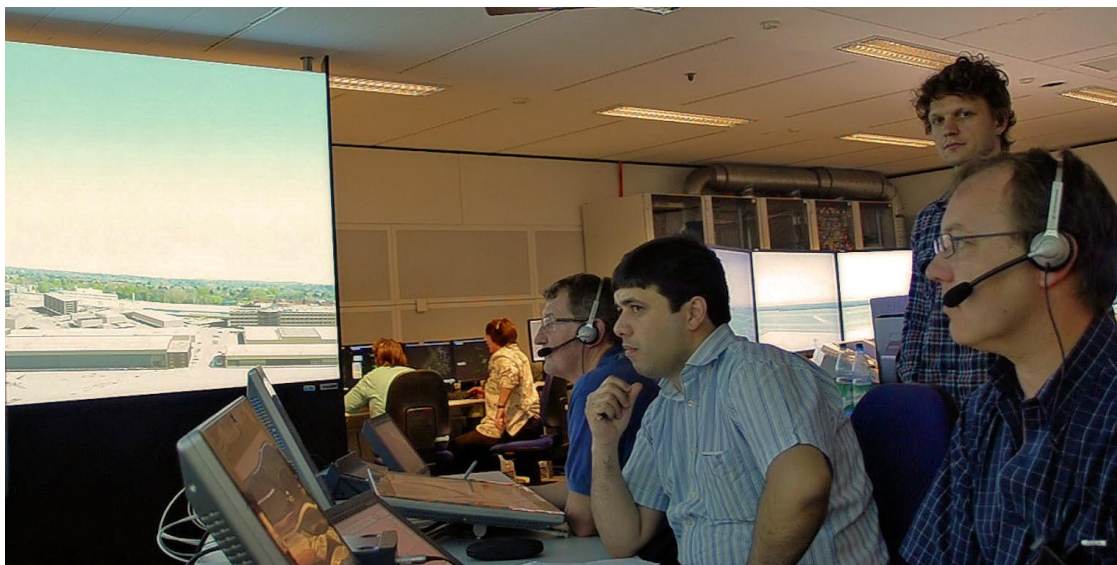


Abb. 1: Validierungslauf im Tower-Forschungssimulator (TOSIM 3D-2) der Akademie

schen der Rollen (*Tower Ground Controller*, *Tower Runway Controller*) und Änderung der Bahnbetriebsrichtungen variiert wurden. Die Verkehrsszenarien reflektierten nicht zwangsläufig „typischen“ Verkehr, sondern waren auch an der Demonstration spezieller Situationen orientiert, um bestimmte Systemreaktionen zu provozieren. Um Gewöhnungseffekte zu vermeiden, wechselten die Lotsen von Lauf zu Lauf die Arbeitspositionen. Bei einem Teil der Validierungsläufe wurde einer der Lotsen mit einem Eye Tracking System

der Firma Frequentis ausgestattet, um eine Blickzielmessung durchzuführen und damit zu erfassen, wohin er seine Aufmerksamkeit richtet.

Für die Lotsen, die ein Flughafenlayout mit Parallelbahnen (Charles de Gaulles/Paris) gewöhnt waren, stellten sich die gekreuzten Bahnen des Hamburger Flughafens als neue Herausforderung dar. Es zeigte sich, dass Erfahrungen von Parallelbahnsystemen nicht einfach 1:1 übertragbar sind.



Abb. 2: Die iCWP: integrierte Nutzung von Flugstreifenanwendung (unten, liegend) und kombinierter Luft- und Bodenlage (dahinter, stehend)

Validierungsergebnisse

Die Auswertung der erhobenen Daten dauert noch an. Aus den Aussagen der beteiligten Lotsen kann man aber ableiten, dass die durchgeführte Integration (d.h. Verwendung der gemeinsamen Datenbasis, komponentenübergreifende Selektion von Zielen, simultane Darstellung von Informationen und Warnungen) erfolgreich war und es nicht offensichtlich wurde, dass die iCWP eigentlich aus verschiedenen Komponenten besteht. So ist z.B. einem in der Bodenlage selektierten Ziel sofort der automatisch selektierte Flugstreifen zuzuordnen, ein Safety Net Alarm wird gleichzeitig am Flugstreifen und in der Bodenlage am betroffenen Luftfahrzeug angezeigt (siehe Abb. 3). Der erste Schritt in Richtung einer iCWP ist getan: durch das Aufbrechen der Grenzen zwischen den verschiedenen Anwendungen des herkömmlichen Lotsenarbeitsplatzes ermöglicht sich ein flüssigeres Arbeiten mit den Komponenten des neuen iCWP-HMIs.

Zukunftsperspektiven

Der hier validierte Prototyp der iCWP ist als Ausgangspunkt für die weiteren Entwicklungen zu verstehen. Die entwickelte offene Architektur soll es ermöglichen schnell und effizient neue Komponenten zu integrieren und zu testen. Die iCWP ist somit Entwicklungs- als auch Test- und Validierungsplattform für Prototypen aus anderen

SESAR-Projekten. Darüber hinaus ist das HMI der iCWP ein eigener Forschungs- und Entwicklungsgegenstand - hier ist das iCWP-Projekt erst am Anfang. Auch wenn die Ergebnisse der Integration verschiedener Komponenten schon einen deutlichen Mehrwert liefern, eine echte HMI-Integration hat bisher noch nicht stattgefunden. Bisher hat jede Komponente ihr eigenes, eigenständiges HMI, welche über gemeinsame Daten und Selektionsmechanismen miteinander gekoppelt sind. Ziel ist aber die Schaffung einer nahtlosen gemeinsamen, rollenspezifischen Darstellung, die perfekt die Arbeitsabläufe mit genau den notwendigen Informationen unterstützt, die zu deren Durchführung notwendig sind.

Für die iCWP kommt hinzu, dass dies ein offenes System sein wird, welches auch zukünftig neue Komponenten aufnehmen und diese ebenso nahtlos in die Darstellung integrieren kann. Damit ist sichergestellt, dass ein System, welches gerade erst ausgeliefert wurde, nicht gleichzeitig auch schon das zukünftige Altsystem ist, sondern weiterentwicklungsfähig bleibt und auch morgen noch alle gestellten Anforderungen erfüllen kann.

Abkürzungen

A-iCWP	Airport integrated Controller Working Position
iCWP	integrated Controller Working Position
SESAR	Single European Sky Implementation Programm
TOSIM 3D-2	Zweiter Tower-Simulator der DFS mit 3D-Sichtsystem



Abb. 3: Darstellung eines Safety Net Alarms auf der Bodenlagedarstellung (Ausschnitt)

Fortschrittliche Visualisierungssysteme für Fluglotsenarbeitsplätze

Dr. Jörg Bergner, Christoph Schmand

Zusammenfassung¹

Im Rahmen des Verbundvorhabens iPort (innovativer Airport), das im IV Luftfahrtforschungsprogramm durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert wird, arbeitet der Bereich Forschung und Entwicklung der DFS gemeinsam mit zahlreichen Partnern an Konzepten und Verfahren für die Abwicklung des Luftverkehrs im Nahbereich hochfrequentierter Flughäfen. Ein wesentlicher Aspekt ist hierbei die Untersuchung und betriebliche Bewertung fortschrittlicher Mensch-Maschine-Schnittstellen für Fluglotsen.

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick aktueller Arbeiten zu fortschrittlichen Anzeigesystemen in der Flugsicherung am Beispiel der Tower- und Centerlotsenarbeitsplätze. Im ersten Abschnitt wird eine Head-Up Darstellung von kontakt-analogen Informationen für Tower-Lotsen vorgestellt. Der zweite Abschnitt beschreibt die Entwicklung einer stereoskopischen Luftlagedarstellung für Radar-Lotsen in einer Kontrollzentrale. Für beide Anzeigesysteme wurden Demonstratoren erstellt und in Realzeitsimulationen durch Fluglotsen betrieblich bewertet.

1 Hintergrund / Einleitung

Die Aufgabe der Fluglotsen besteht darin, den Flugverkehr sicher, geordnet und flüssig abzuwickeln. Sie kontrollieren und überwachen Flugzeuge während des Starts, des Streckenflugs und während der Landung. In Deutschland unterteilt sich der von Lotsen kontrollierte Luftraum in mehrere Fluginformationsgebiete (Flight Information Region, FIR) die verschiedenen Radar-Kontrollzentralen zugeordnet sind. Innerhalb einer FIR ist der Luftraum in einzelne Luftraumsektoren aufgeteilt, die jeweils dem Verantwortungsbereich eines Lotsenteams (bestehend aus einem Radar- und einem Planungslotsen) entsprechen.

¹ Dieser Artikel basiert auf einer Veröffentlichung für die 54. Fachausschusssitzung DGLR Anthropotechnik in Koblenz

Während die Lotsen in einer Radar-Kontrollzentrale keinen direkten Sichtkontakt zu den von Ihnen kontrollierten Flugzeugen haben und auf eine Luftlagedarstellung angewiesen sind, die auf Radar-Daten basiert, stellt der Blick aus dem Fenster für die Fluglotsen in der Tower-Kanzel das zentrale Informationsmedium dar.

Auf den großen Verkehrsflughäfen übernehmen die Lotsen im Tower die Kontrolle über die Flugzeuge typischerweise kurz bevor diese die Piste erreichen bzw. kurz nachdem sie diese verlassen haben. Auf ihrem Weg zwischen der Piste und ihrer Parkposition werden die Flugzeuge von den Vorfeldlotsen kontrolliert.

Der für eine Piste zuständige Tower-Lotse überwacht die dort stattfindenden Starts und Landungen, erteilt die hierfür notwendigen Freigaben und Anweisungen.

Komplementär zum mentalen Bild der Verkehrslage, das sich die Lotsen anhand der Radar-Daten-Darstellung oder der Außensicht aufbauen, benutzen sie Papierstreifen oder EDV-gestützte Systeme, um die Abwicklung des Verkehrs vor auszuplanen sowie wichtige Entscheidungen und Freigaben zu dokumentieren. Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen zielen darauf ab, den Lotsen bei diesen Tätigkeiten zu unterstützen.

2 Augmented Reality Darstellung für Tower

2.1 Zielsetzung /Einführung

Die Tower-Lotsen durch die Anzeige von Informationen direkt in ihrer Außensicht zu entlasten, ist seit geraumer Zeit Gegenstand der Forschung.

Die einfachste Variante ist hierbei die ortsfeste Darstellung von z.B. Wetterinformationen wie Windrichtung und -stärke, Luftdruck und Sichtweiten mit Hilfe einer Projektion auf eine transparente Scheibe. Dies hilft bereits, die Anzahl der Blickwechsel zwischen den Bildschirmanzeigen und der Außensicht zu reduzieren.

Insbesondere bei schlechten Sichtbedingungen könnte ein noch größerer Nutzen aus der Anrei-

cherung der Außensicht mit kontakt-analogen Informationen erzielt werden. Durch die Darstellung des Rufzeichens eines Flugzeuges direkt an der Position, an der der Lotse es in seiner Außensicht wahrnimmt, würde der Lotse bei der Erstellung seines mentalen Bildes von der aktuellen Verkehrssituation unterstützt.

Untersuchungen solcher Augmented-Reality (AR) Anwendungen im Kontext der Flugsicherung verwenden typischerweise Head-Mounted Displays (HMD) (vgl. Reisman (2006)). Fulbrook et al. (2008) berichten dagegen von der Entwicklung eines optischen Durchsichtsystems, welches das Bild von Digitalkameras mit Informationen anreichert und in einem „Digitalen Fernglas“ anzeigt.

Diese Lösungen können die komplette Rundumsicht aus dem Tower abdecken und von mehreren Lotsen zeitgleich verwendet werden. HMDs stellen für die Lotsen jedoch eine zusätzliche Beeinträchtigung dar und setzen für eine kontakt-analoge Darstellung eine stets korrekte Ausrichtung auf die Augen des Beobachters voraus. Ein „digitales Fernglas“ umgeht diese Probleme, es stellt allerdings nur ein sehr eingeschränktes Blickfeld zur Verfügung.

Im Rahmen des Verbundvorhabens iPort (innovativer Airport), das im IV Luftfahrtforschungsprogramm durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert wird, sollte ein technischer Demonstrator aufgebaut werden, um für den speziellen Fall einer Rückprojektion auf eine transparente, holographische Scheibe zu untersuchen, ob bereits mit einer gezielt nur auf einen Lotsenarbeitsplatz zugeschnittenen Lösung die Arbeitsbelastung bzw. Head-Down Zeit eines Lotsen verringert werden kann.

Als erster konkreter Anwendungsfall für die kontakt-analoge Informationsdarstellung wurde die Anzeige des jeweiligen Rufzeichens der Flugzeuge im Bereich des Bahnkopfes ausgewählt. Hier kommt es im Falle z.B. des Flughafens Frankfurt regelmäßig vor, dass mehrere Flugzeuge des gleichen Luftfahrzeug-Musters einer Airline aufgereiht auf ihren Abflug warten und dadurch rein äußerlich nicht zu unterscheiden sind. Hier könnte eine AR-Lösung bereits bei guten Sichtverhältnissen dazu beitragen, die Head-Down Zeit und das Situationsbewusstsein des Lotsen zu verbessern.

2.2 Aufbau und Simulationsumgebung

Um eine Bewertung der Technologie durch Lotsen zu ermöglichen, wurde ein Demonstrator in der Simulationsumgebung der DFS aufgebaut. Das zentrale Element der Anzeigeeinheit des AR-Projektionssystems ist eine Glasscheibe, in die Holographisch-Optische-Elemente (HOE) eingebettet sind. Die HOEs lenken nur das unter einem speziellen Winkel per Rückprojektion einfallende Licht gezielt zum Betrachter. Die nicht bestrahlten Bereiche der Scheibe bleiben dabei weitestgehend transparent. Weiterhin ermöglichen die HOEs, den Betrachtungswinkel der Scheibe zu konfigurieren. Die im Versuch verwendete Scheibe entsprach allerdings der Standardkonfiguration mit einem horizontalen Betrachtungswinkel von $\pm 45^\circ$. Abb. 1 zeigt die Anzeigeeinheit bestehend aus holographischer Rückprojektionsscheibe, Umlenkspiegel und Projektor, die zusammen fest in einem Rahmen aus Aluminiumprofilen eingebaut sind.

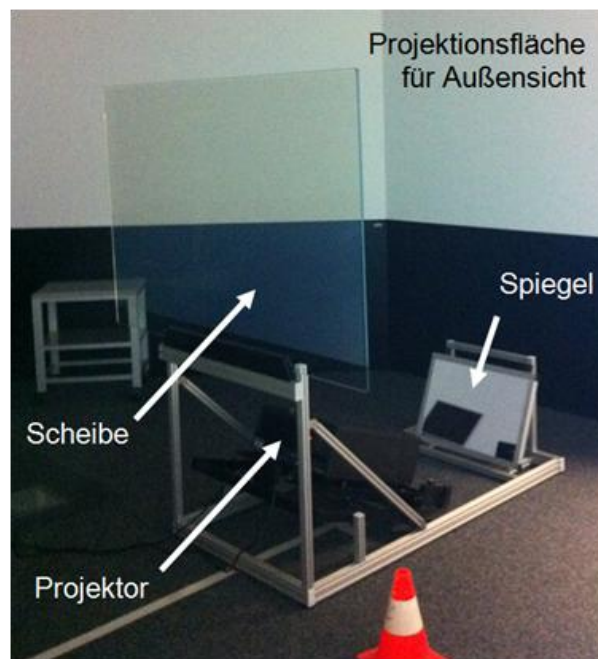


Abb. 1: Anzeigeeinheit des AR-Projektionssystems

Um eine kontakt-analoge Darstellung zu ermöglichen, ist es nötig, die Position der Augen des Nutzers zu bestimmen und fortwährend nachzuführen (Tracking). Hierfür wurden zwei verschiedene Techniken eingesetzt. Beides sind low-cost Lösungen. Die erste Variante ist ein Zubehöartikel für Computerspiele. Sie arbeitet markerbasiert mit einer Infrarotkamera und entsprechenden Reflektoren, die auf einer Schirmmütze

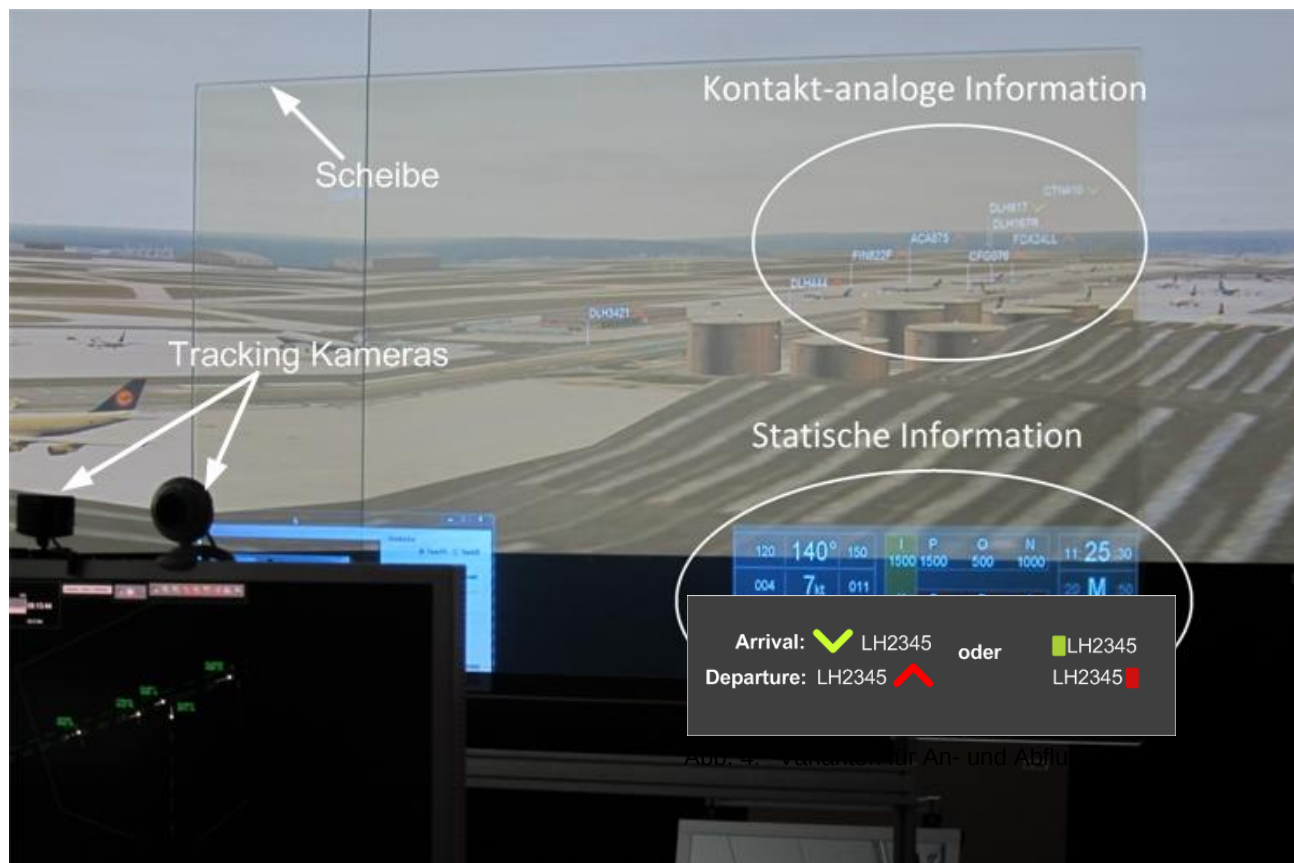


Abb. 2: Blick auf die Augmented Reality-Darstellung im Simulator

montiert wurden. Die zweite Variante arbeitet markerlos und verwendet eine lichtstarke Webcam, deren Videobild mit Hilfe einer Gesichtserkennungssoftware ausgewertet wird (Abb. 2).

Die Simulations-Infrastruktur bestand aus einem gekoppelten 3D Tower und einem Center-Simulator, die eine realitätsnahe Abwicklung des Verkehrs durch betriebliche Lotsen von der Vorfeldposition bis hin zur An- bzw. Abflugkontrolle ermöglicht. Für den mit der AR-Darstellung ausgerüsteten Towerlotsen Arbeitsplatz kam das iPort Testbett zum Einsatz, dass eine 180° Aufprojektion der Außensicht verwendet. Der Towersimulator lieferte dem AR-Anzeigesystem die intern berechneten Positionen aller im Szenario enthaltenen Luftfahrzeuge mit einer Update-Rate von 1 Hz.

2.3 Ergebnisse

In mehreren Realzeitsimulationen am Beispiel des Frankfurter Flughafens wurde die AR-Anzeige ausgehend von einem Basisentwurf durch Frankfurter Towerlotsen bewertet und schrittweise weiterentwickelt (Abb. 3 und Abb. 4).

Hierbei konnte der Bereich der Bahnkopfen (Abb. 3) als möglicher Anwendungsfall bestätigt werden. Besonders hohes Verbesserungspotential wurde einem Einsatz des Systems bei schlechten Außensichtbedingungen beigemessen.



Abb. 3: Kontakt-analoge Darstellung der Rufzeichen

Das markerlose Trackingsystem wurde von den Lotsen eindeutig favorisiert. Der Prototyp reagierte allerdings noch empfindlich, wenn mehrere Gesichter in seinem Erfassungsbereich vorhanden sind. Da während der Simulation jedoch Beobachter in unmittelbare Nähe des Lotsens nötig waren, wurde das markerbasierte System bevorzugt verwendet.

