

- Untersuchung der Runway Incursion Monitoring-Algorithmen im ACEMAX mit STEP-Testszenarien
- Erste Validierungsergebnisse der Controller Assistance Tools an der iCAS-SESAR-Plattform
- Results of the SESAR Step 1 V3 Center-Manager Validation
- Der „conceptdesk“ im DFS-Forschungszentrum – ein Lotsenarbeitsplatz „von übermorgen“ zum Anfassen
- Forschungsprojekt KoKo: Kollisionserkennung und -vermeidung von nichtkooperativen Teilnehmern des Luftverkehrs



Inhaltsverzeichnis

Übersicht der Artikel in diesem Heft	4
Untersuchung der <i>Runway Incursion Monitoring</i> -Algorithmen im ACEMAX mit STEP-Testszenarien	5
Dr. Thomas Kowarik, Thomas Knopp	
Erste Validierungsergebnisse der <i>Controller Assistance Tools</i> an der iCAS-SESAR-Plattform...	11
Stephan Herr, Dr. Matthias Poppe, Katharina Reinhardt, Günter Achatz	
Results of the SESAR Step 1 V3 Center-Manager Validation	20
Eliana Haugg, Dr. Jörg Bergner	
Der „conceptdesk“ im DFS-Forschungszentrum – ein Lotsenarbeitsplatz „von übermorgen“ zum Anfassen	30
Jörg Buxbaum	
Forschungsprojekt KoKo: Kollisionserkennung und -vermeidung von nichtkooperativen Teilnehmern des Luftverkehrs.....	34
Andreas Udovic, Dr. Andreas Herber, Jürgen Vielhauer	
Impressum	39

Die Autoren sind, soweit nicht anders gekennzeichnet, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der DFS. Die Rechte an den Artikeln liegen bei den jeweiligen Autoren.

Übersicht der Artikel in diesem Heft

Thomas Knopp, Dr. Thomas Kowarik: Untersuchung der *Runway Incursion Monitoring*-Algorithmen im ACEMAX mit STEP-Testszenarien – Die von der DFS genutzte A-SMGCS Implementierung ACEMAX (in Hamburg und Berlin-Schönefeld bzw. zukünftig Berlin-Brandenburg) bieten dem Lotsen neben der Darstellung der Verkehrslage zusätzlich Unterstützungsfunktionen, u.a. RIM – Runway Incursion Monitoring. Der Artikel beschreibt, wie die überarbeiteten ACEMAX-Algorithmen mit simulierten Bodenlagesensordaten überprüft werden.

Stephan Herr, Dr. Matthias Poppe, Katharina Reinhardt, Günter Achatz: Erste Validierungsergebnisse der *Controller Assistance Tools* an der iCAS-SESAR-Plattform –Im SESAR-Projekt „Separation Management in En-Route Trajectory Environment“ werden freigabebasierte Unterstützungstools für Lotsen zur Konflikterkennung und Konfliktlösung sowie zur Flugwegüberwachung entwickelt und in Realzeitsimulationen validiert. Der Bericht beschreibt die Ergebnisse der Validierung im Januar/Februar 2015, für die ein Teil der Anforderungen in einem sogenannten industriellen Prototyp umgesetzt und in die SESAR-IBP (Industry Based Platform) im Monzapark (DFS-Liegenschaft) integriert wurde.

Eliana Haugg, Dr. Jörg Bergner: Results of the SESAR Step 1 V3 Center-Manager Validation – In dem SESAR-Projekt P05.04.02 “Co-operative Planning in the TMA” arbeitet die DFS an der Entwicklung von Anforderungen an Assistenzsysteme für den Bereich einer komplexen Multi-Airport TMA. Das für die DFS zentrale Element eines Center-Managers, d.h. die Erweiterung des Arrival-Managements um die hierfür nötigen Funktionalitäten, wird in iterativen Realzeitsimulationen am Beispiel der Flughäfen Düsseldorf & Köln/Bonn entwickelt und verfeinert. Der Artikel beschreibt die Validierung im Juni 2015 und deren Ergebnisse.