Der eingeschränkte Betrachtungswinkelbereich der holographischen Scheibe konnte im Versuch bestätigt werden. Bei einer geeigneten Definition der „Eye-Box“ des Lotsens erscheint eine Beeinträchtigung der Außensicht der anderen Lotsen im Tower vermeidbar und damit der Einsatz als Single-User System technisch möglich zu sein.

Die Positions-Updateraten des Simulators von ca. 1 Hz entsprechen in etwa der Updaterate der Nahbereichsradarsysteme an einem Flughafen. Da sich im Interessensgebiet die Betrachtungswinkel der Flugzeuge nur sehr langsam ändern, war eine eindeutige Zuordnung der kontaktanalogen Information immer möglich.

Gegenstand weiterer Untersuchungen muss die genaue Spezifikation des individuellen Informationsbedarfes des jeweiligen Lotsen sein. Hierbei ist von besonderem Interesse, für welche Luftfahrzeuge im Blickfeld des Lotsens Informationen angezeigt werden sollen. Dies ist unter Umständen nicht allein von ihrer Position sondern auch von anderen Faktoren abhängig.

Aus technischer Sicht ist die Praxistauglichkeit der implementierten Lösung für ein Head-Up Display (HUD) sowie möglicher Alternativen genauer zu betrachten. Neben der Untersuchung der Tageslichttauglichkeit der Komponenten des Anzeigesystems gilt dies insbesondere auch für die Qualität der betrieblich zur Verfügung stehenden Radar- bzw. Surveillance-Daten.

3 Stereoskopische Luftlagedarstellung für Radar-Lotsen

3.1 Einführung

Die Lotsen in den Radar-Kontrollzentralen kontrollieren die Luftfahrzeuge in ihrem Luftraumsektor mit Hilfe einer zweidimensionalen Darstellung der Luftlage. Die laterale Position der vom Radar erfassten Luftfahrzeuge wird mit Hilfe eines Symbols auf einer kartenähnlichen Darstellung zusammen mit Luftraumgrenzen, Wegpunkten usw. angezeigt. Die Flughöhe wird zusammen mit der Fluggeschwindigkeit und dem Rufzeichen alphanumerisch kodiert in einem Label in der Nähe des Flugzeugsymbols dargestellt (Abb. 5).

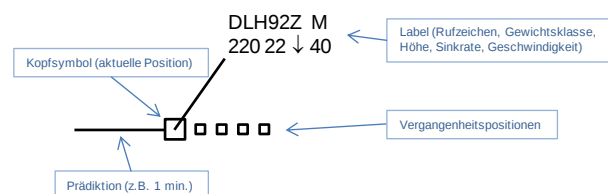


Abb. 5: Anzeige eines Flugziels auf einer 2D-Luftlagedarstellung

Da diese Art der Darstellung nicht intuitiv verständlich ist, benötigten die Fluglotsen für den schnellen und sicheren Aufbau ihres mentalen Bildes von der Verkehrssituation ein hohes Maß an Übung und ein besonderes gutes dreidimensionales Vorstellungsvermögen.

Im Verbundvorhaben iPort wurde in Zusammenarbeit der Projektpartner CASSIDIAN und DFS Deutsche Flugsicherung GmbH ein 3D-Demonstrator samt zugehörigem 3D Visualisierungs- und Interaktionskonzept entwickelt, der eine stereoskopische Sicht auf die Luftlage ermöglicht.

Eine erste betriebliche Bewertung im direkten Vergleich zu einem 2D Referenz-System erfolgte mit Lotsen aus der Kontrollzentrale in München im Rahmen von Realzeitsimulationen am Institut für Flugführung des DLR in Braunschweig.

Als Anwendungsfall wurde der Nahbereich eines Verkehrsflughafens ausgewählt. Neben der hohen Verkehrsdichte ist dort der Verkehrsanteil mit Vertikalbewegungen besonders groß. Ein Untersuchungsschwerpunkt sollten dabei Warteverfahren (Holdings) sein, da in deren 2D Darstellung die Informationsdichte besonders hoch ist. Zusätzlich wurde die komplexe Führung von Abflugverkehr im Zusammenspiel mit einem Point-Merge Anflugverfahren betrachtet.

3.2 Technischer Aufbau

Der Aufbau des Demonstrators orientiert sich an der Gestaltung der aktuellen Arbeitsplätze der Radar-Lotsen. Im zentralen Bereich ist das stereoskopische Luftlagedisplay angeordnet. Links und rechts davon befinden sich Monitore, auf denen Zusatzinformationen dargestellt werden können. Unmittelbar vor dem Lotsen befindet sich ein Touchscreen für die Verwendung von digitalen Flugstreifen. Alternativ können dort auch herkömmliche Papierstreifen abgelegt werden (Abb. 6).



Abb. 6: Arbeitsplatzansicht des 3D-Demonstrators

Die Luftlagedarstellung muss es dem Lotsen ermöglichen, einen relativ großen Bereich des Luftraums zu überwachen. Dabei müssen gleichzeitig die Informationen in den Radar-Labels jederzeit ermüdungsfrei ablesbar sein. Um hierfür eine akzeptable Auflösung zu erreichen wurde eine Rückprojektionslösung mit zwei HD-Projektoren ausgewählt (Abb. 7). Die beiden Projektionsflächen sind dabei übereinander in einem Winkel von 120° angeordnet und stoßen nahtlos aneinander. Diese spezielle, gewinkelte Anordnung ist notwendig, um einerseits ein für Interaktionen mit den 3D-Objekten geeignetes Raumvolumen vor dem Display zu erhalten und dabei andererseits den Abstand zwischen der binokularen Fokusebene und der Displayoberfläche nicht zu groß werden zu lassen.

Die Gesamtauflösung von 1920×2400 Bildpunkten entspricht in etwa der $2k \times 2k$ Auflösung der 2D-Radarmonitore. Da die Projektoren einen minimalen Projektionsabstand erfordern, sind die beiden Anzeigeflächen mit einer Höhe von je 405mm und einer Breite von je 650 mm jedoch größer. Folglich ist die Auflösung des stereoskopischen Displays mit ca. 75 dpi deutlich schlechter als die des herkömmlichen Monitors mit ca. 103 dpi. Dies wurde bei der Definition der angezeigten Symbole und Beschriftungen besonders berücksichtigt. Um die Lesbarkeit durch perspektivische Verzerrungen nicht weiter zu beeinträchtigen, sind die Label der Radarziele immer senkrecht zur Blickrichtung ausgerichtet.

Der binokulare Tiefeneindruck wird mit einer aktiven Kanaltrennung erreicht. Hierzu wird eine

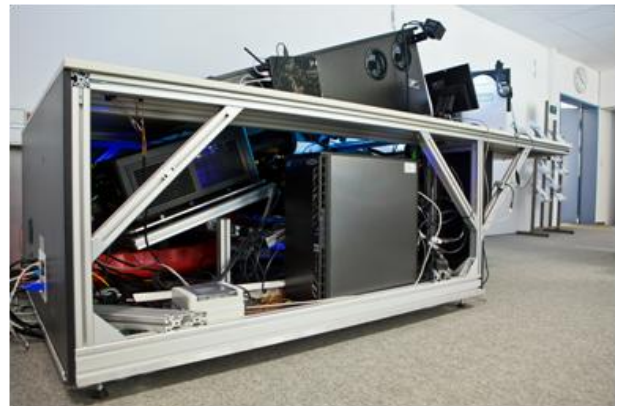


Abb. 7: Seitenansicht der 3D-Demonstrator mit offener Verkleidung

aktive Shutterbrille verwendet, die mit Hilfe zweier Flüssigkristallscheiben abwechselnd das linke und rechte Auge undurchsichtig schaltet. Um bei dieser zeitsequenziellen Darstellung der stereoskopischen Bilder einen weitgehend flimmerfreien Bildeindruck zu erzielen, wurden Projektoren mit einer Bildwiederholrate von 120 Hz verwendet.

Weiterhin wird ein markerbasiertes Tracking des Beobachters eingesetzt, um eine dem Blickwinkel entsprechende Darstellung bereitzustellen zu können. Dabei strahlt ein IR-Sender hinter der Projektionsfläche infrarotes Licht aus, das von Reflektoren an der Shutterbrille zurückgeworfen wird. Zwei IR Kameras werten kontinuierlich diese Reflexionen aus und berechnen daraus den Standpunkt des Beobachters. Auf der Grundlage dieser Positionsdaten wird die 3D Szenerie berechnet, die sich der Lotse somit einfach durch eine Kopfbewegung aus leicht verschiedenen Perspektiven betrachten kann.

3.3 3D Visualisierungs- und Interaktionskonzept

Stereoskopische Anzeigen ermöglichen eine Darstellung der Flugzeugposition in allen drei Raumrichtungen. Die Auswahl einer geeigneten Perspektive ist dabei maßgeblich für die Erkennbarkeit der angebotenen Informationen. Für die Untersuchungen wurde daher ein zweistufiger Ansatz gewählt. Im ersten Schritt wurden verschiedene stereoskopische Perspektiven in einem Laborversuch einem 2D Referenzsystem gegenübergestellt (vgl. Wittmann et al. 2011). Dabei wurde ermittelt, mit welcher Visualisierungsform potentielle Konflikte zwischen zwei

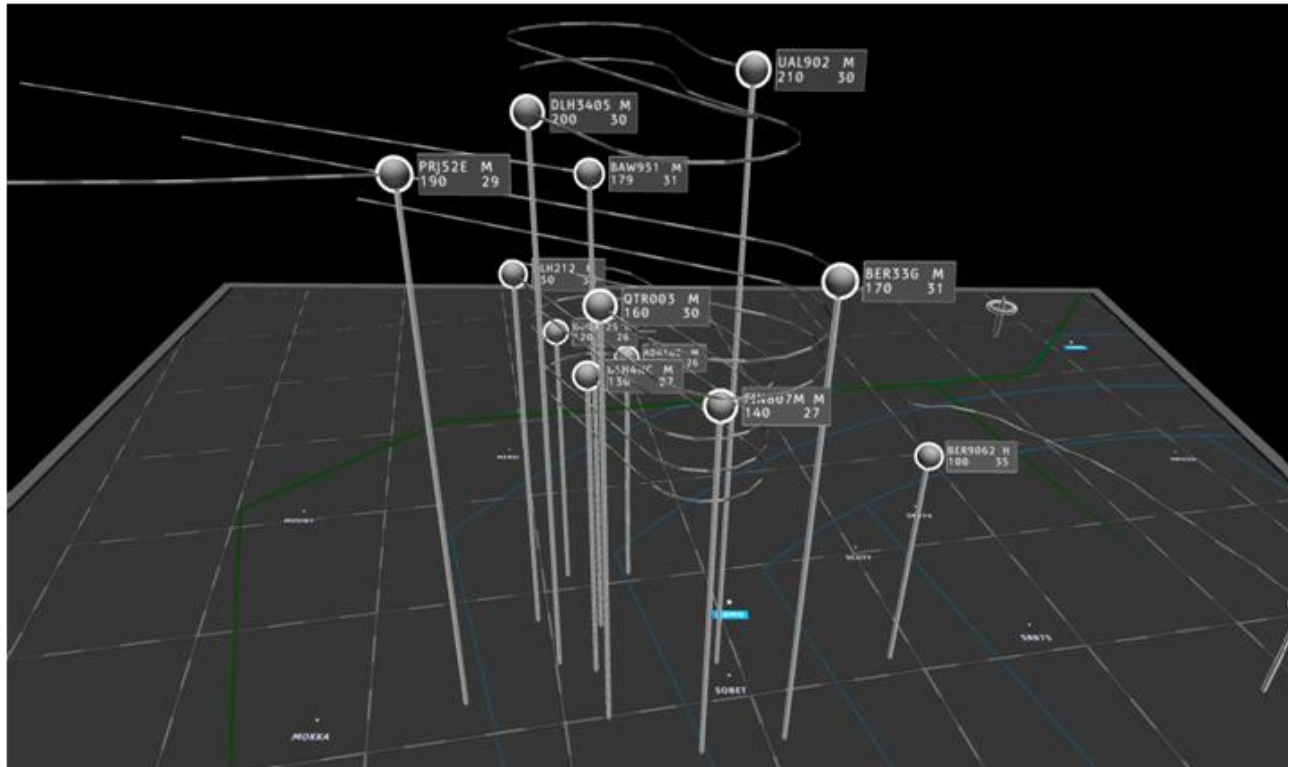


Abb. 8: Stereoskopische Darstellung des Warteverfahrens (Screenshot)

Flugzeugen am besten erkannt werden können. Untersucht wurden hierbei:

- Monoskopische Aufsicht (Referenz)
- Stereoskopische Aufsicht
- Stereoskopische Vogelperspektive mit Lot
- Stereoskopische Vogelperspektive ohne Lot

Für die im zweiten Schritt folgenden betrieblichen Bewertungen wurde die Vogelperspektive mit Lot, das eine erhebliche Erleichterung für die Einschätzung lateraler Abstände darstellte, ausgewählt (Abb. 8).

Analog zum 2D Referenzsystem sind folgende Interaktionsmöglichkeiten mit der 3D Visualisierung möglich:

- Verschieben der Karte
- Maßstabsänderungen der Karte (Zoom)
- Verschieben von Beschriftungsfeldern (Label)

Zusätzlich ist die Rotation der 3D Szene um die Hochachse möglich, um in Ergänzung zu einer Kopfbewegung durch einen Perspektivwechsel eventuelle Verdeckungen von Objekten im Raum aufzulösen.

Eine besondere Funktion stellt der einfache Wechsel zwischen voreingestellten Perspektiven per Tastendruck dar. Für das Point-Merge An-

flugverfahren wurde als Alternative zur Normalansicht (Vogelperspektive mit Lot) die 3D Aufsicht vordefiniert. Diese ermöglicht eine präzisere Abschätzung der lateralen Abstände der Luftfahrzeuge. Für das Warteverfahren wurde als Alternative die Seitenansicht hinterlegt. Sie erleichtert dem Lotsen die Überwachung der für die Flugzeuge im Warteverfahren freigegebenen Flughöhen. Von einer vergleichbaren Funktionalität wurde in früheren Studien (vgl. z.B. Tavanti (2004)) noch nicht berichtet.

3.4 Erste Ergebnisse

Die stereoskopische Anzeige wurde mit Hilfe des Demonstrators in 40 einstündigen Realzeitsimulationen von je einem aktiven Lotsen und einem Lotsen als Beobachter bewertet (Abb. 9). Hierbei wurden komplexe, an den realen Flugsicherungsbetrieb angelehnte Verkehrsszenarien für ein Anflugverfahren und ein Warteverfahren verwendet. Neben den aufgezeichneten, objektiven Verkehrsverlaufsdaten wurden auch Fragebögen ausgewertet, die die Lotsen nach jedem Versuchslauf ausfüllten.

Die Auswertung der objektiven Aufzeichnungen ergab, dass die stereoskopische Luftlagedarstellung nicht signifikant schlechter abschneidet als das 2D-Referenzsystem. Hinsichtlich der Auslastung der Kapazität des Warteverfahrens (Durchschnittliche Anzahl von Flugzeugen im Warteverfahren) fällt das Ergebnis bei Verwendung der 3D Visualisierung sogar signifikant besser aus.

Besonders vor dem Hintergrund, dass die Lotsen keinerlei Erfahrungen mit einer stereoskopischen Luftlagedarstellung hatten und lediglich 30-minütige „Warm-Up Läufe“ absolvierten, sind diese Ergebnisse vielversprechend

Einhellig wurde das Tragen einer Shutterbrille als sehr unangenehm und störend empfunden. Da die Fluglotsen üblicherweise zu zweit in einem Team arbeiten, wurde vielfach der Wunsch nach einer Mehrbenutzerfähigkeit geäußert. Die optische Darstellungsqualität wurde als sehr gut geeignet für weitere Untersuchungen eingestuft.



Abb.9: 3D-Demonstrator während einer Simulation

Zugunsten einer Vergleichbarkeit der Auswertungen wurde bei den Versuchen auf eine iterative Verbesserung des 3D Visualisierungskonzeptes auf der Grundlage der Rückmeldungen durch die Lotsen verzichtet. Obwohl die Lotsen ihre Aufgaben ohne Einschränkungen erledigen konnten und die Mensch-Maschine-Schnittstelle von Spezialisten mit langjähriger Erfahrung auf dem Gebiet der Arbeitsplatzgestaltung entworfen wurde, ist hier doch noch mit erheblichem Optimierungspotential zu rechnen.

Abkürzungen

AR	Augmented-Reality
DGLR	Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt
dpi	Dots per inch
FIR	Flight Information Region
HMD	Head-Mounted Display
HOE	Holographisch-Optische-Elemente
HUD	Head-Up Display
iPort	Innovativer Airport

Literatur

Fullbrook, J. E.; Ruffner, J. W.; Labbe, R.: An Augmented Reality Binocular System (ARBS) for Air Traffic Controllers. Head- and Helmet-Mounted Displays XIII: Design and Applications. In R. W. Brown, P. L. Marasco, T. H. Harding, S. A. Jennings (Hrsg.) Proceedings of SPIE Vol. 6955.

Reisman, R. J.; Brown, D. M.: Design of Augmented Reality Tools for Air Traffic Control Towers. Proc. of 6th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO), 25-27 September 2006, Wichita, Kansas, USA. (AIAA 2006-7713).

Tavanti, M.: On The Relative Utility of 3D Interfaces, Acta Universitatis Upsaliensis, PhD Thesis, 2004.

Wittmann, D.; Baier, A.; Neujahr, H.; Petermeier, B.; Vernaleken, C.; Vogelmeier, L.: Stereoskopische Anzeigen für die Flugsicherung, 9. Berliner Werkstatt Mensch Maschine, Berlin, 2011.

„Early Benefits“ von ADS-B: MSCC Nutzung ohne vollständige Mode S - Überdeckung

Steffen Marquard, Dr. Andreas Herber, Ralf Heidger (SH/P), Jürgen Dix (SH/MA)

Hintergrund

Durch die Einführung von Mode S wird eine eindeutige Identifizierung eines Luftfahrzeuges trotz Verwendung eines Mode A-Gruppencodes möglich. Solche Gruppencodes, sogenannte Mode S Conspicuity Code (MSCC¹), werden zwischen diversen Europäischen Städteverbindungen eingesetzt, um die Knappheit bei den Mode A Codes zu umgehen. Diese Luftfahrzeuge werden dann, sofern korrekt übermittelt, über ihre Aircraft Identification (ACID²) identifiziert. Voraussetzung ist allerdings, dass der gesamte Flugverlauf durch Mode S Radar abgedeckt ist. Hierbei wird für den Streckenverlauf und große Flughäfen doppelte, für alle anderen Flughäfen mindestens eine einfache Mode S Überdeckung gefordert.

Stand der Ausrüstung

Die seit 2005 geltende Mode S Ausrüstungsverpflichtung hat dazu geführt, dass mittlerweile die Mehrzahl aller Mode S ausgerüsteten Flugzeuge der kommerziellen Luftfahrt auch ADS-B fähig sind. 98% der ADS-B fähigen IFR/GAT Flugzeuge senden eine Aircraft Identification, aber nur rund 50% übertragen eine gültige Position mit einem Qualitätsparameter $NUC \geq 5$, der auch für Flugverkehrskontrolle ausreichend wäre.

Mit der EU-Verordnung Nr. 1206/2011 müssen seit Februar 2012 mindestens 50 % der Überflüge und 50% der An- und Abflüge und ab 2020 alle Flüge mittels Aircraft Identification identifiziert werden. Diesen kann damit ein Mode S Conspicuity Code zugewiesen werden.

Die Umsetzung dieser EU-Verordnung bedeutet, dass die derzeit vorhandenen Mode S Erfassungslücken gezielt zu schließen sind und auch in Randbereichen eine einfache bis doppelte Erfassung zu gewährleisten ist. Dies kann mittels

Aufrüstung von Mode A/C Radaranlagen auf Mode S oder auch mit dem nachfolgend erläuterten Vorgehen realisiert werden.

Problem und Lösungsidee

Insbesondere an Flughäfen mit konventionellen ASR-Anlagen, an denen keine oder nur unvollständige Mode S-Überdeckung vorhanden ist, kann aufgrund der nicht eindeutigen Identifizierung der Luftfahrzeuge kein MSCC verwendet werden. Wenn aber die Erfassungslücken durch ADS-B-Empfänger aufgefüllt würden, die Positionsmeldungen von ADS-B und Radar korreliert und mit der ACID verknüpft werden könnten, wäre auch in diesen Regionen der Einsatz von MSCC möglich.

DFS-Vorhaben MOCCA

Hinter dem Begriff MOCCA (Mode S Conspicuity Codes mit ADS-B) verbirgt sich eine Innovationsidee aus dem Bereich F&E: Auffüllen von Überdeckungslücken durch Mode S durch Kombination von ADS-B und SSR für die Nutzung von MSCC auf Basis der bestehenden Radarinfrastuktur. Das Potential dieser Idee, die im günstigsten Falle eine Erweiterung der Nutzung von ADS-B Daten zur Vermeidung des weiteren Aufbaus teurer Mode S Anlagen bedeuten könnte, ist gerade in Zeiten von DFS-Sparprogrammen wie *Heading 2012* nicht von der Hand zu weisen.

Dazu soll kurzfristig die strategische Basis einer zukünftigen DFS-Ortungs-Infrastruktur im Rahmen eines „Proof-of-Concept“ Feldversuches überprüft und schnellstmöglich einer betrieblichen Nutzung zugeführt werden.

Ein wichtiger Aspekt für die frühzeitige Nutzung von MSCC in Randbereichen, Lücken und Totkegeln von Mode S Radaranlagen ist der, dass selbst wenn keine ausreichend korrekte ADS-B Position übertragen wird, zumindest die ACID genutzt werden kann. Diese wird alle 5 Sekunden über ADS-B vom Luftfahrzeug ausgestrahlt. Die originäre Quelle im Flugzeug ist dieselbe wie die, die vom Mode S Radar abgefragt wird. Die

¹ Mode S Conspicuity Code als Mode A Gruppencode wird für sog. „City-pair-Flüge“ anstelle eines Individualcodes eingesetzt

² Bei IFR-Flügen ist das das Rufzeichen, bei VFR-Flügen die Registrierung

Vertrauenswürdigkeit dieser Information ist somit gegeben. Mit zunehmender ADS-B-Ausrüstung, entsprechend der EU-Verordnung Nr. 1207/2011, wird sich dieser Korrelationsschritt deutlich vereinfachen, da ab 2015 alle neuen und ab 2017 alle Luftfahrzeuge über 5,7t oder mit einer Reisegeschwindigkeit über 250kn die Position in ADS-B Meldungen korrekt übermitteln müssen.

Ein erster Anwendungsschwerpunkt ist die Ausweitung der MSCC Nutzung auf Flughäfen, die keine Mode S Infrastruktur aufweisen. Für MSCC Flüge muss somit die Mode S Überdeckung bis auf die Landebahn erweitert werden.

Die Innovation ist, dass die SSR-Radarposition bei fehlender Mode S Abdeckung, durch die ADS-B Informationen ergänzt wird. Das Luftfahrzeug kann dann wie ein Mode S Ziel behandelt, im ATM System verarbeitet und dem Lotsen zur Anzeige gebracht werden. Das gilt für einfliegenden Verkehr wie auch für Abflüge. In den Tracking-Systemen muss dazu die Möglichkeit vorgesehen werden, SSR Tracks mit den Mode S Informationen aus ADS-B zu fusionieren.

Für die Vergabe eines MSCC muss vorab geprüft werden, ob die im Flugplan angegebene ACID identisch mit der tatsächlich im Flugzeug eingestellten ist, da nur über diese das Luftfahrzeug identifiziert wird. Hier gibt es mehrere Möglichkeiten: die Übermittlung via Data-Link oder eben auch die Nutzung von ADS-B Informationen.

Anwendung mit P1/ATCAS

Für die operationelle Nutzung und Vergabe des MSCC ist eine lückenlose Versorgung mit Mode S Informationen erforderlich. Um diese auch bei Ausfällen und Wartungsabschaltungen zu gewährleisten, kann ATCAS die verfügbaren Mode S Daten von beliebigen Sensoren verarbeiten. Diese Erweiterung der Multisensordatenfusion ermöglicht die Verwendung von Mode S Informationen, ohne ein Positions-Update durchzuführen. Dadurch kann die Mode S Abdeckung auch mittels Daten eines Sensors aufrecht erhalten werden, der für die Positionsbestimmung bereits in seinem Grenzbereich betrieben wird. Das Verfahren befindet sich bereits in operationeller Nutzung und hat sich hierbei bewährt. Mit der Inbetriebnahme des PAM Frankfurt kommt der Sensortyp Multilateration hinzu.

Aufgrund der vorhandenen Flexibilität wurde in Erwägung gezogen die Mode S Informationen des Bodenlagesystems in Hamburg mit den Reports des Flughafenradars (ohne Mode S) zu fusionieren. Untersuchungen im Januar 2012 zeigten, dass es hiermit möglich ist, Hamburg in das Netz der „City Pairs“ aufzunehmen.

Für die Umsetzung von MOCCA mit dem ATCAS-Tracker musste die Verarbeitung von ADS-B Daten implementiert werden. Tests mit einem Prototyp zeigten, dass die Ausweitung des Mode S Erfassungsbereichs auch mit ADS-B Daten umsetzbar ist.

Lösungsansatz mit PHOENIX

Die hinter MOCCA stehende Idee wird technisch möglich durch die in PHOENIX vorhandene Multisensordatenfusion, die Positionsdaten unterschiedlicher Sensoren mit eigenen Datenformaten, eigener Fehlercharakteristik, Re-Visit-Zeit, Scanzeit, Erfassungsreichweite und -Genauigkeit zu einem statistisch fehlerminimalen 4D System Track fusionieren kann. Da die ADS-B Positionsdaten als noch nicht ausreichend zuverlässig eingestuft werden müssen, gibt es im PHOENIX Tracker das Konzept der "Feature Fusion", d.h. bei entsprechend konfigurierter Eigenschaftskennung des betreffenden Sensors kann so qualifiziert werden, dass nur Attributdaten der ADS-B-Meldung fusioniert und aktualisiert werden. Also z.B. ACID oder Mode S Adresse. Die Positionsdaten des Tracks werden dann nur durch Mode S Radare oder - eben außerhalb des Mode S Erfassungsbereichs - andere Radare gepflegt. Neben dieser *Feature Fusion* wurden am PHOENIX MSDF Tracker folgende Änderungen vorgenommen:

- Die ADS-B Plot Assoziation zu einem Track betrachtet neben Feature-Identität (Mode S Adresse) die horizontale Position, die barometrische Höhe, die Geschwindigkeit und deren Richtung
- Der Filtermechanismus zur Assoziation von ADS-B Meldungen zu Mode S Tracks wurde verfeinert, um Fehllassoziationsrisiken zu reduzieren.
- Ein State Transition Modell der Mode S Status Information im Tracker modelliert und kontrolliert den Übergang von „Unconfirmed“ über „Confirmed“ zu „Maintained“.

- Ein angepasstes *Area Filtering* unterstützt die Unterdrückung von fehlerleitenden Plots.
- ADS-B Ground Plots werden fürs Tracking nicht benutzt.

Das automatische Reporting in der PHOENIX-AWP (Analysis Working Position) wurde im Zuge von MOCCA durch das DFS-Systemhaus so erweitert, dass eine längere "Messkampagne" von z.B. mehreren Tagen oder Wochen von der AWP komplett ausgewertet werden und am Ende ohne weitere Nutzerinteraktion summarische Qualitätsmerkmale zur Gütebeurteilung der MOCCA-Idee per erzeugten Report ausgegeben werden. Zu diesen „Key Performance Indicators“ (KPIs) gehören u.a.:

- Landed tracks with lost Mode S and no ADS-B equipment (Erwartungswert: N)
- Landed tracks with lost Mode S and ADS-B equipment (Erwartungswert: 0)
- Unconfirmed Mode S tracks in airspace (Erwartungswert: 0)
- Maintained Mode S tracks dropped due to timeout (Erwartungswert: 0)
- Unconfirmed Mode S tracks dropped due to timeout (Erwartungswert: 0)

Vor allem die KPIs mit Erwartungswert 0 sind kritisch, und Ziel der Untersuchungen ist, diese Erwartungswerte in möglichst langen Auswerteläufen zu bestätigen.

- Ebenso wird deutlich, dass die startenden Flugziele mit ADS-B ab dem Gate mit dem MSDF-Tracker in einer Bodenlage getrackt werden können.

Weitere und v.a. längere Runs werden folgen, um die statistische Basis der Aussagen zu verbessern.



Abb. 1: MOCCA-Sensor: Antenneninstallation

Sachstand

Der ADS-B-Sensor am Flughafen Nürnberg (s. Abb. 1) ist Mitte August 2012 in Betrieb genommen worden.

Nach der Anbindung der Daten an das Test-RADNET hat das Systemhaus mit der Datenauswertung mittels eines für diesen Zweck erweiterten PHOENIX begonnen. Erste Ergebnisse liegen nun vor (s. Abb. 2 - Abb. 4):

- Die *Feature-Fusion* in PHOENIX funktioniert reibungslos. Die o.g. kritischen Erwartungswerte für die KPIs wurden in ein- und mehrtägigen Runs eingehalten. Eine geplante Langzeitauswertung steht derzeit noch aus.
- Die AWP-Auswertung zeigt weiter, dass die Nürnberg anfliegenden Luftfahrzeuge als Mode S Tracks und auch Mode A/C Tracks mit ADS-B über die Runway und Taxiways bis zum Gate geführt werden könnten.

Abkürzungen

ACID	Aircraft ID
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast
AWP	Analysis Working Position
FVK	Flugverkehrskontrolle
GAT	General Aviation Traffic
IFR	Instrumental Flight Rules
KPI	Key Performance Indicator
MOCCA	Mode S Conspicuity Codes mit ADS-B
MSCC	Mode S Conspicuity Code
MSDF	Multisensordatenfusion
NUC	Navigation Uncertainty. Category
PHOENIX	Radardatentracking- und Luftlagedarstellungssystem

Referenzen

Durchführungsverordnung Nr. 1206/2011 zur Festlegung der Anforderungen an die Luftfahrzeugidentifizierung für die Überwachung im einheitlichen europäischen Luftraum, Europäische Kommission, 22. November 2011

Konzeptpapier „Alternative Szenarien zum Mode S Überdeckungskonzept der DFS“

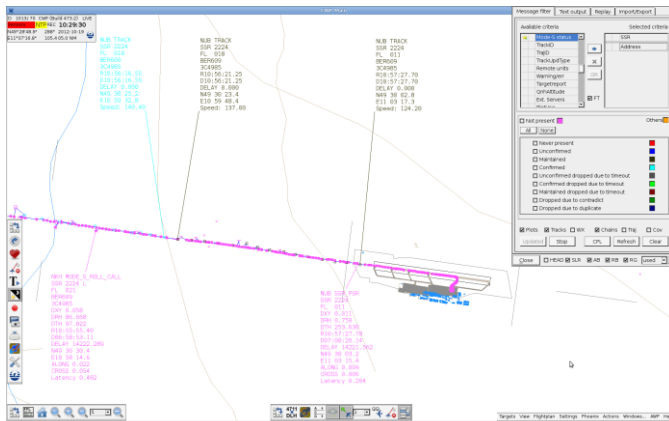


Abb. 2: Dieser Inbound ist ein typisches Beispiel für einen Mode S- gestützten Track mit einem sauberen Wechsel von „confirmed“ (Mode S Radar) auf „maintained“ (ADS-B) – sichtbar an den schwarzen Plot Labels.

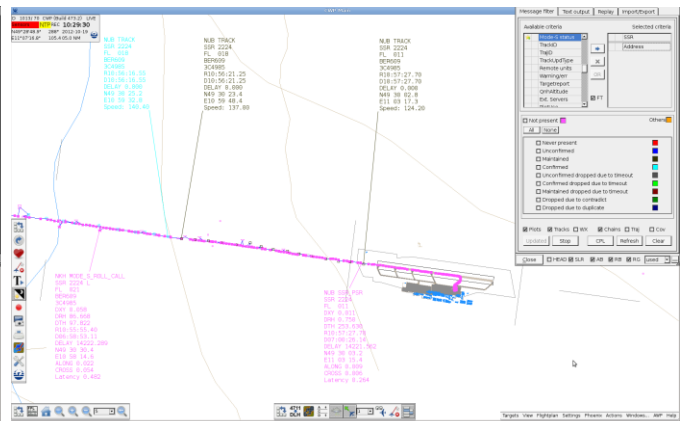


Abb. 3: Dieser Inbound zeigt durch den Farbwechsel des Plots mit dem AWP Farbfilter „Plot Usage“ auf, wie der ADS-B Plot vor der Trackpflege sauber weggefiltert wird.

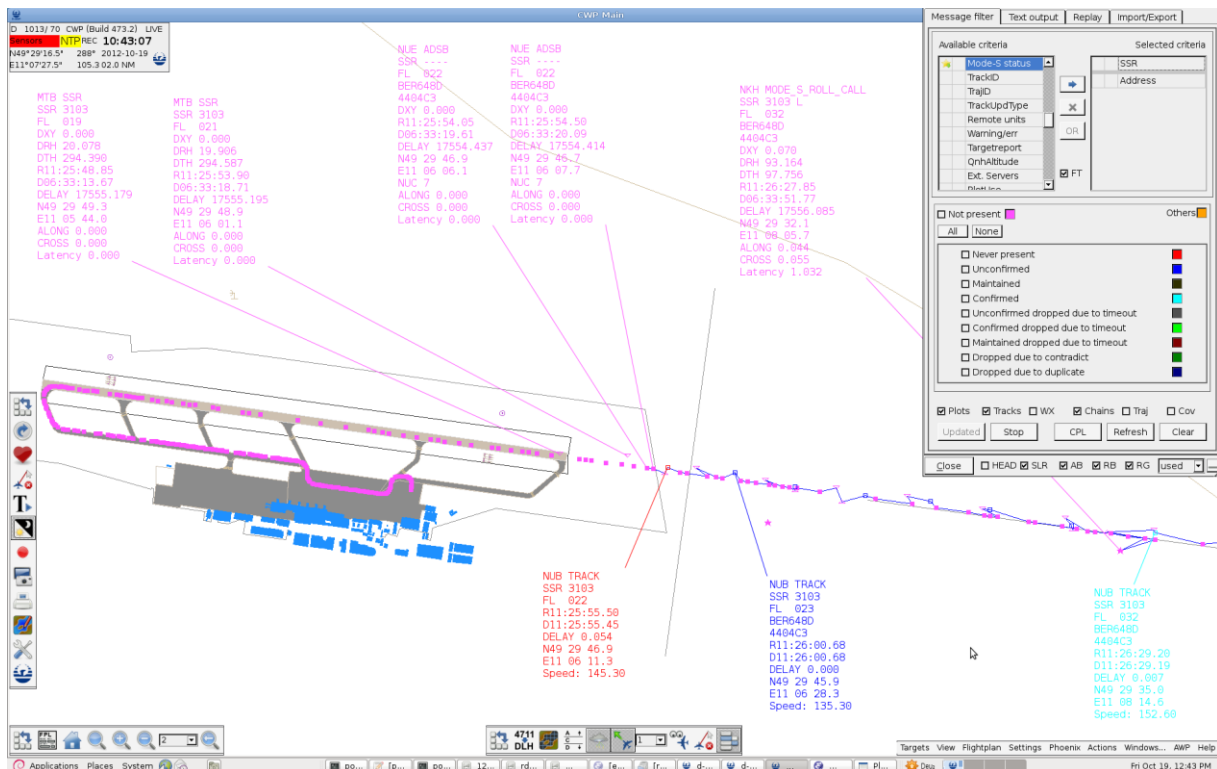


Abb. 4: Dieser typische Outbound zeigt die Pflegbarkeit eines Tracks weg vom Gate über Taxiways, Runway und Takeoff mit den ADS-B Reports. Im Erfassungsbereich der Mode S Anlage erfolgt ein bruchloser Aufgriff als Mode S Track.

Funkfeldmessung in Echtzeit mit AMOR-Komponenten

Harald Fischer, Ralph Hutzenlaub (SIS/RSS)

Einleitung

Das Thema Funkfeldmessung hat nun mittlerweile eine mehr als 10-jährige Historie im Bereich F&E der DFS. Im Jahr 2000 wurden im Projekt PEGASUS gemeinsam mit der FAA, MIT, NLR, Thales, ERA und Eurocontrol Messungen der Funkfeldbelastung zusammen mit ersten Performanceuntersuchungen zur Leistungsfähigkeit von ADS-B über Mode S Extended Squitter durchgeführt [1]. Mittlerweile hat ADS-B über Mode S seine Leistungsfähigkeit bewiesen und steht in Europa unmittelbar vor der Einführung, und Sekundärradar wird zunehmend genutzt, um weitere Borddaten am Boden nutzen zu können (Enhanced Surveillance). Nur das Thema Funkfeldmessung tritt, verglichen mit den Veränderungen der Funkkanalnutzung, auf der Stelle.

Seit den Messungen im Projekt PEGASUS hat sich die Ortungsinfrastruktur der DFS grundlegend verändert. War im Jahr 2000, im zivilen Bereich, lediglich ein experimentelles Mode S Radar in Betrieb, existiert aktuell in weiten Teilen des DFS Kontrollbereichs eine Mehrfachabdeckung durch Mode S Radar und Mode S stellt die Basistechnologie für die Luftraumüberwachung dar.

Die Kanalnutzung durch ADS-B war im Jahr 2000 vernachlässigbar klein. Seinerzeit wurden drei Luftfahrzeuge eigens mit ADS-B-fähigen Transpondern ausgerüstet, damit die Performanceuntersuchungen überhaupt gesichert durchgeführt werden konnten. Neben den genannten Testflugzeugen konnten einige Linienmaschinen der British Airways als „targets of opportunity“ in die Analysen einbezogen werden. Trotzdem war der Anteil so gering, dass lediglich die prinzipielle Funktionsfähigkeit von ADS-B, in einem quasi ADS-B freiem Funkfeld, nachgewiesen werden konnte. Heute ist der ADS-B Ausrüstungsgrad der Luftfahrzeuge größer als 80% und die über Mode S *Extended Squitter* übertragenen Informationen sind selbst ein wesentlicher Teil der Kanalbelastung.

Im Jahr 2000 wurde ACAS als Hauptnutzer der SSR-Kanäle 1030/1090MHz identifiziert. Zu die-

ser Zeit waren etwa 80% der mit Mode S Transponder ausgerüsteten Luftfahrzeuge auch mit einem ACAS ausgestattet. Bis heute ist dieser Anteil auf mehr als 90% angestiegen. Während die Funkkanalbelastung durch Ortungs- und ADS-B Aktivität linear mit der Anzahl der Luftfahrzeuge zusammen hängt, besteht bei ACAS ein quadratischer Zusammenhang. Berücksichtigt man den Anstieg der Flugbewegungen im deutschen Luftraum und die damit verbundene höhere Dichte, sollte auch die Belastung durch ACAS daher deutlich angestiegen sein.

Neben den bereits genannten Technologien hat in den vergangenen Jahren eine weitere Ortungstechnologie Einzug gehalten: Multilateration. Durch Multilateration können Ziele prinzipiell ohne zusätzliche Belastung der SSR-Kanäle erfasst werden. Sendet ein Luftfahrzeug ein Telegramm aus, das von mindestens 3 Sensoren empfangen wird, kann aus den Laufzeitunterschieden des Signals die Position des Senders ermittelt werden. Enthält das Telegramm eine eindeutige Identifikation, z.B. die ICAO 24-Bit Adresse, kann die Position dem sendenden Luftfahrzeug zugeordnet werden. Doch gerade in Bereichen, in denen aufgrund hoher Kanallast die Dekodierwahrscheinlichkeit zurück geht, müssen Multilaterationssysteme auch aktiv abfragen, um die erforderliche Entdeckungswahrscheinlichkeit sicher zu stellen. Die Kanallast nimmt also dort zu, wo sie ohnehin schon hoch ist.

Bei ersten Performanceuntersuchungen des Multilaterationssystems in Frankfurt zeigte sich, dass die Entdeckungswahrscheinlichkeiten in unmittelbarem Zusammenhang mit der Funkfeldbelastung stehen. Bei Zeiten geringer Funkfeldbelastung konnten sehr hohe Performancewerte erreicht werden, bei hoher Belastung nicht. Die Konsequenz war ein Optimierungsvorgang, bei dem aktive Abfragen des Systems zwar zu einer weiteren Erhöhung der Funkfeldlast führen, aber die Entdeckungswahrscheinlichkeit überproportional ansteigt.

Es hat sich also einiges bezüglich der Nutzung der SSR-Kanäle verändert und sicherlich hat sich

auch die Kanalauslastung verändert. Mit jeder, zumindest jeder offensichtlichen, Änderung wird auch das Thema Funkfeldbelastung wieder aktuell. Eine Motivation für die Durchführung der PEGASUS Messungen im Frankfurter Luftraum war die Vermutung, dass es, aufgrund der hohen Luftfahrzeugdichte und der großen Zahl (ziviler und militärischer) Abfrager, eines der weltweit am höchsten ausgelasteten Funkfelder ist. Diese Vermutung konnte seinerzeit bestätigt werden.

Seit PEGASUS wurden bei der DFS verschiedene Aktivitäten unternommen, die Funkfeldbelastung nachvollziehbar zu messen. Der erste Ansatz, CORAL - A/D Converter, Recorder and Analyzer [2] und [3], war der Methodik in PEGASUS sehr ähnlich. Basierend auf einer Basisbandaufzeichnung der SSR-Kanäle und in Software realisierter Pulsdetektion wurden die Telegrammfrequenz und Kanalauslastung bestimmt. Anfangs angedacht war, die Rohdaten zunächst zwischenspeichern und dann offline, beliebig oft und parametrierbar zu analysieren. Dies zeigte jedoch in der praktischen Anwendung große Nachteile. Der Speicherbedarf von 20MB/s und die Rechenzeit (Faktor 8 zu Echtzeit) lassen nur Schnapsschüsse auf das Funkfeld zu. Ein kontinuierlicher Einsatz war damit nicht möglich und die Komplexität des Systems führte dazu, dass nach anderen Möglichkeiten gesucht wurde.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde im Jahr 2010 eine neue Analysemethode zur Bestimmung der Funkfeldlast auf den Radarfrequenzen entwickelt. Ziel war es, eine Echtzeitauswertung der aktuellen Funkfeldbelastung mit geringem Hardware-Aufwand zu erreichen (Real Time – Radio Field Monitor, RT-RFM). Bei dieser Methode wird auf die Aufzeichnung der Basisbandsignale und die Pulsanalyse verzichtet. Vielmehr wird der Datenausgang eines handelsüblichen Empfängers verwendet, der die Aufgabe von Puls- und Telegrammerkennung realisiert. Diese durch den Empfänger bereits vorverarbeiteten Daten werden aufbereitet und daraus das originale Funkfeld berechnet. Die Methode ist in [4] ausführlich beschrieben, eine Kurzdarstellung findet sich in [5].