Jörg Buxbaum: Der „conceptdesk“ im DFS-Forschungszentrum – ein Lotsenarbeitsplatz „von übermorgen“ zum Anfassen – Seit Jahrzehnten erfährt der Arbeitsplatz von Fluglotsen der Streckenkontrolle eine schrittweise, vornehmlich auf Einzelelemente bezogene Entwicklung. Um die Entwicklung zu beschleunigen und insbesondere langfristig in die passende Richtung zu lenken, beauftragte die DFS einen Mockup für einen „Möglichen Lotsenarbeitsplatz der Zukunft“. Der Artikel beschreibt die Herangehensweise, technische Ausstattung und vorgesehene Einsatzgebiete dieser mit dem Preis „Red Dot Award 2015: Best of the Best“ ausgezeichneten Entwicklung.

Andreas Udovic, Dr. Andreas Herber, Jürgen Vielhauer: Forschungsprojekt KoKo: Kollisionserkennung und -vermeidung von nichtkooperativen Teilnehmern des Luftverkehrs - Im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms der Bundesregierung wurde das Verbundvorhaben KoKo (Kollisionserkennung – Kollisionsvermeidung, 01.01.2012 bis 31.03.2015) gefördert. Es widmete sich der Untersuchung, Entwicklung und Demonstration eines Unterstützungssystems für die Piloten von Geschäftsreise- und Verkehrsflugzeugen, um frühzeitig Kollisionsgefahren zu erkennen und zu vermeiden. Der Artikel beschreibt die DFS-Arbeiten und die Ergebnisse der ersten Validierung des von den Industriepartnern entwickelten Systems.

Untersuchung der *Runway Incursion Monitoring*-Algorithmen im ACEMAX mit STEP-Testszenarien

Dr. Thomas Kowarik, Thomas Knopp

Einleitung

Zur Unterstützung der Towerlotsen bei der sicheren, geordneten und flüssigen Abwicklung des Bodenverkehrs werden von der DFS derzeit verschiedene Generationen von Bodenlagedarstellungssystemen betrieben (ASDE - Airport Surface Detection Equipment, A-SMR – Advanced Surface Movement Radar, sowie A-SMGCS - Advanced Surface Movement Guidance and Control System). In einem früheren Artikel dieser Reihe wurde bereits die prototypische Entwicklung höherer A-SMGCS-Funktionen in das DFS-System PHOENIX beschrieben [1], dieser Artikel hat Erweiterung und Test der A-SMGCS-Implementierung ACEMAX zum Gegenstand.

Ausgangslage

Die von der DFS genutzte A-SMGCS Implementierung ACEMAX des Herstellers AviBit (in Hamburg und Berlin-Schönefeld bzw. zukünftig Berlin-Brandenburg) bieten dem Lotsen neben der Darstellung der Verkehrslage (Funktion Zielerkennung und -darstellung – A-SMGCS Level I) zusätzlich die für den A-SMGCS Level II erforderliche Unterstützungsfunktion *Überwachung und Alarmierung* (RIM – Runway Incursion Monitoring, TCM – Taxiway Collision Monitoring, sowie APM – Area Penetration Monitoring).

Zur Anpassung an die rechtlichen Anforderungen [3] und da die vom Hersteller implementierte Alarmierungsfunktionalität teilweise nicht den aktuellen (und mit zunehmender Erfahrung gewachsenen) Tower-Anforderungen entspricht (Beispiel siehe „Software-Änderungen im ACEMAX“), erfolgte eine Überarbeitung der in der ACEMAX-Software hinterlegten Algorithmen durch das Produktmanagement des DFS-Bereichs „Ortungsdienste“.

Die hierbei implementierten Software-Modifikationen sollen mittels Simulation des in Langen betriebenen ACEMAX-Referenzsystems (zunächst für den Flughafen BER - Berlin-Brandenburg) mit simulierten Bodenlagesensordaten aus der bei der DFS entwickelten *Sensor Tracker Evaluation Platform* (STEP) [2] überprüft werden.