Im Jahr 2012 wurde der RT-RFM im Rahmen einer weiteren studentischen Arbeit erstmals zu einer umfassenden Funkfeldmessung eingesetzt. In [4] wurde die grundsätzliche Funktion zwar erprobt, Messungen wurden jedoch lediglich im Sinne eines Funktionsnachweises durchgeführt.

Daher war die erste zu beantwortende Frage, ob der entwickelte Korrekturalgorithmus des RT-RFM plausible Ergebnisse liefert.

Die Suche nach der Wahrheit

Wie jede Messung ist auch die Funkfeldmessung nicht fehlerfrei, z.B. weil dynamische Empfängerempfindlichkeit das Messergebnis verfälschen kann. Durch den unregelmäßigen Zugriff auf die SSR-Kanäle kommt es zu Überlagerungen am Empfängereingang. Nicht alle Signale können vom Messempfänger dekodiert werden und liegen als digitale Datenpakete am Ausgang vor. Es besteht also eine Differenz zwischen analogem Eingang und digitalem Ausgang. Anspruch des RT-RFM, wie auch schon bei CORAL, ist dennoch eine möglichst korrekte Messung. Nur wie kann die Ablage zwischen Messwert und tatsächlichem Funkfeld ermittelt werden? Bei CORAL wurde einmal, mehr aus Neugier als wirklich ernsthafter Versuch, das aufgezeichnete Basisbandsignal mit vier Experten Augen analysiert. Nach 60 Minuten waren erst wenige Millisekunden ausgewertet und das Ergebnis war ernüchternd. Es lagen nämlich zwei durchaus voneinander abweichende Ergebnisse vor.

Wie bereits in [5] erläutert, wurde beim RT-RFM ein anderer Weg gewählt. Beim RT-RFM wird zwischen Trainings- und dem Messmodus unterschieden.

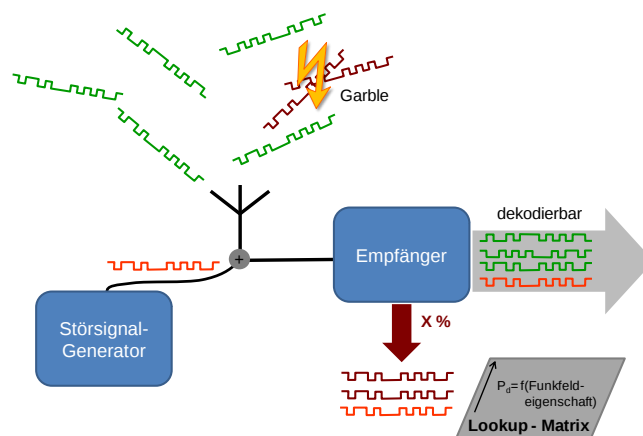


Abb. 1: Prinzip des RT-RFM (Trainingsmodus)

Im Trainingsmodus wird in das reale Funkfeld ein Testsignal bekannter Signatur eingespeist (s. Abb. 1). Aufgrund der eindeutigen Signatur kann dieses Testsignal aus dem Messergebnis extrahiert und die Dekodierwahrscheinlichkeit für dieses Signal im zeitgleich anliegenden Funkfeld

bestimmt werden. Für das Funkfeld wiederum werden charakteristischen Eigenschaften, die der Dekodierwahrscheinlichkeit zuzuordnen sind, bestimmt. Dies sind z.B. Anzahl der Telegramme, Verteilung der Telegramme auf verschiedenen Signaltypen und mittlere Leistung.. Ziel der Trainingsphase ist eine NxM-dimensionale Lookup-Matrix (N: Funkfeldeigenschaften, M: Signaleigenschaften), die für alle Funkfelder (charakterisiert durch die o.g. Eigenschaften), für alle Signaltypen und bei allen relevanten Pegeln einen Korrekturfaktor enthält.

Im Messmodus hingegen werden keine Testsignale eingespeist (s. Abb. 2). Im Messmodus werden zunächst die charakteristischen Eigenschaften des anliegenden Funkfeldes ermittelt. Danach werden aus der o.g. Matrix die Korrekturfaktoren für die einzelnen Signaltypen- und Pegel, die im Messmodus als Zählwerte vorliegen, extrahiert. Der RT-RFM multipliziert nun Korrekturfaktor und Zählwert, das Ergebnis ist im Idealfall das am Empfängereingang anliegende Signal. Die Matrix repräsentiert somit eine Schätzung der inversen Übertragungsfunktion des Empfängers.

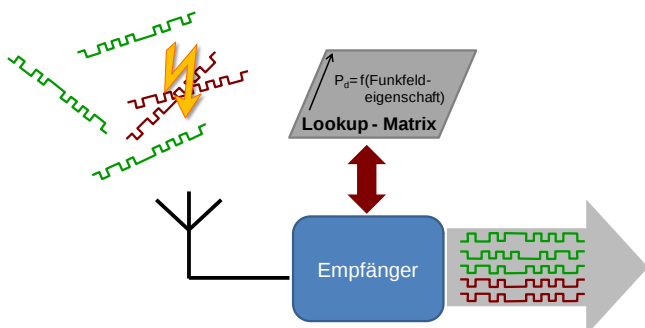


Abb. 2: Prinzip des RT-RFM (Messmodus)

Der Korrekturfaktor ist ein Software-interner Wert, der dynamisch für das jeweils anliegende Funkfeld ermittelt wird und bei der verwendeten RT-RFM-Implementierung extern nicht zugänglich war. Im Rahmen der Masterarbeit musste zunächst die Software angepasst werden, um diesen Korrekturfaktor verfügbar zu machen. Um die Korrektur zu prüfen, wurden Messreihen für verschiedene Signaltypen bei unterschiedlichen Frequenzen und Amplituden durchgeführt.

Die Ergebnisse wurden in sog. Boxplots veranschaulicht, siehe Abb. 3. Anfang und Ende der Box stellen die 25%- und die 75%-Quantile dar.

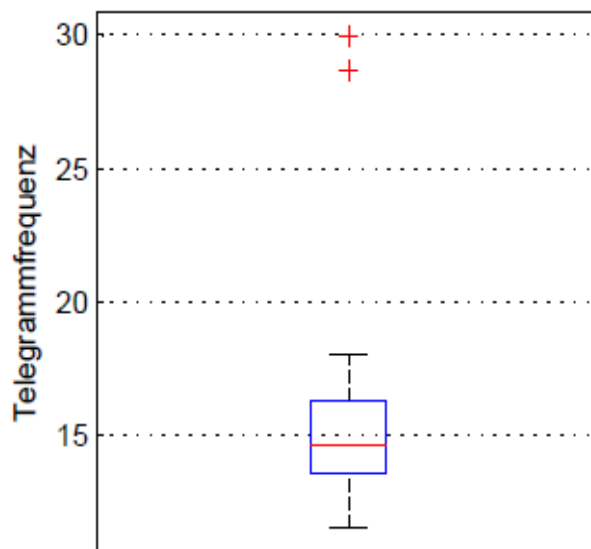


Abb. 3: Boxplot Korrekturfunktion bei DF16@-83dBm, 10Hz

Die Länge der Box repräsentiert den Interquartilabstand. In der Mitte der Box ist in Rot der Median eingezeichnet. Zwei Linien ober- und unterhalb der Box kennzeichnen den Wertebereich. Für diesen gilt:

$$MIN > X_{25\%} - 1,5 * (X_{75\%} - X_{25\%})$$

$$MAX < X_{75\%} + 1,5 * (X_{75\%} - X_{25\%})$$

Stichproben außerhalb dieser Grenzen werden als Ausreißer deklariert und sind, sofern vorhanden, als rote Kreuze in den Box-Plot eingetragen. Jede Messreihe dauerte 10 Minuten, das Mittelungsintervall betrug 10 Sekunden, so dass die Datenbasis je Messung 60 Werte umfasste. In Abb. 3 ist der Plot für eine Messreihe dargestellt, die exemplarisch für den Großteil der Ergebnisse ist.

Am Empfängereingang wird dem von der Antenne gelieferten Funkfeld ein Mode S Testsignal per Koppler beigemischt (Downlinkformat 16, Pegel -83dBm, Wiederholffrequenz 10Hz). Nach dem Korrekturalgorithmus [4] wird für dieses Testsignal eine Frequenz im Bereich 15Hz errechnet, mit zwei Ausreißern bei etwa 30Hz. Der Korrekturalgorithmus unterschätzt folglich die Detektionswahrscheinlichkeit des Empfängers, statt auf 10Hz „korrigiert“ er auf etwa 15Hz. Dieses Verhalten hat sich als typisch herausgestellt. Eine naheliegende Vermutung ist, dass aufgrund der Amplitudenquantisierung im 3dB Raster eine nicht zu vernachlässigende Verschiebung der

Korrektur zu niedrigeren Empfangswahrscheinlichkeiten erfolgt. Die Empfangswahrscheinlichkeit nimmt mit sinkendem Eingangspegel ab. Signale mit einem Pegel von -80dBm bis -83dBm werden mit der Korrektur für -83dBm beaufschlagt. Verifiziert werden konnte diese Vermutung im Rahmen der Arbeit jedoch aus Zeitgründen nicht mehr. Bei den Ausreißern liegt die Ursache bei der Auswahl des Korrekturfaktors. Der RT-RFM versucht, basierend auf der fehlerbehafteten Messung, ein möglichst ähnliches Funkfeld in seiner Korrekturmatrix zu identifizieren. Die zunächst stringenten Kriterien für die Auswahl eines bekannten Funkfeldes werden schrittweise erweitert, bis ein möglichst ähnliches Funkfeld identifiziert werden kann. Durchläuft dieser Prozess mehrere Schritte ist es möglich, dass auch ein wenig geeigneter Wert aus der Matrix ver-

wendet wird. In [4] wird dies ausführlich erläutert und wurde bereits als verbesserungswürdig eingestuft. Grundsätzlich aber kann festgehalten werden, dass der Ansatz, Korrektur des Messfehlers basierend auf messungsinhärenten Parametern, durchaus zielführend ist.

Funkfeldmessung

Nachdem das System auf seine Funktionstüchtigkeit hin überprüft war, wurden Messungen in München und Langen durchgeführt. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse beziehen sich vorwiegend auf den Downlinkkanal. Aufgrund der Antennenposition am Boden sind die Uplinkkanalmessungen nur bedingt repräsentativ. Der Uplinkkanal wird durch die Abfrager, wie Radaranlagen, ACAS und aktive MLAT Sensoren belastet. Da die RT-RFM Sensoren während der Datenaufzeichnung sowohl in München als auch in Langen am Boden installiert waren, sind die bodengestützten Abfrager, im Vergleich zu den an Bord installierten ACAS Systemen, abgeschattet. Es würden folglich ein Teil der Abfrager unter- (bodengestützte) bzw. überrepräsentiert (bordgestützte). Der Downlinkkanal hingegen wird ausschließlich von den an Bord installierten Transpondern genutzt. Weiterhin werden nur Auswertungen dargestellt, bei denen ein Vergleich mit Messungen aus PEGASUS oder [6] hergestellt werden kann.

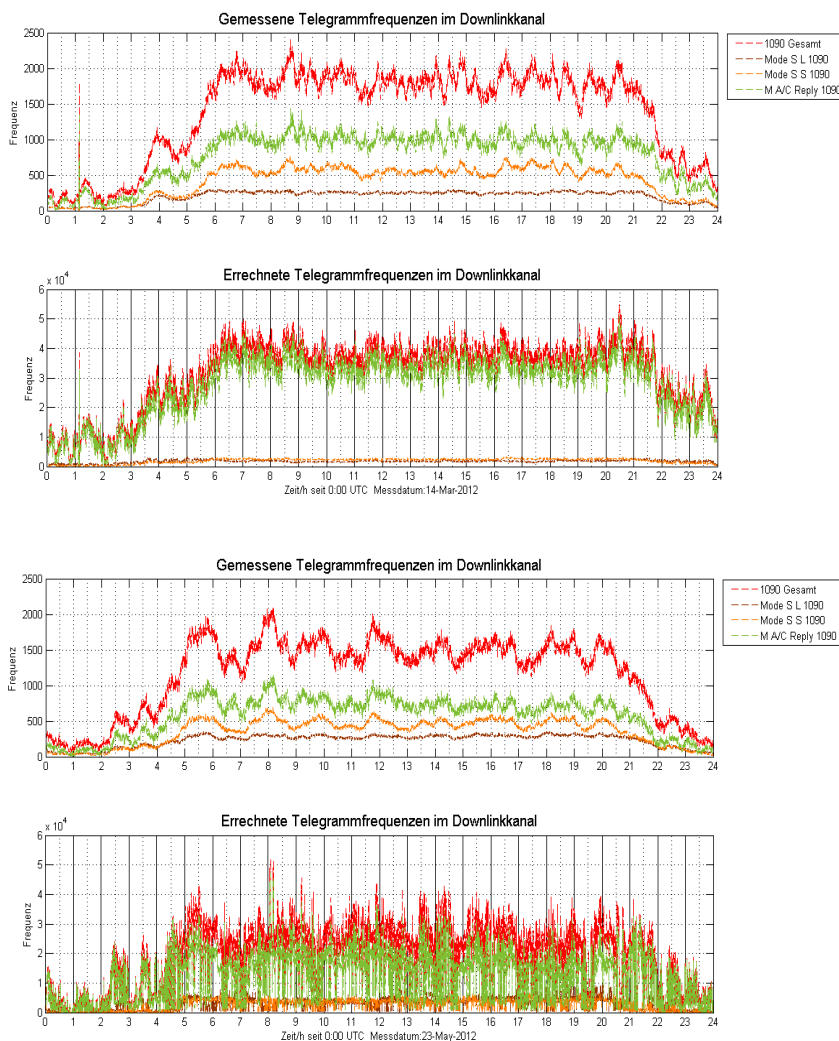


Abb. 4: Tagesgang Downlinkkanal Langen (oben) und München (unten)

FRUIT Messung in Langen und München

Abb. 4 (obere Hälfte) zeigt den Tagesgang einer Messung von SSR-Antworten (FRUIT) in Langen. Im ersten Diagramm ist die Frequenz der detektierten Signale aufgetragen, im zweiten die von RT-RFM berechneten Werte. Liegen die Werte im oberen Diagramm für Mode S und Mode A/C noch in derselben Größenordnung, ändert sich dies nach

der Korrektur. Aufgrund der schlechteren Dekodierwahrscheinlichkeit des genutzten Empfängers und der höheren Störanfälligkeit von Mode A/C im Vergleich zu Mode S [7] ist dies plausibel. Der Wert von etwa 35kHz@-84dBm im Tagesverlauf liegt (überraschenderweise) nahe bei Werten, die bereits im Jahr 2000 gemessen wurden. Seinerzeit wurde an Bord einer Boeing727 in verschiedenen Höhen und verschiedenen Lufträumen gemessen. Die Spitzenwerte lagen etwas oberhalb von 30kHz im Frankfurter Luftraum und bei etwa 15kHz auf einem Streckenflug Frankfurt – München.

Abb. 4 (untere Hälfte) zeigt den Tagesgang einer Messung in München. Bei den gemessenen Frequenzen ist zur Langen-Messung nur eine geringe Differenz festzustellen. Das Funkfeld an der Antenne ist dort folglich nur geringfügig weniger belegt als in Langen. Allerdings muss beachtet werden, dass der Standort der Antenne im Vergleich zu Langen einen größeren Radiohorizont, vor allem in geringen Höhen, aufweist. Während um das Forschungszentrum herum Baumbewuchs und hohe Gebäude die Sicht abschatten, ist dies in München nicht der Fall. Eine Messung auf einem exponierten Gebäude des Frankfurter Flughafens würde sicher eine noch höhere Funkfeldbelastung ergeben.

Bei dem errechneten Tagesgang in München fällt das starke Rauschen auf. Dies ist der beschrie-

bene Effekt bei der teilweise fehlerhaften Auswahl eines Korrekturfaktors durch RT-RFM. Für München und Langen wurden in den Trainingsphasen unterschiedliche Einstellungen des Analyseprogramms verwendet. In München ergibt sich eine große Korrekturmatrix mit teilweise stark unterschiedlichen Einträgen für relativ ähnliche Funkfelder. In Langen führen die Einstellungen während der Trainingsphase zu weniger Einträgen in der Korrekturmatrix, was einer Mittelung über größere Bereiche des Funkfeldes entspricht. Aus diesem Grund variiert die errechnete Telegrammfrequenz in München sehr stark wohingegen für Langen geglättete Messreihen dargestellt werden. Hier zeigt sich, dass für die Trainingsphase noch Verbesserungsbedarf besteht.

Mode S FRUIT Messung Langen

In einem weiteren Verarbeitungsschritt wurde die Pegelverteilung von Mode S FRUIT über einen vollständigen Wochenzyklus ausgewertet. Das Ergebnis für Langen zeigt Abb. 5. Die Belastung im Mode S Kanal hat über die Woche keinen charakteristischen Verlauf, die Werte sind für alle Wochentage, in den ausgewerteten Pegelstufen, nahezu identisch. Der Vergleich mit dem Jahr 2000 zeigt den erwarteten Anstieg der Kanalbelastung. Wie in der Einleitung bereits geschildert, hat sich die Mode S - Bodeninfrastruktur in dieser Zeit signifikant verändert. War im Jahr 2000 nur

ein Abfrager aktiv, hat sich die Zahl auf ziviler Seite bis heute auf 13 erhöht. Die Zunahme des Luftverkehrs hat natürlich ebenfalls zu einer FRUIT-Erhöhung beigetragen.

Vergleicht man die aktuelle FRUIT-Belastung mit den Zahlen vom Jahr 2000 in Abb. 6, ergibt sich eine Zunahme von etwa 20% bei -84dBm und nahezu eine Verdoppelung bei -75dBm. Im Rahmen eines Messfluges [6] von Eurocontrol wurde im August 2011 beim Wegpunkt BOMBI auf FL270 eine FRUIT-Messung durchgeführt. Dabei wurde ein Basisbandrecorder von Eurocontrol und proprietäre Software zur Offlineanalyse genutzt. Bei dieser Messung wurde eine Mode S FRUIT-Rate

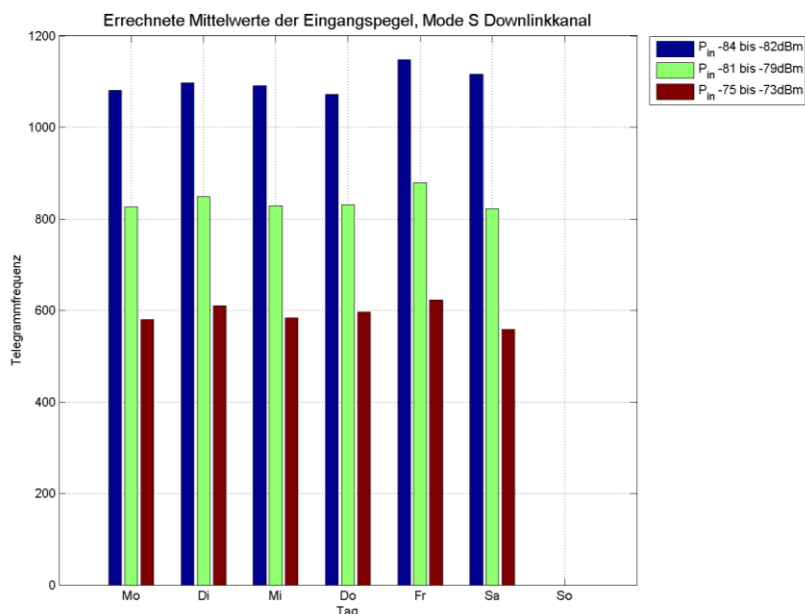


Abb. 5: Pegelverteilung Mode S FRUIT lt. Messungen mit dem RT-RFM im Jahr 2012

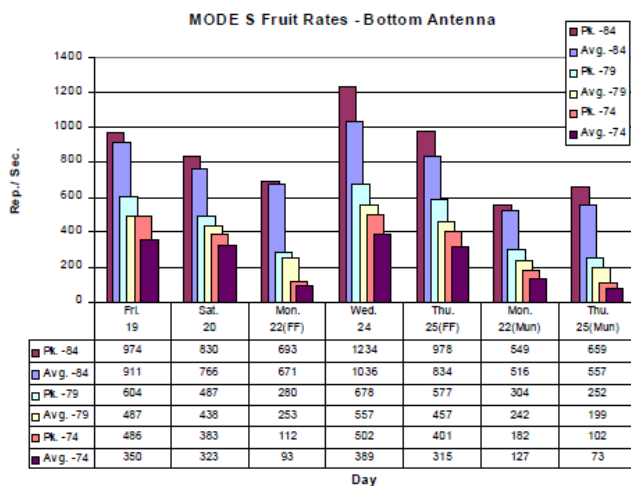


Abb. 6: Pegelverteilung Mode S FRUIT lt. Messflügen im Projekt PEGASUS im Jahr 2000

von nahezu 2kHz und eine SSR FRUIT-Rate von ca. 7kHz bei -84dBm gemessen. Die gegenüber der Längen-Messung höhere Mode S FRUIT Rate lässt sich mit den besseren Empfangsbedingungen erklären, dem allerdings widerspricht die niedrigere SSR Rate. Diese widersprüchlichen Abweichungen verdeutlichen den eingangs gemachten Hinweis: Die Funkfeldmessung und insbesondere die Bestimmung des dabei enthaltene Messfehlers ist nicht trivial.

Formatverteilung Mode S

Bei der Auswertung von Mode S FRUIT ist noch ein weiterer Aspekt relevant. Mode S Telegramme weisen unterschiedliche Längen und somit

auch unterschiedliche Kanalbelegungszeiten auf (Abb. 7). Die Information der aktuell hauptsächlich genutzten Formate 0/4/5/11 hat eine Dauer von 56 μ s, bei den Formaten 17/20 von 112 μ s. Im Jahr 2000 waren nahezu 100% der Telegramme von Format 0 und 11, folglich kurze Telegramme. Bei den aktuellen Messungen wurde ein Anteil von nahezu 30% der langen Formate ermittelt. Somit muss bei der Erhöhung der Kanalbelastung noch der Faktor 1,3 berücksichtigt werden. Betrachtet man beispielsweise die im vorangehenden Abschnitt beschriebene Verdoppelung von Mode S FRUIT@-75dBm (Faktor 2), ergibt sich, aufgrund der Zunahme der langen Telegrammtypen, bei der Kanalbelegungszeit ein Faktor von 2,6.

ACAS Whisper-Shout

Eingangs wurde erwähnt, dass die Auswertungen des Uplinkkanals im Vergleich zu Messungen an Bord wenig aussagekräftig sind und daher auf eine Darstellung der Ergebnisse verzichtet wird. Was aber aufgrund des definierten Systemverhaltens möglich ist, ist die Abschätzung des Anteils der *Whisper-Shout* -Abfragen von ACAS innerhalb der Mode 3 A/C Interrogationen.

ACAS beobachtet den umgebenden Verkehr auf zweierlei Weise. Mit Mode S ausgerüstete Luftfahrzeuge werden regelmäßig über das Format 0 abgefragt und aus den Antworten wird die Annäherung lateral und vertikal bestimmt. Um aber

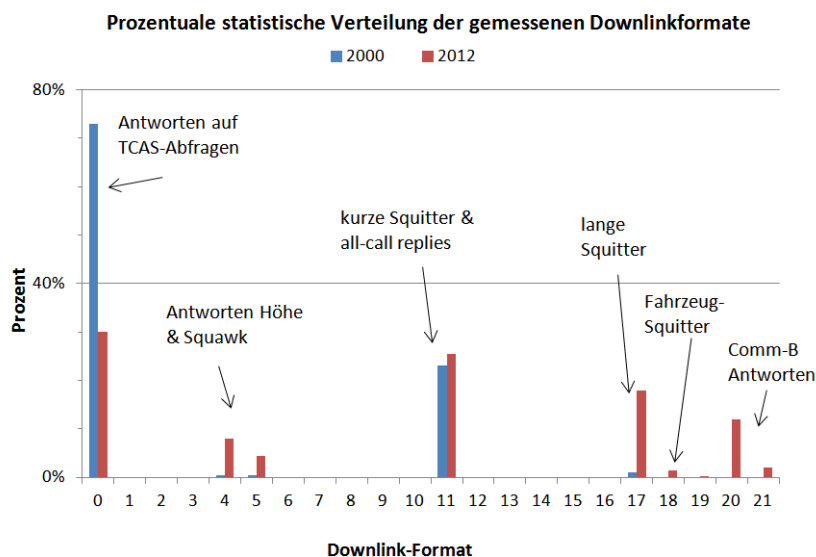


Abb. 7: Formatverteilung Mode S FRUIT im Jahr 2000 (PEGASUS) und im Jahr 2012 (RT-RFM)

auch nicht mit Mode S ausgerüstete „Gegner“ erkennen zu können, werden so genannte *Whisper-Shout* -Abfragen ausgestrahlt. Dabei handelt es sich um modifizierte SSR Mode C Abfragen, die vom umgebenden Verkehr, abhängig von der Schrägentfernung zum Abfrager, beantwortet werden. Der für die Abschätzung relevante Unterschied zwischen SSR und ACAS ist der Tagesgang bei den Abfrageraten. Während die Radaranlagen bezüglich der Abfragerate keinen Tagesgang aufweisen, ist der ACAS Anteil abhängig von der Flugzeugpopulation im Erfassungsbereich, der einen ausgeprägten Unterschied zwischen Tag und Nacht aufweist. Mit der Annahme, dass die Differenz zwischen Tag und Nacht bei den Mode C Abfragen ausschließlich durch die ACAS-Aktivität hervorgerufen wird, erhält man einen Anteil von 75%. Auch bei diesem Signaltyp ist ACAS folglich der Hauptnutzer des Funkkanals.

Fazit RT-RFM

Die Messungen in Langen bei Frankfurt und am Flughafen München haben die Wirksamkeit des gewählten Ansatzes bestätigt. Wird der RT-RFM auf das standortspezifische Funkfeld eingemessen, sind die errechneten Werte im Messbetrieb plausibel. Der festgestellte Trend zur Überkorrektur kann durch die Leistungsquantisierung in 3dB Inkrementen begründet werden, diese Annahme sollte aber noch überprüft werden.

Als sehr nachteilig hat sich die erforderliche Kalibrierung heraus gestellt. Je präziser der RT-RFM das Funkfeld rekonstruieren soll, desto länger muss die Trainingsphase sein. Für die Messung in Langen wurde der RT-RFM 144 Stunden, jeder Telegrammtyp einen vollständigen Tagesgang, trainiert. Für eine Messung in der Luft, wie bei PEGASUS, ist ein derartiges Vorgehen nicht möglich. Bei der Messung in München, bei der das System nicht ausreichend auf das Funkfeld trainiert war, zeigte sich dies durch starke Fluktuationen in den Ergebnissen. Die im RT-RFM implementierte Güteprüfung gab keinen Hinweis auf die mangelhafte Funktionsweise und ist im aktuellen Implementierungsstand nicht nutzbar.

Die Methode, aus einer fehlerbehafteten Messung charakteristische Merkmale zu extrahieren und daraufhin eine Korrektur durchzuführen, sollte aber weiter verfolgt werden. Verbesserungspo-

tential liegt dabei noch in der Wahl der charakteristischen Größen selbst und deren Gewichtung. Die Alternativen dazu sind, den Messfehler durch optimierte Sensorik zu verkleinern oder kontinuierlich ein Testsignal einzuspeisen. Die Verbesserung der Sensorik müsste extern beauftragt werden. Da der angestrebte Anwendungsfall vermutlich keinen großen Absatzmarkt findet, ist mit hohen Investitionskosten zu rechnen. Die kontinuierliche Einspeisung eines Testsignals erfordert ebenfalls Investitionen in neue Hardware. Während der Trainingsphase wurden handelsübliche Signalgeneratoren und Modulatoren eingesetzt. Für den Dauereinsatz sind diese Geräte jedoch nicht verfügbar und auch nicht praktikabel.

Fazit Funkfeld

Die Zusammensetzung des Funkfeldes hat sich durch die Veränderung der Nutzungsstruktur in den zurückliegenden Jahren verändert. Das wurde durch die Messungen bestätigt. Auf beiden SSR-Frequenzen hat der Anteil von Mode S zugenommen. Auf dem Mode S Downlinkkanal ist ACAS nach wie vor einer der Hauptnutzer, der Anteil ist jedoch deutlich, von über 70% auf 30% der Telegramme, zurück gegangen. Bezieht man die Telegrammlänge in die Betrachtung mit ein und vergleicht die Kanalbelegungszeit, dann ist diese bei ADS-B bereits heute größer als bei ACAS. Erwähnenswert ist auch der Anteil von Format 20, in dem die ELS und EHS Daten als Comm-B Meldungen übertragen werden. Bei Berücksichtigung der Meldungslänge übersteigt die Kanalbelastung mit Format 20 bereits die klassischen Formate 4 und 5.

Der Vergleich zwischen Langen und München zeigt, dass sich im Umfeld des Frankfurter Flughafens weiterhin das am höchsten belastete Funkfeld befindet. Die Unterschiede sind zwar, verglichen mit den Messungen im Jahr 2000, relativ gering, was aber den ungünstigeren Empfangsbedingungen in Langen geschuldet ist.

Ein Vergleich zwischen den Messungen im Jahr 2000, der Eurocontrol Messung und dem RT-RFM ist nicht möglich. Es wurden unterschiedliche Sensoren, Verfahren und Standorte verwendet. Angesichts dieser Umstände ist es fast schon verwunderlich, wie nachvollziehbar und vergleichbar die Zahlen, mit Ausnahme der FRUIT-Rate 7kHz vs. 35kHz, auch absolut sind.

Klar wird aber eines: Sollen vergleichbare und über längere Zeit nachvollziehbare Zahlen ermittelt werden, sind Messungen mit einem stabilen System und kontinuierlich oder zumindest regelmäßig erforderlich.

Ausblick

Die DFS besitzt mit der Sensorik aus dem Projekt AMOR (ACAS Monitor, [8]) ein bundesweit verteilt installiertes Empfängernetzwerk, mit dem Daten auf den SSR Kanälen empfangen werden können. Durch eine Erweiterung, den RT-RFM, ist es möglich, einen Sensorstandort um die Funkfeldmonitorfunktionalität zu erweitern. Die Messung muss jedoch lokal erfolgen und die Kalibrierung des RT-RFM in der gegenwärtigen Ausbaustufe ist langwierig und durchaus verbesserungswürdig.

Um die Einschränkung auf lokale Messungen zu beseitigen, wurde bereits eine Erweiterung implementiert, die sich aktuell in der Erprobung befindet. Bei dieser Erweiterung werden die Daten vor Ort reduziert und als Zählergebnis nach Langen in eine Datenbank übertragen. Diese Daten können dann in weiteren Verarbeitungsschritten korrigiert werden. Die in RT-RFM voll integrierte Messung und Korrektur wird also in zwei Vorgänge aufgeteilt. Neben dem Vorteil, dass so mit sehr geringem Aufwand das gesamte AMOR Netz zu einem Funkfeldmonitor ausgebaut werden kann, können auch verschiedene Korrekturstrategien erprobt werden.

Der eingesetzte Empfänger hat nach den Messungen ein Firmware-Update durchlaufen. Durch dieses Update sind die Empfängereigenschaften in einem weiten Dynamikbereich konstant, möglicherweise wurde der beschriebene Offset-Effekt so bereits behoben. Labormessungen werden dies überprüfen.

Abkürzungen

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
AMOR	ACAS-Monitor
ATCRBS	Air Traffic Control Radar Beacon System
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast
EHS	Enhanced Surveillance
ELS	Elementary Surveillance
FRUIT	False Replies Unsynchronized In Time
MLAT	Multilateration
PAM-FRA	Precision Approach Monitor Frankfurt
SSR	Secondary Surveillance Radar

Literatur

[1]	FAA; DFS; EEC: PEGASUS Final Report. Part 1 – 3. 04.05.2001
[2]	H. Fischer: CORAL – A/D Converter, Recorder and Analyzer, TE im Fokus 1/2001.
[3]	R. Oberhoffner: Entwicklung eines Analysetools für einen Sekundärradar-Funkfeldmonitor. Diplomarbeit FH Darmstadt. 2002.
[4]	R. Raekow: Funkfeldüberwachung von Sekundärradarkanälen. Diplomarbeit FH Darmstadt. 2010.
[5]	R. Raekow; H. Fischer: Funkfeldanalyse basierend auf AMOR-Netzwerkkomponenten. TE im Fokus 1/2011.
[6]	Potier, Eric: Report on 1090 RF measurement in Europe. ASP TSG WP12-11. 23 January 2012.
[7]	Dr.-Ing. R. Mallwitz: Untersuchung der Wechselwirkung konventioneller und zukünftiger Sekundärradarsysteme in der Flugsicherung. Verlag Shaker. 1994.
[8]	S. Marquard: The ACAS Monitoring Project. TE im Fokus 2/2008.

Proposal for a frequency flexible SSR/Mode N system Providing Mode S based Navigation and Data Link to replace DME and TACAN

Joachim Wollweber (SIS/MF), Dr. Roland Mallwitz (SIS/S); Steffen Marquard

Purpose of the document ¹

This article describes a proposal to provide navigation service by replacing DME (distance measuring equipment) and ICAO-compliant TACAN (Tactical Air Navigation) equipment with a system based on SSR/Mode S and retaining legacy DME- and TACAN functionality. This system would provide RNAV and data link in addition to the regular SSR/Mode S functions. The proposed system is called "Mode N", where N stands for Navigation. In parts of the frequency band assigned by ITU to the Aeronautical Radio Navigation Service (L-Band, 960-1215 MHz) new Mode N channels could be defined in parts of the band which are currently not usable for ATC purposes. If DME and TACAN systems would be replaced by the Mode N system, about 220 MHz of the 255 MHz of spectrum presently required to sustain DME and TACAN service could be re-released to establish additional services. This could be realized on regional basis or globally.

Introduction

The European core area, like other places in the world, is characterized not only by spectrum congestion, but also by an extremely high SSR channel load on 1030/1090MHz [1], [2]. High air traffic density areas with multiple airports usually show a large number of airborne and on-ground surveillance and navigation equipment to ensure safe operation.

Any new system intended for operation in the L-Band shall not only improve performance of legacy systems, but also provide new functions to reduce the spectrum and channel load generated by on-board and ground-based installations. In the medium to long term new systems shall also free spectrum for future use. Furthermore, any new system shall not affect capacity and sensitivity of the existing legacy systems, presently DME, TACAN (both N- and P-Mode), SSR/Mode S, ACAS and WAM, nor generate additional RF interference. The SSR/Mode N system shall allow flexible operation throughout the L-Band to support regional implementations.

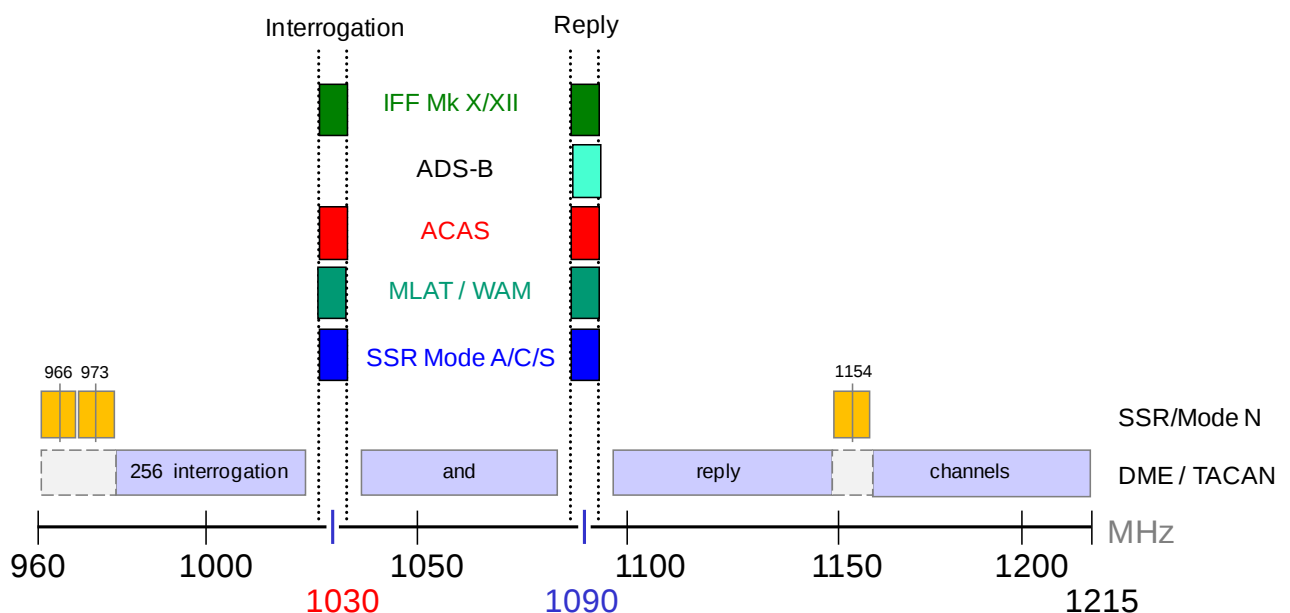


Fig. 1: L-band assigned by the ITU to the Aeronautical Radio Navigation Service (SSR bandwidth not to scale)

¹ This article is written in English in light of its foreseen re-use in international expert groups

Today parts of the frequency band assigned by the ITU to the Aeronautical Radio Navigation Service are unusable and would allow to establish three SSR/Mode N channels at 966, 973 and 1154 MHz worldwide (see Fig. 1). During transition phases, when old and new equipment is usually operated in parallel, frequency congestion would increase. The utilization of the currently unused L-Band parts by Mode N channels could eliminate this problem.

Experiences from previous technology changes, e.g. introduction of Mode S, DME y-pulse code and the reduction of VHF-COM channel spacing from 25 kHz to today's 8.33 kHz show that a time frame of 10 to 20 years will pass until old equipment has been phased out.

Problems to be considered

For aircraft operators, new equipment without legacy support generates a number of problems, e.g. the need for additional space and an additional antenna. While the space constraint for the equipment applies mainly to small and medium aircraft, adding an additional antenna is a problem for airframes of all sizes. Aircraft are already occupied with an abundance of antennas distributed over the fuselage (see Fig. 2). Integration into the existing on board cable and data structure is another problem. Since SSR/Mode N is intended to replace the existing DME and TACAN equipment the impact would be minimal.

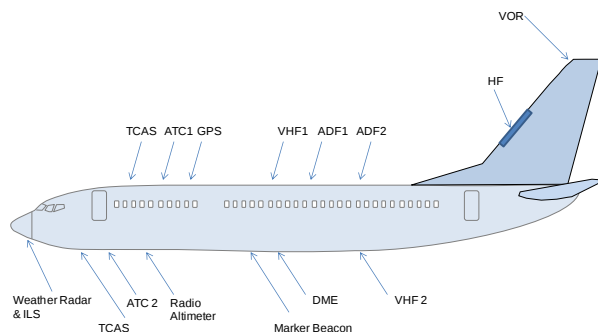


Fig. 2: Example layout of antenna locations

Damage to receivers from other transmitters on-board of aircraft is avoided by the use of an on-board mutual suppression bus (MSB). The suppression pulses sent to the bus by transmitting equipment blank other receivers for protection purposes. This in turn limits the reception time and in consequence a receiver's availability.

A worst case example is the proposed L-Band Digital Communication system (LDACS), which would, if adopted, generate extensively long transmission of e.g. 7 ms. This might prevent a SSR/Mode S transponder from receiving interrogations and potentially lead to a target loss.

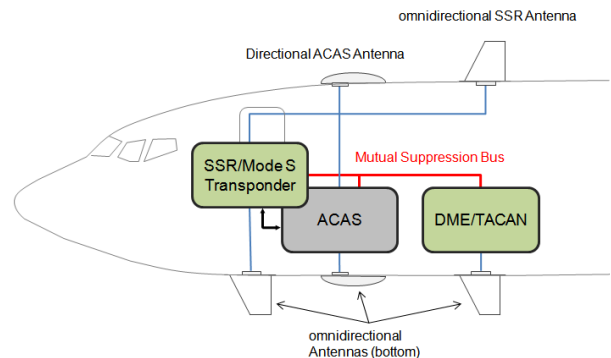


Fig. 3: Typical aircraft installation

Problems for Air Traffic Service providers are similar to those for aircraft operators. Time is a factor on top of procurement and operating costs. In order to maintain ATC service during the reconstruction of existing equipment additional systems may have to be installed temporarily. Operation can only begin once a technical and operational clearance has been granted after a successful flight-inspection.

Proposed Solution – SSR/Mode N

DME, TACAN and SSR/Mode S are active systems based on a reply to a valid interrogation. Signals differ mainly in the pulse width, pulse number and position, modulation and reply delay. It is therefore feasible to combine the functionality and definitions of DME and SSR/Mode S in a single SSR/Mode N system. SSR/Mode N transponders would provide DME legacy support when needed to allow navigation in areas without Mode N infrastructure on the ground.

The proposed solution offers the opportunity of a direct substitution of the DME/TACAN or a SSR/Mode S transponder replacement with a SSR/Mode N system and the withdrawal of DME/TACAN.

Assuming the Mode N aircraft transponder composes of two independently operated transmitters, the system is not bound to reply at a certain time and can transmit in parallel to SSR/Mode S.

In this way the need for the on-board mutual suppression bus for this equipment would be eliminated (see Fig. 4).

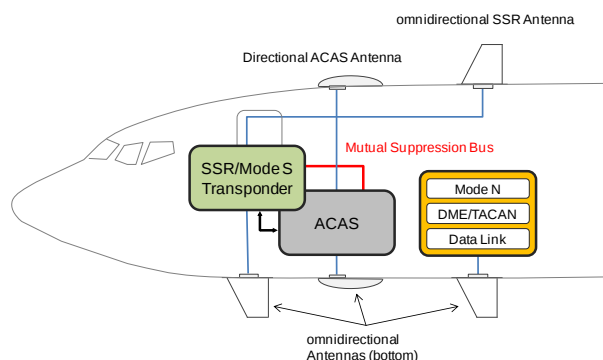


Fig. 4: Proposed Solution "DME/TACAN substitution"

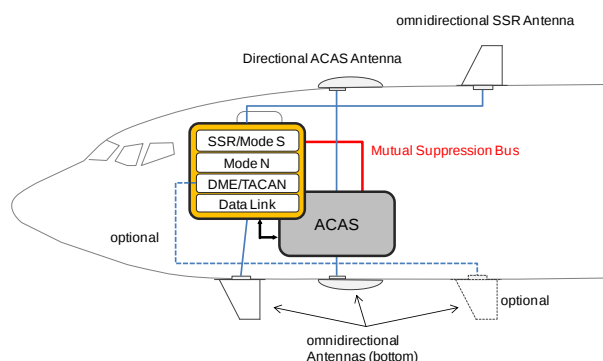


Fig. 5: Proposed solution "single box solution"

In the case of a single transmitter solution (see Fig. 5) transmissions of SSR/Mode S and DME/TACAN signals have to be synchronized internally to avoid interference from DME/TACAN channels close to 1030/1090MHz.