ACEMAX und Alarmierung

Das in Hamburg und Berlin-Brandenburg zum Einsatz kommende Bodenlagedarstellungssystem ACEMAX verwendet verschiedene Datenquellen, um eine zuverlässige und aktuelle Darstellung der Verkehrslage zu gewährleisten. An beiden Standorten werden jeweils die Primärradardaten zweier Bodenradar-Sensoren (Surface Movement Radar - SMR) sowie die Sekundärradardaten jeweils eines Boden-Multilaterationssystems (MLAT) und der verfügbaren Flughafenradare (Airport Surveillance Radar - ASR) verwendet. All diese Daten werden dann von einem „Track Fusion“-Prozess gesammelt, wobei für jedes Ziel (Luftfahrzeug wie Bodenfahrzeug) eine einzelne Flugspur, ein „Track“, erzeugt und zur besseren Identifikation (sofern vorhanden) mit Flugplandaten korreliert wird. Diese korrelierten Tracks werden dann auf dem Lotsenbildschirm dargestellt. Gleichzeitig gehen die so erzeugten Zielmeldungen noch an das Alarmierungsmodul, wo sie verschiedene Analysen durchlaufen. Dieses Modul prüft alle dem ACEMAX bekannten Tracks gegeneinander ab, wobei es Typ, Identifikation, Position und Bewegungszustand in Relation zueinander bringt und nach aktuellen und zukünftigen Konflikten sucht. Wird ein solcher gefunden, gibt das Alarmierungsmodul einen Alarm aus, der dann auf dem Lotsen-Bildschirm zu Darstellung gebracht wird.

Alle diese Prozesse sind so ausgelegt, dass die im ACEMAX angezeigte Verkehrslage und die dazugehörigen Alarme maximal eine Sekunde alt sind.

STEP - Sensor Tracker Evaluation Platform

Die *Sensor Tracker Evaluation Platform* ist ein Verbund von verschiedenen bei der DFS verfügbaren Systemen zur Sensordatenerzeugung, -aufzeichnung, -wiedergabe sowie -analyse und besteht aus den folgenden Komponenten (siehe Abbildung 1):

- NEWSIM (New Simulator) zur Erzeugung von Luftlagedaten im ASTERIX-Format (All Purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange) ①
- TOSIM (Tower Simulator) zur Erzeugung von Luft- und Bodenlagedaten, ebenfalls im ASTERIX-Format