SSR/Mode N would provide transmission and reception on frequencies between 962 to 1212 MHz in 1 MHz steps, the adjustment of the transmit power, offsets between transmit and receive channel (0, 60 and 63 MHz) and modulation as needed. It can alter the modulation and number of pulses, their duration and position relative to the first pulse, along with other definitions documented in the relevant ICAO standards and related documents. SSR/Mode N may also benefit from improved receiver selectivity and performance im-

plemented during system development.

(a) Mode N Surveillance

Since the SSR/Mode N transponder design is based on existing SSR/Mode S and DME/TACAN, it provides already most of the functions needed which can be found in ICAO standards and related documents. Nevertheless, there is the opportunity to incorporate additional improvements to the existing standards as needed to improve resilience to interference and provide additional new functionalities.

(b) Mode N Navigation

A scanning DME- or TACAN-interrogator has to interrogate up to 5 ground DME transponders to provide area navigation (RNAV), each on a different frequency pair. Interrogation and reply frequencies are separated by 63MHz. Both frequencies of a pair have to be sufficiently separated from other operations on the same or adjacent frequencies, either by a sufficient distance or frequency separation or use a different pulse code (spacing), before a frequency reuse on a co- or adjacent channel by another ground transponder is possible. In contrast to this, a single Mode N channel can sustain Navigation and data link service for all Mode N ground transponders within an area. Additional Mode N channels are mainly needed to provide additional data link capacity or functionality.

While the legacy DME and TACAN ground tran-

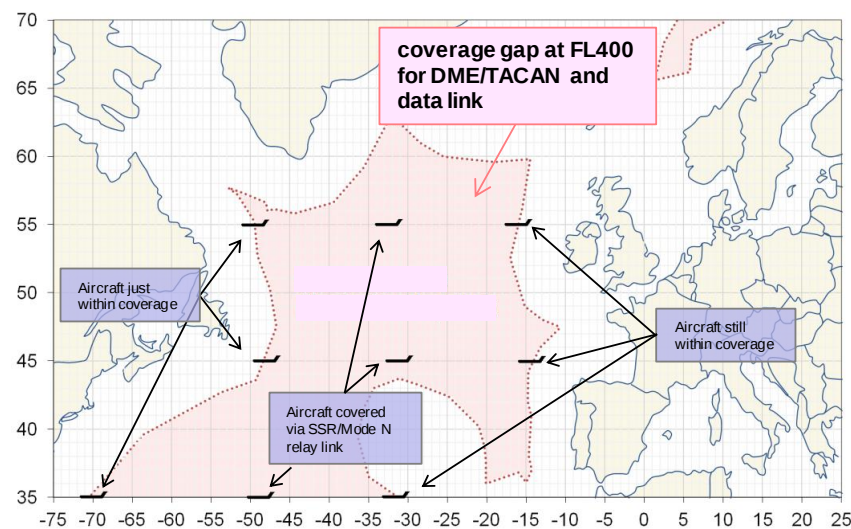


Fig. 6: Example how the Atlantic area can be covered for SSR/Mode N using other aircraft acting as Mode N relay link

sponder transmits continuously up to 5400 pulse pairs per second, Mode N ground transponder would periodically transmit only their identification, coordinates, antenna height and transmission time using e.g. an Extended Squitter type message. The slant range between the ground installation and the aircraft can be calculated classically from the time difference between transmission and onboard reception. The SSR/Mode N aircraft transponder would triangulate with these data using up to 5 ground station's positions without the need for active interrogations.

DME interrogations and SSR replies are transmitted with maximum Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) independent of the actual distance to safely establish a link. While being mainly passive, SSR/Mode N interrogations can be initiated by aircraft, when accuracy or integrity requires it, e.g. for approach and departure purposes. Since the distance between transmitter and receiver is known from triangulation, the SSR/Mode N transponder could adjust the transmitted EIRP during active interrogation to a sufficient large value needed to overcome the path loss safely. This adaptive behavior would reduce the spectrum impact compared to the present DME and SSR systems.

SSR/Mode N airborne transponders within coverage of Mode N ground transponder can extend the Mode N service to other aircraft outside Mode N coverage. Aircraft within coverage transmit their own Mode N derived position, altitude and distance to the Mode N ground transponder in a regular Extended Squitter type message. Based on this information aircraft outside the Mode N coverage could determine their own position. Theoretically, a SSR/Mode N transponder flying at FL400 up to 250 NM from a coastline could extend coverage by 500 NM to other aircraft (see Fig. 6). In case of a GNSS failure, Mode N can provide an excellent DME/DME fallback solution.

(c) Mode N communication / data link

In addition to its navigation function, SSR/Mode N would provide data link functionality. SSR/Mode S is limited in use due to the localization on 1030/1090MHz and the reply capability. For all L-Band systems the capacity is furthermore limited by the on the onboard mutual suppression bus. Taking into account that

SSR/Mode N can operate at any frequency not occupied by DME and SSR/Mode S, Mode N data link channels would be possible, even on a limited regional basis. Since SSR/Mode N can transmit in parallel to SSR/Mode S no additional use of mutual suppression is needed. Therefore, the receiver availability will not be affected.

Various messages are already specified in SSR/Mode S Enhanced Surveillance and ADS-B. The enclosed information itself and the message format can be reused in SSR/Mode N data link transmissions. Also, new messages for numerous yet to be specified purposes could be defined.

For aircraft flying in oceanic regions the relay of data link information via other aircraft would be possible. This would allow to contact aircraft in e.g. oceanic regions presently beyond the radio line of sight (RLOS) of ground equipment. The relay functionality is based on the same assumptions made for SSR/Mode N navigation coverage extension (see Fig. 6).

Benefits

The proposed SSR/Mode N system offers a number of benefits as follows:

Spectrum efficiency: Mode N requires only a single channel with less than the present 8 MHz bandwidth needed by a legacy transponder. Therefore, replacing DME and TACAN by SSR/Mode N would free 220 MHz of the band 960-1215 MHz for new use or systems.

Currently 22 MHz of the band 960 -1215 MHz remain unusable for DME and SSR. This 22 MHz allow to establish 3 independent SSR/Mode N channels at 966, 973 and 1154 MHz.

Ground Mode N transponders would transmit only squitter type messages unless interrogated. Airborne SSR/Mode N transponders operate mostly passive unless interrogations required for integrity or accuracy purposes e.g. during approach or departure phases of a flight.

Mutual suppression could be reduced or avoided by parallel or coordinated transmission of SSR/Mode S, DME/TACAN and SSR/Mode N.

Cost and time efficiency: Mode N transponder would be based on already standardized, proven and certified SSR/Mode S and DME/TACAN technology.

SSR/Mode N transponder could emulate DME interrogators to provide DME RNAV support for areas without Mode N ground infrastructure. Direct pull-out replacement and use of existing antenna eliminates the need to retrofit an aircraft.

Ground infrastructure could have reduced cost compared to legacy equipment, because of reduced frequency usage and less complexity of the system. This would reduce maintenance cost for air navigation service providers and aircraft operators compared to existing equipment.

Additional benefits: The Mode N system would provide an inter-aircraft data relay link to achieve coverage beyond the radio line of sight of e.g. oceanic airspace to extend the navigation and data link coverage.

Summary and Conclusion

The proposed SSR/Mode N system would only re-define the already standardized Mode S functions for Navigation and data link purposes.

Therefore setting up the required standards should require only a few years compared to the time needed to design, test and standardize a completely new system from scratch. The frequency range 960-977 MHz and 1151-1157 MHz which today is unusable for DME and SSR would provide for 3 Mode N channels. The band 960 to 1164 is already allocated for the aeronautical Radio Service by ITU.

The main difference to existing SSR/Mode S transponder is the frequency agility. It would allow frequency selection in 1 MHz steps throughout the band 962 to 1213 MHz, not just fixed to 1090 MHz and legacy support for DME and TACAN transponders. SSR/Mode N aircraft transponder emulate DME and TACAN interrogator functions when needed, e.g. for operation in areas without Mode N ground infrastructure.

By replacing existing DME and TACAN transponder by Mode N ground transponder spectrum can be released, about 220 of 255 MHz once all DME- and TACAN systems are replaced by Mode N transponders. For regions that maintain DME and TACAN service, frequency reallocation may free spectrum to provide additional Mode N channels beyond the 3 Mode N channels already identified.

For navigation purposes Mode N ground transponder would regularly broadcast their coordi-

nates, antenna height and time of transmission. SSR/Mode N aircraft transponders may then calculate the slant range between airborne and ground Mode N system. By triangulation the aircraft's position can be determined without actively interrogating. When required, e.g. to sustain data integrity and accuracy during initial and final approach, active interrogations of selected ground transponders can be initiated. Since the transmission power would be reduced to the minimum needed to achieve contact, even with active interrogations the transponder occupancy for navigation purposes should stay far below the specified maximum values. Therefore almost all of the navigation channel capacity is left for data link purposes.

The SSR/Mode N inter-aircraft relay link would allow to extend coverage beyond the radio line of sight for the navigation and data link.

References

[1]	FAA; DFS; EEC: PEGASUS Final Report. Part 1 – 3. 04.05.2001
[2]	Dr. A. Herber, A. Walberer: SSR system performance and interference analysis using an event-driven simulation. TE im Fokus 1/2012. ISSN 1861-6364.

Abbreviations

ACAS	Airborne Collision Avoidance system
ATC	Air Traffic Control
DME	Distance Measuring Equipment
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ITU	International Telecommunication Union
Mode N	Mode Navigation
Mode S	Mode Select
RLOS	Radio Line Of Sight
SSR	Secondary Surveillance Radar
TACAN	Tactical Air Navigation
WAM	Wide Area Multilateration
XPDR	Transponder

Spracherkennung findet Einzug in der DFS

Vorgehensweise bei der Einführung von Spracherkennung im Forschungs- und Trainingseinsatz

Michael Slotty, Oliver Rühl

Was ist überhaupt Spracherkennung?

Gemäß Wikipedia handelt es sich bei der Spracherkennung um ein Teilgebiet der angewandten Informatik, der Ingenieurwissenschaften und der Computerlinguistik. Sie beschäftigt sich mit der Untersuchung und Entwicklung von Verfahren, die Automaten, insbesondere Computern, die gesprochene Sprache der automatischen Datenerfassung zugänglich macht. Die Spracherkennung ist zu unterscheiden von der Stimm- bzw. Sprechererkennung, einem biometrischen Verfahren zur Personenidentifikation. Allerdings ähneln sich die Realisierungen dieser Verfahren.

1. Einleitung

In vielen Lebensbereichen werden wir bereits mit Spracherkennung konfrontiert; sei es bei kommerziellen Sprachdiensten (Auskünfte über Telefon bei Fahr- und Flugplänen, automatische Reservierungssysteme oder automatische Telefonvermittlung – die Architektur solcher Systeme ist in Abb. 1 beschrieben), innerbetrieblichen Sprachdiensten (Warenannahme, Inspektion von Anlagen, prozessorientierte Ereignismeldung) oder geräteintegrierten Sprachdiensten wie Freisprecheinrichtungen oder Navigationssysteme in Kraftfahrzeugen, Computerspiele, Anwendungssoftware für körperlich behinderte Menschen. Das berühmteste Beispiel ist die Spracherkennungssoftware SIRI im Apple iPhone®.

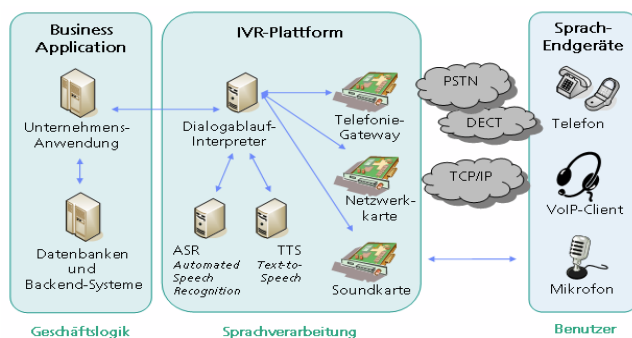


Abb. 1: Architektur von Sprachdialogsystemen [5]

1.1 Spracherkennung im ATC-Bereich

Bereits Ende der 90er Jahre wurde Spracherkennung im F&E-Bereich der DFS getestet mit dem Ziel, diese im Simulatorumfeld einsetzen zu können. Spracherkennung übernimmt den Part der Simulationspiloten, um den Lotsen zu antworten und entsprechenden Anweisungen zur Steuerung der Flugzeuge auszuführen. Relativ schnell wurde erkannt, dass die Erkennungsrate zu niedrig und die damalige Technik noch nicht reif für Anwendungen im Flugsicherungsbereich war.

Nachdem 2003 der erste NEWSIM (ATC Center Simulator der DFS) für die Ausbildung in der Akademie der DFS in Betrieb ging, wurde das Thema Spracherkennung (Voice Recognition and Response – VRR) wieder aufgenommen. Die Software war bereits in den NEWSIM integriert. Obwohl die Erkennungsrate verbessert worden war, erschien sie immer noch nicht ausreichend, um sie im Trainingsbetrieb einzusetzen. Aus DFS-Sicht wurde das Thema Spracherkennung im Jahre 2005 eingestellt.

Lange Zeit tat sich nicht viel auf dem Spracherkenner-Markt. Dennoch fand der Hersteller unserer Simulatorsysteme, UFA Inc., weitere Kunden, die den Einsatz von VRR vorantreiben wollten. Im militärischen Bereich wird oft ganz ohne Simulationspiloten trainiert.

Bei folgenden militärischen Kunden hat die Firma UFA VRR im Einsatz:

- US Army, US Army National Guard, US Air Force – ATCoach Tactical Edition und ATVoice; seit 1998
- US Army, US Army National Guard – ATTower & ATVoice; seit 2003

Die größten Fortschritte wurden allerdings im zivilen Bereich in den amerikanischen Hochschulen erzielt.

Das Daniel Webster College in Nashua, New Hampshire setzt ausschließlich VRR ohne Simulationspiloten ein. Das Ausbildungskonzept ist

aber grundsätzlich anders als bei der DFS. Hier erfolgt die Arbeit mit Coaches einmal pro Woche. Danach müssen die Studenten selbständig am Simulator ein Übungspaket abarbeiten, welches in der darauffolgenden Woche kontrolliert wird. Der Simulator ist rund um die Uhr an sieben Tagen in der Woche für die Studenten verfügbar.

Aufmerksam auf eine neue Ära im Einsatz von „Voice Recognition and Response“ wurde die DFS, als die kanadische Flugsicherung NAV CANADA ihre Ausbildung auf praktisch die gleichen Simulatoren wie die DFS umgestellt hatte: ATTower (TOSIM) und ATCoach (NEWSIM), und zusammen mit UFA die Nutzung von Spracherkennung im Training erheblich verbessert hatten. NAV CANADA litt unter erheblichem Kostendruck und stellte von zentraler Ausbildung auf eine dezentrale um. Im Zuge dessen wurde das Basic Training komplett umgestellt und ohne Simulationspiloten durchgeführt.

2. Technik Voice Recognition and Response im Simulatorumfeld – Beispiel NEWSIM

NEWSIM ist der Center Simulator der DFS. Er besteht aus dem Lizenzprodukt ATCoach, wel-

ches von der Firma UFA Inc. aus Boston bezogen wird und aus den DFS Komponenten Controller Display JARVIS, der Simulation Interface Unit (SIU), der Flight Plan Coordination Function (FlipCoF) und des Sprachvermittlungssystems SINATRA (VoIP-basierendes Kommunikationssystem – wird sowohl im Center-Simulator wie auch im Tower-Simulator der DFS eingesetzt).

Das Spracherkennungsmodul ATVoice ist vollständig in den NEWSIM integriert (siehe Abb. 2).

Gibt ein Lotse über das Headset oder das Mikrofon eine Clearance an ein Flugzeug weiter, so wird der analoge Sprachstrom über die Audioabox und das Sprachvermittlungssystem SINATRA in einen digitalen Strom umgewandelt. ATVoice besteht aus zwei Submodulen, nämlich dem eigentlichen Spracherkenner (AVOKE® - Drittprodukt von BBN) und dem „Response“-Geber (TTS – Text To Speech). Der ankommende digitale Datenstrom wird durch AVOKE unter Berücksichtigung des Sprachmodells und der hinterlegten Phraseologie¹ analysiert (erkannt), in ATCoach Kommandos umgesetzt und an ATCoach (Simulatorkern) gesendet.

Über das integrierte Callsign-Handling wird eine eindeutige Zuordnung zum Flugplan hergestellt.

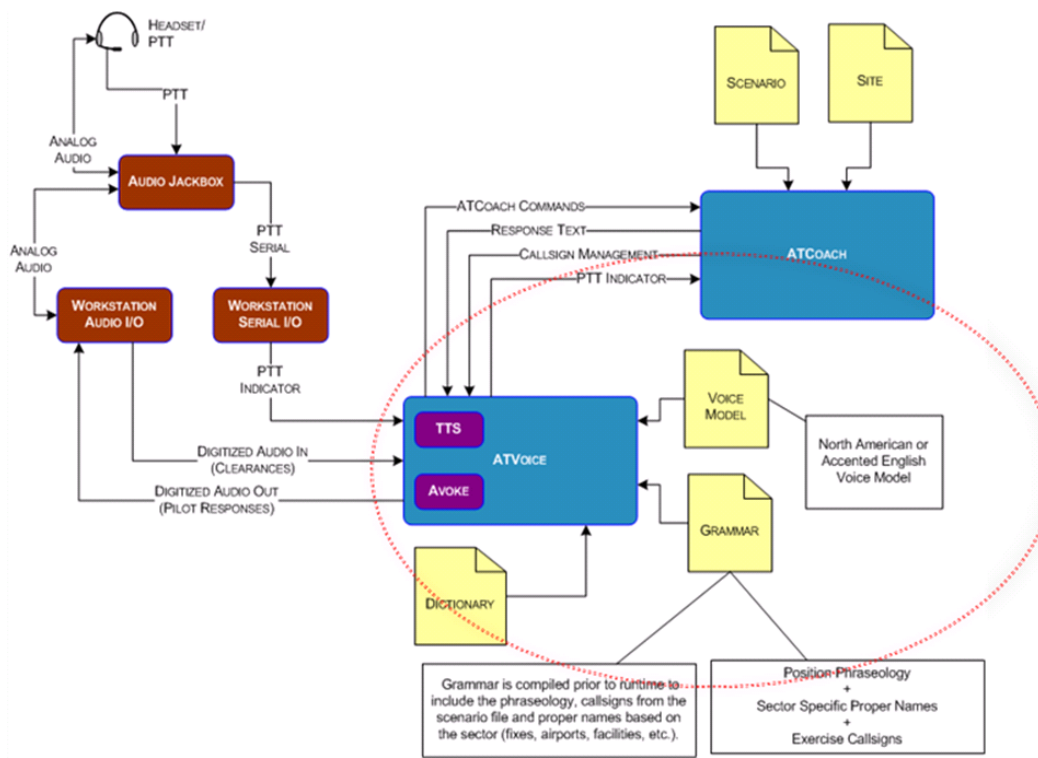


Abb. 2: Integration Spracherkenner in den NEWSIM

¹ Disziplin der Sprachwissenschaft, die sich mit festen Wortverbindungen beschäftigt. Bezeichnet auch die Gesamtheit der festen Wortbindungen einer Sprache.

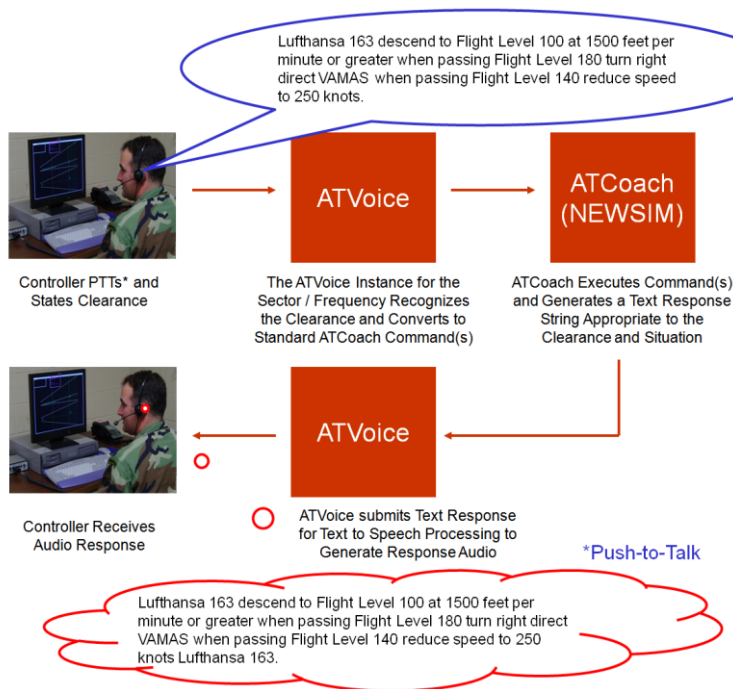


Abb. 3: Arbeitsweise Spracherkennung aus Sicht des Lotsen

Auf der Basis der analysierten ATCoach-Kommandos wird das entsprechende Readback, welches normalerweise der Simulationspilot zurückliert, als Textstring generiert und an ATVoice zurückgegeben. Das Submodul TTS erzeugt aus dem Textstring ein digitales Readback, welches über SINATRA und den an der CWP angeschlossenen Lautsprecher bzw. das Headset ausgegeben wird. ATCoach steuert parallel dazu das entsprechende Flugzeug anhand der analysierten ATCoach-Kommandos.

3. DFS-Projekt „Einführung von VRR in allen DFS Center-Niederlassungen“

Nach dem Besuch des Ausbildungsbetriebs von NAV CANADA im November 2009 wurde das Thema innerhalb der DFS erneut diskutiert und entschieden, mehr Energie in das Thema „Einsatz von Spracherkennung im Training“ zu stecken.

Durch die äußerst positiven Erfahrungen mit der Niederlassung München im Simulatorumfeld und deren erhöhten Bedarf an Simulationskapazitäten ab Mitte 2011 wurde zugestimmt, VRR zuerst dort einzuführen und das Projekt „Einführung von VRR in allen DFS Center Niederlassungen“ wurde begonnen.

Zielsetzung des Projektes war die Nutzung von Spracherkennung im Training und im Rahmen von Fort- und Weiterbildung (Proficiency) auf den DFS-Simulatoren an einem festgelegten Einsatzbeispiel, um

- die Simulatoren flexibler zu nutzen, z.B. am Wochenende und zu Abendstunden, an denen normalerweise keine Simulationspiloten verfügbar sind,
- die Anzahl von Simulationspiloten zu begrenzen.

Der Regelbetrieb VRR im Simulatorumfeld wird dann über das „normale“ Produktmanagement unterstützt.

Neben der Erstellung des Projektantrages wurde schon parallel an der fachlichen Umsetzung mit der Niederlassung München gearbeitet.

3.1 Organisation des Projektes

Das Projektteam setzt sich aus Mitarbeitern des Produktmanagements Center Simulatoren innerhalb des ATM Simulatorzentrums, der Abteilung Simulationen und den betroffenen Niederlassungen zusammen.

Das Projekt wird geleitet durch den Leiter des Produktmanagements Center Simulatoren innerhalb des ATM Simulatorzentrums.

3.2 Projektplanung

Die ursprüngliche Projektplanung lt. Projektantrag 2 sah wie folgt aus:



Abb. 4: Ursprüngliche Projektplanung

3.3 Niederlassung München – Launching Customer

In Gesprächen mit der Niederlassung München wurde erarbeitet, dass Spracherkennung zuerst zwei Wochen vor Beginn des „On the Job Trainings“ (Pre-OJT) im oberen Luftraum eingesetzt werden soll. Der Plan war, dass ab August 2011

regelmäßig Pre-OJTs, die in München für Karlsruhe ausgebildet werden, mit VRR trainieren.

Im Juni 2010 fand eine Präsentation der VRR-Funktionalitäten zusammen mit Greg Thibeault (ehemaliger Professor am Daniel Webster College und maßgeblich an der VRR-Weiterentwicklung im ATCoach-Simulatorumfeld beteiligt) in Langen statt. Der Teilnehmerkreis umfasste die Akademie, F&E und die Kollegen aus München. Die vorhandene Funktionalität lief hervorragend, bestehende Skepsis der Teilnehmer über die Qualität der Spracherkennung wurde aus dem Weg geräumt.

Danach erfolgte die Installation eines Testsystems in der Niederlassung München. Anschließend wurde in 7 Workshops zusammen mit der Firma UFA Inc. sowohl die Phraseologie für die Nutzung von Spracherkennung im oberen Luftraum als auch ein angepasstes *German Voice Model* entwickelt.

Ab Februar 2011 fanden dann Feldversuche mit freiwilligen Lotsen statt. Parallel dazu wurde das inzwischen veraltete Trainingssystem SimSys München auf die neue NEWSIM Plattform (unter Linux) mit neuem Sprachkommunikationssystem SINATRA umgerüstet.

Das Training mit VRR begann am 1.8.2011 allerdings zuerst mit mäßigem Erfolg. Die Umstellung des Trainingskonzeptes auf ein Training direkt am operationellen System (Trainingsumgebung) mit PSS (Paperless Strip System), einem neuen Trainingssimulator, einem neuen Sprachkommunikationssystem, einem für die Pre-OJTs unbekannten Luftraum und der Spracherkennung beinhaltete viele Fallstricke. Insgesamt war auch die Zeit zur Umstellung der Übungen von einem reinen Simulator auf einen Simulator, der das DFS operationelle System P1/ATCAS „treibt“, sehr knapp bemessen.

Nachdem inzwischen die Anlaufschwierigkeiten behoben sind, ist das System im Dauereinsatz. Im November 2012 findet bereits der achte Kurs mit Unterstützung von Spracherkennung und ohne Simulationspiloten statt.

3.4 Aktueller Projektplan

Auch die übrigen Centerniederlassungen warten nun gespannt auf die Einführung der Spracherkennung in ihre Simulationssysteme.

Allerdings ändern sich Im Laufe eines Projektes Rahmenbedingungen, so auch hier. Der geplante Start mit der Niederlassung Bremen Ende 2011 musste verschoben werden, da aufgrund der Schulungen für die geplante Eröffnung des neuen Berliner Flughafens Berlin-Brandenburg-International kein Personal zur Verfügung stand. Es konnte aber die Niederlassung Karlsruhe für eine Planänderung gewonnen werden. Der Einführungsplan sieht somit derzeit wie folgt aus:



Abb. 5: Aktueller Projektplan

In Karlsruhe steht bereits ein erstes Testsystem. Hier wurde die in München entwickelte Phraseologie für den oberen Luftraum getestet und deren Einsatzbereitschaft attestiert. Im 1. Quartal 2013 wird eine Testphase am NEWSIM in Karlsruhe stattfinden. Das erste Mal zum Training soll VRR im August 2013 eingesetzt werden.

Nachdem die Schulungsmaßnahmen für den neuen Berliner Flughafen abgeschlossen waren, kann nun auch die Niederlassung Bremen Ressourcen bereitstellen, um die Einführung der Spracherkennung zu unterstützen.

Als letzte Centerniederlassung führt Langen VRR ein. Die ersten Gespräche zum Start der Aktivitäten haben stattgefunden.

4. Einsatz von VRR im Akademie-Training

Gerade im Ausbildungsbetrieb der DFS Akademie, wo mit einfachen Übungen gestartet, sukzessive der Schwierigkeitsgrad gesteigert wird und die Anzahl der Luftraumaktualisierungen gegenüber der Centerniederlassungen gering ist, bietet es sich an, Spracherkennung einzusetzen.

Deshalb wurde schon in 2005 zwischen dem Bereich Forschung und Entwicklung und der Akademie gemeinsam VRR getestet, allerdings nur mit mäßigem Erfolg (siehe Kapitel 1.1).

Der Start des Projektes „Einführung von VRR in allen Center Niederlassungen“ wurde daher mit Skepsis beobachtet aber die frühen durchaus positiven Signale aus der Niederlassung München haben zu einem Umdenken geführt.

Im März 2011 fand das Kickoff zur Einführung von Spracherkennung an der Akademie statt.

Ziel ist es, VRR zuerst in einer Einzelplatzübung im Sektor „Würzburg Low (WURL)“ einzusetzen.

Um auf keinen Fall die Ausbildung zu gefährden, wurde ein sogenannter „Mixed Mode“ entwickelt. Dabei soll der Spracherkenner eines Sektors den „Standardverkehr“ bearbeiten, während ein Simulationspilot die Spezialfälle, wie Luftbetankungen und Emergencies bearbeiten soll. Normalerweise werden Hochlastübungen mit 2 Simulationspiloten pro Sektor bearbeitet.

Aufbauend auf der Phraseologie, die zusammen mit der Niederlassung München entwickelt wurde, wurden die notwendigen Funksprechphrasen für den unteren Luftraum ergänzt.

Schon Ende 2012 wird die Testphase eingeläutet. Ab dem 2. Quartal 2013 soll Spracherkennung fest im Akademietraining zum Einsatz kommen.

5. Erkenntnisse aus der Zusammenarbeit mit München, Karlsruhe und Akademie

Mit der Entscheidung, VRR in München einzuführen, wurde in München ein Mitarbeiter ausgewählt, der die Einführung verantwortlich vorantreiben sollte. Für die erfolgreiche Umsetzung ist es wichtig, einer Person aus dem operativen Umfeld (aktiver oder ehemaliger Lotse) mit fundierten Kenntnissen im Simulatorumfeld die Einführung anzuvertrauen. Als Launching Customer mussten die bestehenden Funktionalitäten gegen die von der DFS geforderte Phraseologie geprüft und getestet werden, um zu entscheiden, welche Funksprech-Phrasen umgesetzt werden müssen, welche optional sind und welche weggelassen können.

Die Kritiker bei der Einführung eines Automatisierungssystems (flexible Nutzung der Simulatoren, Reduzierung von Simulationspiloten) sind zahlreich. Der „Champion“ (oder auch Chefeinführer) muss diesen Kritiken begegnen, Überzeugungsarbeit leisten und Entscheidungen durchsetzen können. Mit Uwe Gaudlitz wurde genau der Richtige ausgewählt, unser Champion! Auch an der Akademie haben wir diese Vorgehensweise fortgesetzt. Marc Vöster (Leiter der Akademie-Ausbildung „unterer Luftraum“) ist hier der Champion.

Mit der Nutzung von VRR in München, der anstehenden Einführung in der Akademie und nach dem ersten Workshop in Karlsruhe sind wir uns

in der DFS einig, die DFS-Funksprechphraseologie mit VRR konsequent umzusetzen. Akademie- oder niederlassungsspezifische Anpassungen sind möglich, werden aber innerhalb des gesamten Nutzerkreises abgesprochen und verabschiedet.

Mit der Nutzung der Spracherkennung im Training und der Aus- und Weiterbildung besteht eine große Chance, die Standard DFS-Phraseologie intensiver zu trainieren.

Der nächste Meilenstein wird die Festlegung der Approach-Phraseologie sein. Hierzu werden die Niederlassungen München und Bremen als auch die Akademie sehr eng zusammenarbeiten. Startpunkt ist das 1. Quartal 2013.

6. VRR im Tower-Umfeld

Mit dem laufenden Forschungsprojekt iPort² zog die Spracherkennung auch in die Tower-Simulatoren der DFS Akademie ein. In Zusammenarbeit mit ehemaligen Frankfurter Tower-Lotsen und dem Hersteller UFA Inc. wurde die Spracherkennungssoftware auf die Simulationsumgebung Frankfurt vorbereitet und angepasst. Die Herausforderung war hier eine hochkomplexe Flughafenumgebung so vorzubereiten, dass die Spracherkennungssoftware eine Vielzahl an Parkpositionen sowie eine Aneinanderreihung von Rollwegen in den Lotsenanweisungen verstehen und korrekt umsetzen kann.

Die Vorteile der Spracherkennungstechnologie sind nicht nur in der Aus- und Fortbildung offenkundig, sondern auch in der Forschung und Entwicklung. Da es bei Test-Runs oftmals nötig ist, Anpassungen oder Nachbesserungen am Simulationssystem durchzuführen, warteten in der Vergangenheit die Simulationspiloten oft lange auf ihren Einsatz – auch dies wird mit der Spracherkennung nun weggelassen.

² Das Verbundvorhabens iPort (innovativer Airport), im IV Luftfahrtforschungsprogramm wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert



Abb. 6: DFS Experten am Towersimulator mit integrierter Spracherkennung

Im Laufe des Jahres 2011 wurden in mehreren Workshops die Phraseologie und die Funktionalitäten erweitert. Im Dezember konnten dann die ersten Forschungssimulationen im Projekt iPort am Towersimulator mit der Spracherkennung erfolgreich durchgeführt werden.

Im nächsten Schritt soll nun die Spracherkennung auch für die Fluglotsenausbildung an den Towersimulatoren der Akademie eingeführt werden. Hier wird die Technologie zuerst für die Start-up und Clearance Delivery Position (Zuständig für die Erlaubnis zum Anlassen der Motoren sowie die Streckenfreigabe) genutzt. Da die Phraseologie sowohl im Tower als auch im Center umfangreich und komplex ist, wird die Spracherkennung phasenweise an den verschiedenen Positionen eingeführt. Die bereits erwähnte Entwicklung „Mixed Mode“, also das gemeinsame Zusammenspiel von Spracherkennung und Simulationspiloten innerhalb eines Sektors, ist auch für die Tower Simulatoren sinnvoll und soll dort zum Einsatz kommen. Alles, was standardisiert ist, kann das System übernehmen, alles andere bleibt noch Aufgabe der Simulationspiloten.

7. Ausblick

7.1 Center

Sukzessive wird die Spracherkennung an allen Niederlassungen als auch in der Akademie bis Ende 2013 im Einsatz sein. Die verstärkte Nutzung von VRR in allen Trainingsbereichen der DFS bringt neue Anforderungen im Bereich Datenpreparation (Unterstützung von AIRAC (Luftraum)-Aktualisierungen, eigenständige Anpassungen von Readbacks etc.).

Sondertrainings wie Emergency (Notfall)-Ausbildung und Militär-Übungen sind derzeit für die Nutzung mit VRR ausgenommen, da hier teilweise Sonderphraseologie oder auch natürliche Sprache verwendet wird, die dann nur schwer erkannt werden kann.

Mehr Flexibilität im Bereich des Selbstlernens soll 2013 durch die Bereitstellung einer mobilen Trainingsplattform (NEWSIM in der Cloud, s. [4]) mit integrierter Spracherkennung erreicht werden.

Ein weiterer Schritt ist der Einsatz der Spracherkennung im Forschungsbereich. Gerade für Tests als Vorbereitungen für Simulationen ist es schwer, Simulationspiloten zur Verfügung gestellt zu bekommen. Spracherkennung könnte hier die Flexibilität erhöhen.

7.2 Tower

Auch im Towersimulator wird das Einsatzgebiet der Spracherkennung innerhalb der nächsten Jahre ständig erweitert werden. Phasenweise sollen alle Positionen in der Tower-Fluglotsen-ausbildung, also Platz- sowie Boden- und Vorfeldkontrollpositionen, mit der Spracherkennung ausgestattet werden. Da ein Teil der Fluglotsen-Ausbildung im Towersimulator auch in deutscher Sprache durchgeführt wird, z.B. bei Flügen nach Sichtflugregeln oder bei der Kommunikation mit einem Vorfeldfahrzeug, entwickelt UFA Inc. ein bilinguales Sprachmodell, das neben der englischen auch die deutsche Sprache erkennen und verarbeiten wird. In der Zukunft ist es somit möglich, das komplette Training ohne Simulationspi-loten durchzuführen.

7.3 Und es geht weiter

Zusätzlich soll der Phraseologie-Trainer ATSpeak™ von UFA Inc. eingeführt werden. ATSpeak™ ermöglicht das Erlernen der Phra-seologie und dient gleichzeitig zum heranzuführen der Trainees an das Thema „Spracherkennung“. ATSpeak™ kann mobil auf Laptops und Tablets genutzt werden.

Daneben muss das Selbsttraining der Studenten verstärkt werden. Dies bedingt die Bereitstellung von NEWSIM auf einer mobilen Plattform inklusi-ve der Spracherkennung.

Langfristig wird sich die Spracherkennung wohl auch im operativen Betrieb unterstützend wiederfinden. Vor allem für den Tower wird bereits un-tersucht, die sogenannte *Head-down-Zeit* zu ver-kürzen, also die Zeit, die der Towerlotse mit Ein-gaben am System verbringt.

Abkürzungen

AVOKE	Spracherkennungskern der Firma BBN
AIRAC [2]	Aeronautical information regulation and control - System zur Regelung der Verbreitung von Luftfahrtinforma-tionen
CWP	Controller Working Position
I/O	Input / Output
iPort	innovativer Airport
NEWSIM	Center Simulator System der DFS
PSS	Paperless Strip System
PTT	Push To Talk
SINATRA	VCS der NEWSIMs und TOSIMs der DFS
TCP	Transmission Control Protocol
TOSIM	Tower Simulator System der DFS
TTS	Text to Speech
VCS	Voice Communication System
WFF	Wettbewerbsfähiger Flughafen

Referenzen/Quellen

[1]	Spracherkennung – Wikipedia: http://de.wikipedia.org/wiki/Spracherkennung
[2]	http://www.luftfahrtlexikon.net/Begriffe/AIRAC/Haupt.htm
[3]	Phraseologie – Wikipedia: http://de.wikipedia.org/wiki/Phraseologie
[4]	NEWSIM-Weiterentwicklung - Vom großen Re-alzeitsimulator zum "Training in the Cloud", TE im Fokus, Ausgabe 1/2012
[5]	Sprachdialogsystem – Wikipedia: http://de.wikipedia.org/wiki/Sprachdialogsystem

Kopplung zwischen einem Schnellzeitsimulationstool und betrieblichen Planungssystemen

Erkenntnisse aus der automatisierten Simulation im Rahmen von iPort

Katharina Schwentek, TE/AT

0. Hintergrund

Die Abwicklung des Luftverkehrs am Boden und in der Luft setzt sich aus vielen dynamischen und voneinander abhängigen Prozessen zusammen. Insbesondere auf der Einzelflugebene ist eine präzise Vorplanung nur für einen sehr kleinen Zeithorizont möglich. Dies erschwert eine frühzeitige Prognose potentieller Engpässe, denen entgegengearbeitet werden muss.

Gerade an Hub-Flughäfen ist für eine effiziente Kapazitätsausnutzung das vorherrschende Ausmaß an proaktiver Verkehrssteuerung und Unterstützung durch Assistenzsysteme von großer Bedeutung. Die (Weiter-) Entwicklung wie auch Vernetzung erforderlicher Planungssysteme ist ein äußerst aufwändiges Unterfangen, bei dem in der Regel z.T. in mehreren Iterationen das Verkehrsgeschehen in Echtzeit mit allen beteiligten Akteuren simuliert werden muss, wodurch jedoch die Anzahl der testbaren Lösungsvarianten stark beschränkt ist.

Reine Schnellzeitsimulationen z.B. mit dem Simulationstool AirTop lassen sich häufiger durch-

führen, allerdings kann hierbei der Einfluss der Planungs- und Lotsenunterstützungstools nur rudimentär abgebildet werden. Sie dienen in der Regel einer Voruntersuchung, um den Aufwand und die Anzahl an Testszenarien bzw. Problemschwerpunkten in anschließenden Realzeitsimulationen zu reduzieren.

In solchen Schnellzeitsimulationen ist es bisher jedoch nicht möglich, technische Systeme mit dem Simulationstool zu koppeln und ihre Funktionalitäten zu untersuchen. Vor diesem Hintergrund wurde das Konzept einer „automatisierten Simulation“ entwickelt, die es ermöglichen soll, den Einfluss von betrieblichen Planungssystemen auf die Verkehrsentwicklung realitätsnah und in Echtzeit zu simulieren, ohne dass die im realen Betrieb Agierenden in die Abläufe eingreifen müssen. Solche automatisierten Simulationen können eine Möglichkeit sein, die Anzahl aufwändiger Realzeitsimulationen zu verringern und frühzeitig erste Erkenntnisse über den Nutzen solcher Systeme zu generieren.

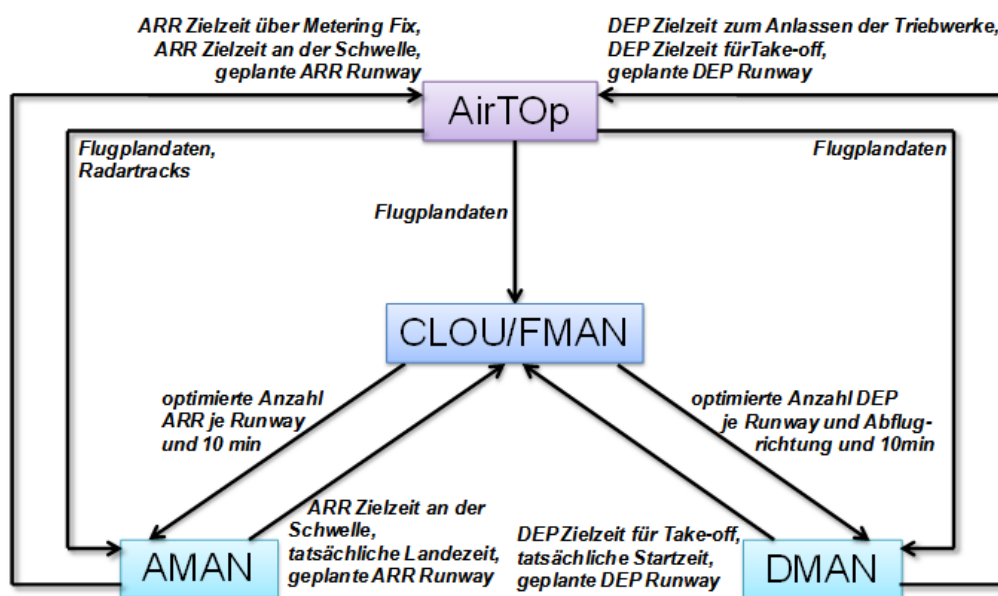


Abb. 1 Konzept der Kopplung von AirTop mit Planungssystemen

1. Einleitung

Im Rahmen des Verbundvorhabens iPort (innovativer Airport), das im IV Luftfahrtforschungsprogramm durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert wird, fand erstmals die Kopplung taktischer und prätaktischer Planungssysteme mit dem Schnellzeitsimulationstool AirTOP statt.

Das Ziel war, den potentiellen Nutzen einer prätaktischen Mengenvorsteuerung für die Verkehrsabwicklung an einem Hub-Flughafen anhand definierter Auswerteparameter zu untersuchen.

Zum Einsatz kamen das prätaktische Planungssystem CLOU mit seinem Optimierungskern FMAN sowie die taktischen Planungssysteme darts (DMAN der Firma delair) und AMAN (neue generische Version entwickelt vom Systemhaus der DFS). Abb. 1 fasst das Konzept zur Kopplung der Systeme zusammen.