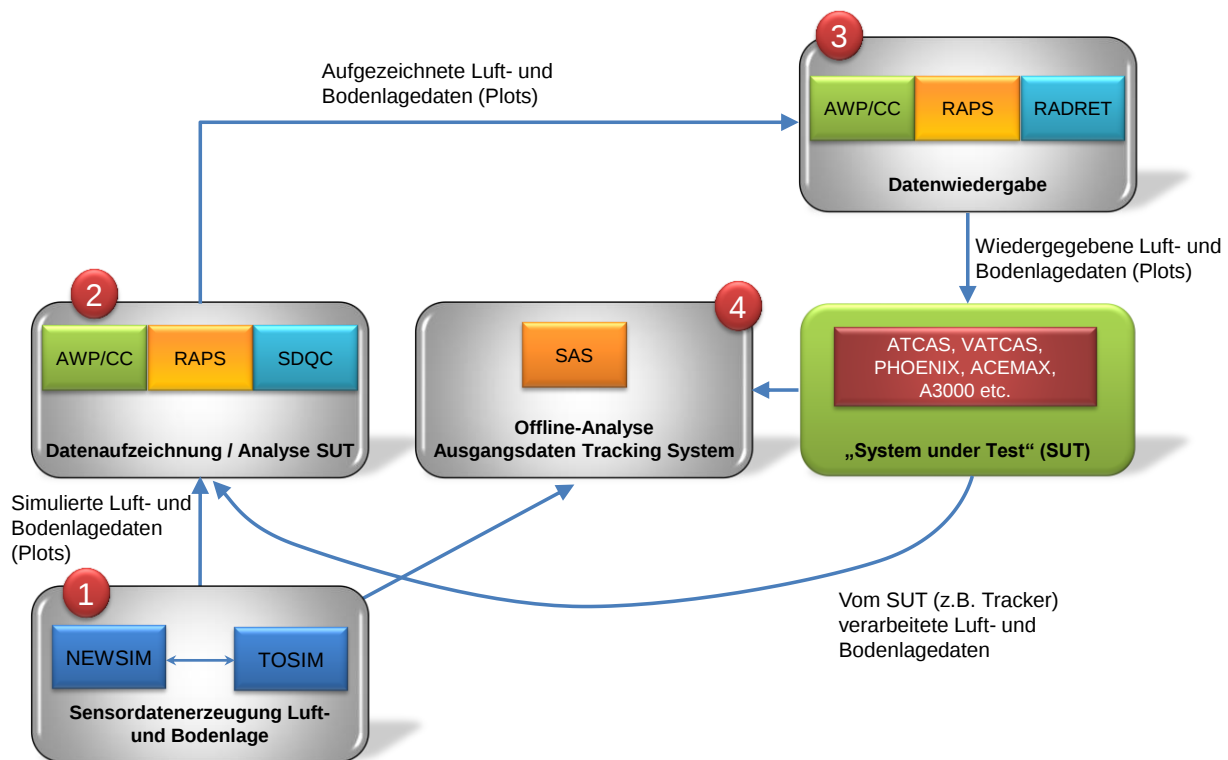


Abb. 1: Aufbau der *Sensor Tracker Evaluation Platform* (STEP)

- RAPS (Recording, Analysis, Playback and Simulation of Surveillance Data) zur Datenaufzeichnung/-wiedergabe sowie zur Analyse der ASTERIX-Daten ②, ③
- AWP/CC (Analysis Working Position / Control Center) zur Datenaufzeichnung/-wiedergabe sowie zur Analyse der ASTERIX-Daten ②, ③
- SDQC (Sensor Data Quality Control) zur Datenaufzeichnung sowie zur Analyse der ASTERIX-Daten ②
- RADRET (Radar Data Replay Tool) zur Wiedergabe der mit SDQC aufgezeichneten Daten ③
- SAS (Statistical Analysis Software) zur Offline-Analyse der Ausgangsdaten des Tracking-Systems ④

Die *Sensor Tracker Evaluation Platform* ermöglicht hiermit:

- die Untersuchung von Luft- sowie Bodenlage-trackingsystemen mit simulierten Sensordaten,
- bei Verfügbarkeit entsprechender Referenzdaten (wie z.B. aufgezeichnete D-GPS-Positionsdaten) Auswertungen zur Qualität von verschiedensten Ortungssensoren sowie
- Untersuchungen von Komponenten zur Darstellung (Controller Working Position) sowie Konflikt-erkennung (wie z.B. Runway Incursion Monitoring)

Erzeugung der Sensordaten für die Runway Incursion Monitoring (RIM)-Untersuchung

Zur Untersuchung der im ACEMAX implementierten RIM-Funktionen wurden zunächst die entsprechenden Testfälle für Konfliktsituationen (19 Departure- sowie 19 Approach-Testfälle für den Flughafen Berlin-Schönefeld) festgelegt (siehe Auszug aus den Approach-Testfällen in Abbildung 2).

Für jeden dieser 38 Testfälle wurden im TOSIM auf Grundlage der jeweils definierten Bodenverkehrs- bzw. An-/Abflugmanöver die entsprechenden Testszenarien hinterlegt. In Abbildung 3 ist die entsprechende Anzeige auf dem TOSIM-Pilotendisplay für Anflugszenario APP 05 (s. Abb. 3) gezeigt: Flug „APP05H“, eine A320, ist im Anflug auf die Bahn 07L, Flug „APP05K“, eine B737, steht nördlich der Bahn 07L am Rollhalt (holding point / hold bar).

Des Weiteren wurden die am Flughafen BER vom Bodenlagedarstellungssystem genutzten Ortungssensoren in der zur Erzeugung von Track- und Sensordaten genutzten TOSIM-Komponente ATSurv nachgebildet.

Für jeden Testfall wurden dann die vom TOSIM generierten Sensordaten (ASTERIX-Kategorien 10, 20, 34, 48) mittels der STEP-Komponente RAPS

	<4NM vor RWY 07L	110-120kts	Startet	RWY 07L	~150kts
APP 04					
Hauptakteur im Anflug auf Landebahn	>2NM vor RWY 07L	110-120kts	Konfliktziel überquert Holdbar CAT II/III, dann Holdbar CAT I und fährt auf RWY auf	TWY L2 -> RWY 07L	10-20kts
	~2NM vor RWY 07L	110-120kts	Beginnt Startlauf von Hauptakteur weg	RWY 07L	bis 150kts
	<2NM vor RWY 07L	110-120kts	Startet	RWY 07L	~150kts
APP 05					
Hauptakteur im Anflug auf Landebahn	>1NM vor RWY 07L	110-120kts	Konfliktziel (primär) überquert Holdbar CAT II/III, dann Holdbar CAT I und fährt auf RWY auf	TWY K1 -> RWY 07L	10-20kts
	<1NM vor RWY 07L	110-120kts	Beginnt Startlauf von Hauptakteur weg	RWY 07L	bis 150kts
Landet	RWY 07L	110-30kts		RWY 07L	bis 150kts
	RWY 07L	110-30kts	Startet	RWY 07L	~150kts
Hauptakteur verlässt Bahn	RWY 07L -> TWY L6 -> TWY D	30-10kts			~150kts
APP 06					