CLOU/FMAN optimiert dabei die Anflug- und Abflug-Kapazitäten für die kommenden zwei Stunden unter Berücksichtigung der prognostizierten Nachfragesituation und den betrieblichen Abhängigkeiten zwischen den An- und Abflugströmen. Die optimierten Mengen an Anflügen bzw. Abflügen je Zeitintervall werden von AMAN und darts bei der Sequenzplanung berücksichtigt. AirTOP simuliert den Luftverkehr und setzt die taktischen Zielzeiten von AMAN und darts bestmöglich um. Das Konzept wurde in der *TE im Fokus* Ausgabe 2/11 vorgestellt [1] und ist ausführlich in [2] beschrieben.

Die Vorbereitung, Umsetzung, Durchführung sowie Auswertung der automatisierten Simulation stellte sich während der Projektlaufzeit als weit aus komplexer heraus als erwartet. Die Untersuchungsergebnisse entsprachen bzgl. ihrer Signifikanz und Relevanz nicht allen Erwartungen.

Dennoch kann – auch ausgelöst durch die unvermutet aufgetretenen technischen Herausforderungen – eine Vielzahl an Erkenntnissen aus der automatisierten Simulation gezogen werden. In diesem Artikel liegt der Fokus auf diesen Erkenntnissen, da sie ein großes Potential für zukünftige Anwendungsmöglichkeiten bieten.

2. Umsetzung der Kopplung

Bisher existierte keine Kopplung zwischen einem Schnellzeitsimulationstool und betrieblichen Planungssystemen. Erste Erfahrungen bezüglich der

Kopplung von Planungssystemen untereinander konnten im Rahmen früherer Projekte im Luftfahrt-Forschungsprogramm gemacht werden.

Abb. 2 fasst die Herangehensweise zur Umsetzung der Kopplung zusammen:



Abb. 2: Herangehensweise zur Kopplung

Für die Etablierung der Systemlandschaft, wie sie für die Durchführung der automatisierten Simulation benötigt wurde, war es zunächst notwendig, sich einen Gesamtüberblick über die Planungsfunktionalitäten und Anforderungen der Datengrundlagen jedes Einzelsystems zu verschaffen. Mit diesen Basisinformationen konnte ein Konzept erstellt werden, in dem die Problemstellung formuliert wurde, von der sich wiederum Anforderungen an die Einzelsysteme ableiten ließen.

Zum einen ergaben sich Anforderungen, was die Umsetzung der Schnittstellen zu den anderen Systemen betraf. Zum anderen mussten systeminterne Parameter überarbeitet werden wie Kapazitäten, die CLOU/ FMAN im Rahmen seiner Mengenoptimierung nutzt, oder eine einheitliche Definition von Holding¹-Höhen. Im nächsten Schritt wurden Simulationsszenarien definiert, mit denen die Problemstellung unter Anwendung des zu etablierenden Systemverbunds untersucht werden konnte. Nach der Umsetzung der techni-

¹ Warteschleife über dem Einflug-Fix

schen Kopplung wurde mit Hilfe von Testläufen eine Nachvollziehbarkeit des Systemverhaltens geprüft. Nach Klärung von auffälligen Beobachtungen und ggf. Anpassung des Systemzusammenspiels oder Einzelsystemkonfigurationen konnten dann die eigentlichen Simulationen durchgeführt werden.

2.1 Technische Umsetzung

Auf Basis des erstellten Konzepts zur Kopplung der Systeme fanden bilaterale Ausarbeitungen von spezifischen Schnittstellendokumenten (ICDs) statt, die für jede erforderliche Kopplung separat erstellt wurden. Durch die Verwendung von Standardschnittstellen und Protokollen für den Austausch von Flugplandaten (FMTP) sowie Radartracks (ASTERIX) existierte für den Großteil der Kopplungen bereits eine Grundlage, die lediglich angepasst wurde. Für die Kopplung von darts an AirTOP und CLOU/FMAN wurde ein individuelles ICD erstellt, da auf beiden Seiten kein Erfordernis bestand, eine komplexe Schnittstelle zu errichten.

Die entsprechenden softwaretechnischen Umsetzungen zur Implementierung der Schnittstellen in die Einzelsysteme erwies sich außer bei AMAN, der bereits darüber verfügte, als sehr zeitaufwändig, da die bestehende Systemstruktur angepasst werden musste.

2.2 Durchführung von Testläufen

Nach der Implementierung der Schnittstellen fand eine Vielzahl an ausführlichen Tests zum Zusammenspiel der Einzelkomponenten statt. Die Testläufe waren aufgrund des iterativen Vorgehens mit jeweils nur kleinen Verbesserungen komplex und zeitaufwändig. In folgenden Grundschritten wurde dabei vorgegangen:

- (1) Tests AirTOP-darts
- (2) Tests AirTOP-AMAN
- (3) Tests AirTOP-CLOU/FMAN-darts
- (4) Tests AirTOP-CLOU/FMAN-AMAN
- (5) Tests aller Systeme

Während dieser Tests wurden die Schnittstellen zwischen den Einzelsystemen mehrmals ange-

passt und erneut überprüft. Im Rahmen der Konzepterstellung hatten aufgrund der vielschichtigen Abhängigkeiten zwischen den Planungssystemen und AirTOP nicht alle möglichen Effekte beim Zusammenspiel und der gegenseitigen Beeinflussung vorhergesehen werden können.

2.3 Durchführung der automatisierten Simulation

Nach Abschluss der Testläufe fanden Simulationsläufe in folgenden Simulationskonfigurationen statt:

1. AirTOP-AMAN-darts
2. AirTOP-CLOU/FMAN-AMAN-darts

Die Simulationsläufe ohne CLOU/FMAN dienten als Referenz, um im Vergleich von 1. und 2. den potentiellen Nutzen des CLOU/FMAN und seiner Mengenvorsteuerung zu untersuchen. Dabei wurde bewertet, wie viel Verspätung generiert wurde und wie hoch der Verkehrsdurchsatz war.

Während der Simulationsläufe traten Probleme im Zusammenspiel der einzelnen Systeme auf, da diese nicht planungsgemäß streng aufeinander abgestimmt arbeiteten. Einige Effekte der prototypischen Systemkopplung beeinflussten offenbar die Ergebnisse in negativer Weise und reduzierten damit die Aussagekraft der Simulationen. An mancher Stelle mussten zu starke Vereinfachungen getroffen werden (z.B. keine Mindestabstände zwischen Abflügen auf derselben Abflugroute). An anderer Stelle traten in der dynamischen Umsetzung der Zielzeiten Effekte auf, die zu sehr hohen Verspätungswerten führten.

Eine valide Aussage über den potentiellen Nutzen des CLOU/FMAN konnte auf Basis dieser Ergebnisse nicht getroffen werden, da das Verbesserungspotential durch die Kopplungseffekte stark beeinflusst wurde. Es konnte nicht klar festgestellt werden, in welchem Ausmaß die Reduzierung der Verspätung und die Erhöhung des Durchsatzes auf die CLOU/FMAN Mengenvorsteuerung oder aber auf die Effekte der Kopplung zwischen AirTOP und den Planungssystemen zurückzuführen waren.

Deshalb kann an dieser Stelle noch nicht auf die quantitativen Ergebnisse der durchgeführten Simulationen eingegangen werden, wohl aber auf die gesammelten Erfahrungen aus Betrieb und Test einer derartig komplexen Kopplung unter-

schiedlicher Systeme sowie das Potential, das in diesem Ansatz für automatisierte Simulationen liegt

3. Erkenntnisse aus der automatisierten Simulation

Im Rahmen von iPort wurde erstmalig eine gekoppelte, automatisierte Simulation umgesetzt, in der auf ein vom Schnellzeitsimulationssystem AirTop generiertes Luftverkehrsszenario bis zu drei Planungssysteme einwirkten.

Die Simulationsläufe ließen sich wie erwartet mit einem moderaten Personalaufwand durchführen. Es zeigte sich jedoch, dass sich die durchgeführten Simulationsläufe in der jeweiligen Verkehrsabwicklung unterschieden. Der Informationsaustausch zwischen den Planungssystemen war nie identisch. Kleine Abweichungen kumulierten sich über die Simulationsdauer (hier ein Betriebstag), so dass Differenzen nicht nur bei einzelnen Flügen auftraten, sondern auch integrale Größen wie Verkehrsmenge und Verspätung in der rollierenden Stunde variierten. Die Ergebnisse einer Simulation konnten trotz gleichbleibenden Einstellungen nicht reproduziert werden, was die Ursachenanalyse der Probleme erschwerte. Eine tiefgründige Untersuchung des Verhaltens der Einzelsysteme erforderte hohen Personal- und Zeitaufwand, der im Rahmen des Projekts nicht von allen Partnern in benötigtem Umfang bereitgestellt werden konnte.

Für eine valide Aussagekraft der Ergebnisse wäre es erforderlich, die erkannten Probleme zu beheben, um das Zusammenspiel der gekoppelten Systeme zu verbessern. Dies war im Rahmen dieser Arbeit in dem zur Verfügung stehenden Zeit- und Kostenrahmen jedoch nicht realisierbar.

In der Rückschau erwies sich die Kopplung dreier, jeweils mit unterschiedlichen Planungsphilosophien arbeitenden Tools mit AirTop als zu große Herausforderung mit den gegebenen Mitteln.

3.1 Technische Umsetzbarkeit

Mit der Verwendung von den Standardschnittstellen FMTP und ASTERIX konnte die technische Kopplung erheblich vereinfacht werden. Die Implementierung der Schnittstellen in die Einzelsysteme war zwar mit einem hohen Zeitaufwand

verbunden, doch damit wurde die Möglichkeit geschaffen, die einmal implementierte Schnittstelle auch für andere Kopplungen zu verwenden.

3.2 Systeminteraktion

Die Schwierigkeit bei der Kopplung bestand in der Umsetzung einer sinnvollen Kommunikation zwischen den Systemen und der Integration der Eingangsdaten in die Planungsfunktionalitäten der Einzelsysteme. Eine klare Definition der Zielstellung, mit der die Kopplung stattfinden soll, erleichterte die Umsetzung. Je komplexer der Planungskern eines Systems arbeitete, desto aufwändiger gestalteten sich die Testläufe zur Analyse und Verbesserung der Systeminteraktion bei Unstimmigkeiten in der Verkehrssimulation.

3.2.1 AirTop-CLOU/FMAN

Die Kopplung AirTop-CLOU/FMAN stellte sich als die einfachste heraus. Hier wurde die FMTP-Schnittstelle genutzt, um die Flugplandaten von AirTop an CLOU/FMAN zu schicken, welcher diese Daten in seine Datenbank einliest und als Planungsgrundlage für seine Verkehrsmengenoptimierung verwendet. Es waren bei beiden Systemen keine nennenswerten Anpassungen an den Planungsfunktionalitäten erforderlich.

3.2.2 AirTop-darts

Die Kopplung AirTop-darts erwies sich als aufwändiger, da hier nicht auf die FMTP-Schnittstelle zurückgegriffen wurde. Es wurde eine individuelle Schnittstelle entwickelt und die erforderlichen Datenfelder entsprechend des Simulationskonzepts definiert und während der Testläufe angepasst. Weiterhin wurde eine CAT11-Schnittstelle (Radartracks für Rollführung) in AirTop implementiert, die sich an dem standardisierten Format ASTERIX orientiert. Darts verfügte bereits über diese Schnittstelle, über welche AirTop darts mit Informationen über die Bodenlage versorgte.

Die Schwierigkeit der Kopplung bestand darin, die internen Steuerungsmechanismen von AirTop dahingehend anzupassen, dass das System die Sequenzplanungen von darts umsetzt. Die Planung von darts wurde in AirTop durch An-

passung der Off-Block Zeiten sowie der Verkehrssteuerung auf dem Vorfeld zur Erreichung der Zielzeiten am Bahnkopf umgesetzt.

In darts mussten nahezu keine Anpassungen vorgenommen werden. Das System empfing die erforderlichen Flugplan- und/oder Track-Daten, um auf deren Basis die Sequenzplanung durchzuführen, deren Ergebnisse über die implementierte Schnittstelle an AirTOP geschickt wurden. Es mussten keine neuen Funktionalitäten bereitgestellt werden.

3.2.3 AirTOP-AMAN

Am aufwändigsten gestaltete sich die Kopplung AirTOP-AMAN, da hier eine starke, gegenseitige Beeinflussung der Planung stattfindet. Im Anflugbereich passte AirTOP prinzipiell seine Steuerung der Anflüge den Sequenzplanungen des AMAN an. Durch Veränderung der Flugeschwindigkeit und/oder Zuweisung eines Holdings sollten die Zielzeiten über dem Metering Fix² umgesetzt werden. Innerhalb des Anflugbereichs (TMA) prüfte AirTOP, über welchen Anflugweg (Transitions) die geplante Landezeit erreichbar war.

Der Planungsalgorithmus des AMAN berücksichtigt viele Randbedingungen wie mögliches Load balancing, Holdingsituationen oder Wegelänge der genutzten Transitions. Der Planungskern von AirTOP beinhaltet aber selber einige interne Regeln zur Anflugsteuerung und Berücksichtigung der Abhängigkeiten zu Abflügen, sodass das System in einigen Fällen nicht den Vorgaben von AMAN folgte, was sich wiederum in einer Änderung der Sequenzplanung in AMAN auswirkte.

Es kam zu einem sehr dynamischen, nicht immer nachvollziehbaren Zusammenspiel dieser beiden Systeme. Die Ergebnisse waren nie exakt reproduzierbar. Die Bemühungen der Systemoptimierung wurden durch diese Interaktion konterkariert.

3.2.4 CLOU/FMAN-AMAN-darts

Die Kopplung von CLOU/FMAN mit AMAN sowie darts konnte ohne große Probleme umgesetzt werden. Hier war es von Vorteil, dass sich durch das Konzept ganz genaue Anforderungen erge-

ben hatten. Das Zusammenspiel der Planungssysteme war weniger komplex als das Zusammenspiel mit dem Simulationstool AirTOP, da lediglich die Sequenzplanung, aber keine Steuerung der Luftfahrzeuge beeinflusst wurde. Somit bestand nicht das Problem der Verkehrssteuerung, die zum Teil entgegen der Sequenzplanung arbeitet, wie es bei der Kopplung AirTOP-AMAN auftrat.

4. Fazit

Aus den Erfahrungen mit der automatisierten Simulation lässt sich folgende verallgemeinerte Übersicht zusammenfassen (vgl. Abb. 3):

Mit iPort wurde ein Prototyp der Simulationsumgebung entwickelt, auf den für zukünftige Projekte zurückgegriffen werden kann. Diese Art der Systemkopplung ermöglicht neue Nutzungsmöglichkeiten, was die Validierung neuer Systeme, Systemfunktionalitäten und neuer Verfahren betrifft. Bisher ist hierfür die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Realzeitsimulationen notwendig, die einen großen Zeit- und auch Personalaufwand erfordern. Eine Voruntersuchung mit einer Simulation ohne Lotseninteraktion war bisher technisch nicht möglich. Die Kopplung zwischen AirTOP und Planungssystemen kann – nach Behebung der genannten Defizite – künftig dafür verwendet werden, bereits im Vorfeld grundlegende Probleme zu identifizieren, ohne dass hierfür schon betriebliches Personal eingesetzt wird. Mit einer automatisierten Simulation können die Aufwände zur Durchführung von Realzeitsimulationen reduziert werden.

Dazu sind im aktuellen Entwicklungsstand je nach Untersuchungsschwerpunkt weitere Anpassungen erforderlich. iPort zeigt diesbezüglich, dass AirTOP sehr flexibel anpassbar ist und stellt einen Prototypen bereit, mit dem weitergearbeitet kann.

5. Verwertungsmöglichkeiten

Es steht ein Prototyp einer gekoppelten Systemlandschaft mit AirTOP als Schnellzeitsimulationstool sowie AMAN, darts und CLOU als Planungssysteme bereit und kann für künftige Projekte genutzt werden. AirTOP bietet eine FMTP-Schnittstelle und kann damit problemlos mit anderen Systemen gekoppelt werden, die ebenfalls mit dieser Eurocontrol-Standardschnittstelle aus-

² Ein Fix an der Anflugroute eines Flughafens, ab dem ein Flug gestaffelt wird

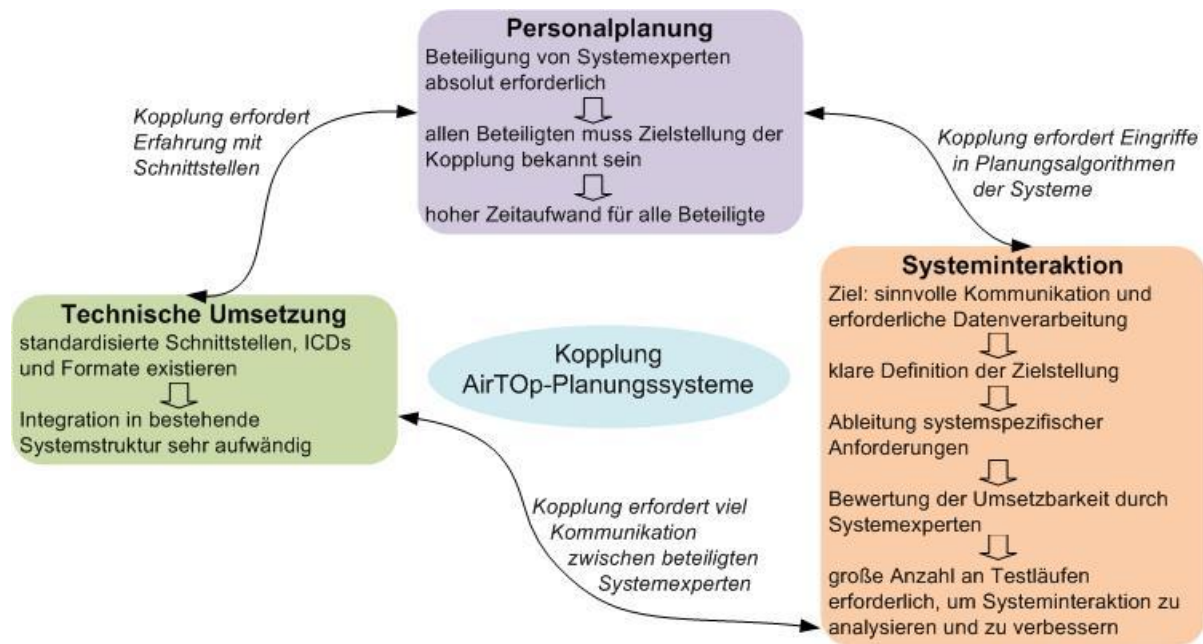


Abb. 3: Erkenntnisse und Anforderungen aus der Kopplung AirTop mit Planungssystemen

gestattet sind. Auch CLOU wurde damit ausgestattet.

Es kann auf die Erfahrung zurückgegriffen werden, AirTop mit drei völlig verschiedenen Planungssystemen sowie diese untereinander zu koppeln und einen Systemverbund zu etablieren. Die gesammelten Kenntnisse können helfen, bei zukünftigen Projekten dieser Art effizienter vorzugehen. Weiter kann auf die gesammelte Erfahrung zurückgegriffen werden, ein sinnvolles Konzept zur Kopplung von Planungssystemen zu erstellen.

Die innovative Art der Kopplung öffnet das Feld für neue Schwerpunkte im Forschungs- und Entwicklungsbereich. Diese Möglichkeit der Systemvalidierung kann dabei unterstützen, innovative Systeme oder Verfahren prototypisch zu testen und erste Erkenntnisse zu gewinnen, ohne aufwändige Realzeitsimulationen durchführen zu müssen.

Diese Art der Kopplung öffnet ebenfalls Möglichkeiten zur Nutzung im Bereich der Schnellzeitsimulation.

Eine gekoppelte Systemlandschaft, ähnlich wie in iPort etabliert und erprobt, kann künftig als Validierungsplattform für betriebliche Entwicklungsschwerpunkte dienen. Insbesondere die Kopplung von AirTop mit dem operativ genutzten Planungssystem AMAN kann künftig bei der Systementwicklung und Validierung neuer Funktio-

nalitäten Unterstützung bieten. Das DFS-Systemhaus hat bereits Interesse bekundet.

Abkürzungen

AMAN	Arrival Manager
CLOU	Cooperative Local Resource Planner
DMAN	Departure Manager
FMAN	Flow Manager
FMTF	Flight Message Transfer Protocol
ICD	Interface Control Document
iPort	innovativer Airport
TCP	Transmission Control Protocol

Referenzen

[1]	K. Schwentek: Kopplung zwischen einem Schnellzeitsimulationstool und betrieblichen Planungssystemen, TE im Fokus 02/11
[2]	K. Schwentek: E1321.1 Konzept - Vernetzung taktische und prätaktische Systeme v1.10.docx, 1.1, 31.05.2012
[3]	K. Schwentek: E1323.1 Schnittstellenbeschreibung – Systemintegration in automatisierte Simulation_v1.0.docx, 11.04.2012

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, Modul 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 folgende ISSN (International Standard Serial Number) zugeteilt:

Printversion: ISSN 1861-6364 / Internet-Version: ISSN 1861-6372

DISCLAIMER

Alle hier erwähnten Warenzeichen sind Eigentum ihrer jeweiligen Besitzer. Warenzeichen werden nicht ausdrücklich als solche gekennzeichnet. Aus dem Fehlen von Urheber- oder Markenrechtskennzeichen darf jedoch nicht geschlossen werden, dass es sich um einen nicht geschützten Namen oder um eine nicht geschützte Marke handelt.

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 © 2012 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.