Abb. 2: Auszug aus den definierten Approach-Testfällen

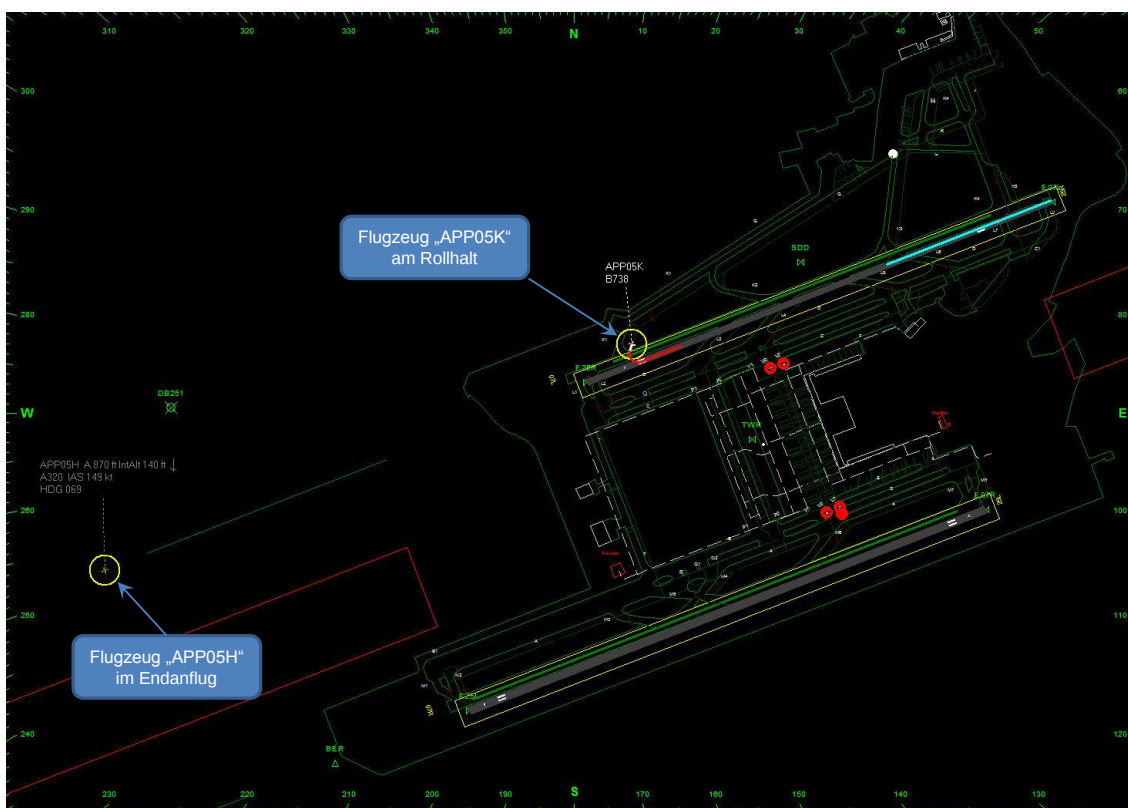


Abb. 3: TOSIM-Pilotendisplay für Testszenario APP 05 „Bodenverkehr- bzw. An-/Abflugmanöver“

aufgezeichnet und anschließend an das ACEMAX-Referenzsystem gesendet.

Software-Änderungen im ACEMAX

Wie sich herausstellte, war das originär implementierte Alarmierungsmodul in der Praxis nicht gut einsetzbar.

Bei der Definition der Alarmbedingungen wurde damals ein „Negativ-Ansatz“ gewählt. D.h., es wurden kritische Situationen erdacht, in denen ein Alarm ausgelöst werden soll. Zwar ist dies die auf Anhieb einleuchtende Vorgehensweise, jedoch kann es hierbei leicht zu Überschneidungen und Lücken kommen. Insgesamt

wurden 56 verschiedene Alarme definiert und implementiert. Jedes dem ACEMAX bekannte Ziel durchläuft für jeden dieser Alarme einen separaten Konflikttest.

Trotz dieser Menge an Alarmbedingungen existieren jedoch Abdeckungslücken. So wird z.B. kein Alarm ausgegeben, wenn während eines Starts ein Konfliktziel die Startbahn über andere Wege als die Taxiways erreicht.

Weiterhin gehört zu jedem der 56 Alarme ein separater und individueller Parametersatz. Bedenkt man nun, dass sich die verschiedenen Alarmbedingungen teils recht

stark überschneiden (beispielsweise betrachten alleine 24 Alarmer eine Verletzung des Runway-Schutzbereichs während eines Anflugs), wird deutlich, dass die originäre Implementierung einen erheblichen Konfigurations- und Wartungsaufwand erfordert, was wiederum die Fehleranfälligkeit erhöht. Beispielsweise ist es extrem aufwendig, die Ursachen für einen Fehlalarm zu finden und die Parameter so anzupassen, dass dieser Fehlalarm ausgeschlossen wird, ohne kritische Alarmer zu verhindern.

Bei der Überarbeitung des Alarmierungsmoduls wurde daher ein alternativer Ansatz bei der Definition der Alarmer verwendet. Man kann ihn als „Positiv-Ansatz“ beschreiben. Diesmal wurde festgelegt, welche Situationen als sicher angesehen werden dürfen und von den „Aerodrome Control Procedures“ erlaubt sind. Alle anderen Situationen wurden als potentiell gefährlich eingestuft und vom Alarmierungsmodul erfasst. Um dies zu gewährleisten, durchläuft jedes Ziel einen Entscheidungsbaum, in dem es anhand seines Status klassifiziert wird (s. Abb. 4).

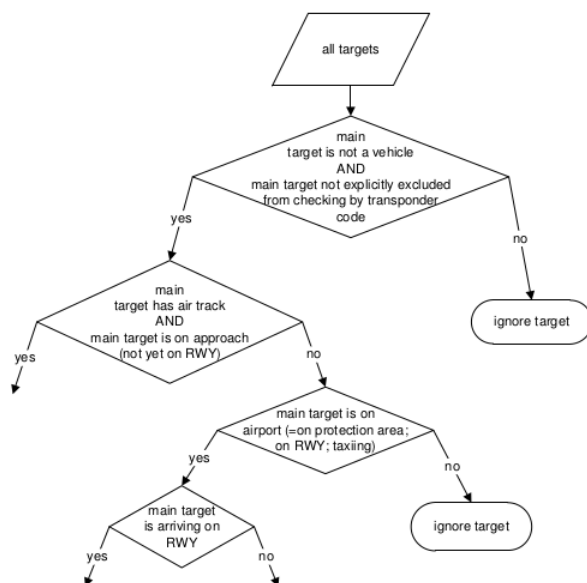


Abb. 4: Ausschnitt aus dem Entscheidungsbaum zur Klassifizierung eines Ziels

Zu jedem Pfad auf dem Baum gehört dann nur eine kleine, stark abgegrenzte Menge an Konflikttests, die das zu untersuchende Ziel durchläuft und die zu Alarmen führen kann (maximal drei pro Pfad).

Durch die Umkehr des Ansatzes bei der Definition der Alarmsituationen werden Alarm-Erfassungslücken wesentlich unwahrscheinlicher und die Anzahl an Überdeckungen reduziert sich. Zudem können die Abläufe im Alarmierungsmodul durch die eindeutige

Klassifizierung jedes Ziels leichter nachvollzogen werden. Konfiguration und Wartung sind somit wesentlich einfacher, und mögliche Fehlerquellen werden weiter reduziert.

Bedeutung der STEP-Daten für das Alarmierungsmodul

Bei der automatisierten Erzeugung von Alarmen im Rahmen einer Verkehrsüberwachung ist es essentiell, auf der einen Seite alle möglichen Konflikte zu erkennen und zu bewerten und auf der anderen Seite die Anzahl an Fehlalarmen so gering wie möglich zu halten. Dies erfordert eine klare Definition der Alarmfunktionen, eine saubere Implementierung und eine optimierte Konfiguration. Daher muss ein Alarmierungsmodul eine intensive Verifikationsphase durchlaufen, um seine Zuverlässigkeit und Vollständigkeit unter Beweis zu stellen. Hierbei müssen Abdeckungslücken durch Positivtests möglichst ausgeschlossen und eine minimale Fehlalarmrate durch Negativtests nachgewiesen werden. Während „traffic of opportunity“ (vor Ort sowieso vorhandener Verkehr) verwendet werden kann, um letzteres zu optimieren, müssen Konfliktsituationen mit technischen Hilfsmitteln erzeugt werden. Im Departure-Bereich wären die meisten der potentiellen Konfliktsituationen mit Fahrzeugen nachstellbar. Da dies jedoch im „normalen Betrieb“, insbesondere im Approach-Bereich, nicht möglich ist, kann auf eine simulationsgestützte System-Stimulation nicht verzichtet werden.

An dieser Stelle kommen die mit STEP generierten Simulationsdaten ins Spiel. Sie werden in das ACESMAX-System eingespeist, in dem dann Tracker und Alarmierungsmodul die weitere Verarbeitung vornehmen, ganz wie im normalen Betrieb. Nur so kann sichergestellt werden, dass das RIM-Modul im Ernstfall seine Arbeit korrekt erledigt. Die simulierten Sensordaten werden mit den entsprechenden Tools (RAPS oder tcpreplay) in das Netzwerk des Referenzsystems eingespeist. Der ACESMAX-Tracker greift die simulierten Datenströme auf und generiert daraus Tracks, so wie im operativen Betrieb. Diese Tracks werden dann an das Alarmierungsmodul weitergegeben und dort untersucht. Handelt es sich um eine potentiell gefährliche Situation, wird ein entsprechender Alarm ausgesandt und auf dem Lotsen-Testbildschirm zur Darstellung gebracht. Dies ist z.B. zu sehen in Abb. 5: Hier wurden simulierte Daten aus dem Szenario aus Abb. 3 in das System eingespeist.

Da die in den definierten Szenarien beschriebenen Situationen zu klaren Ergebnissen im Alarmierungsmodul

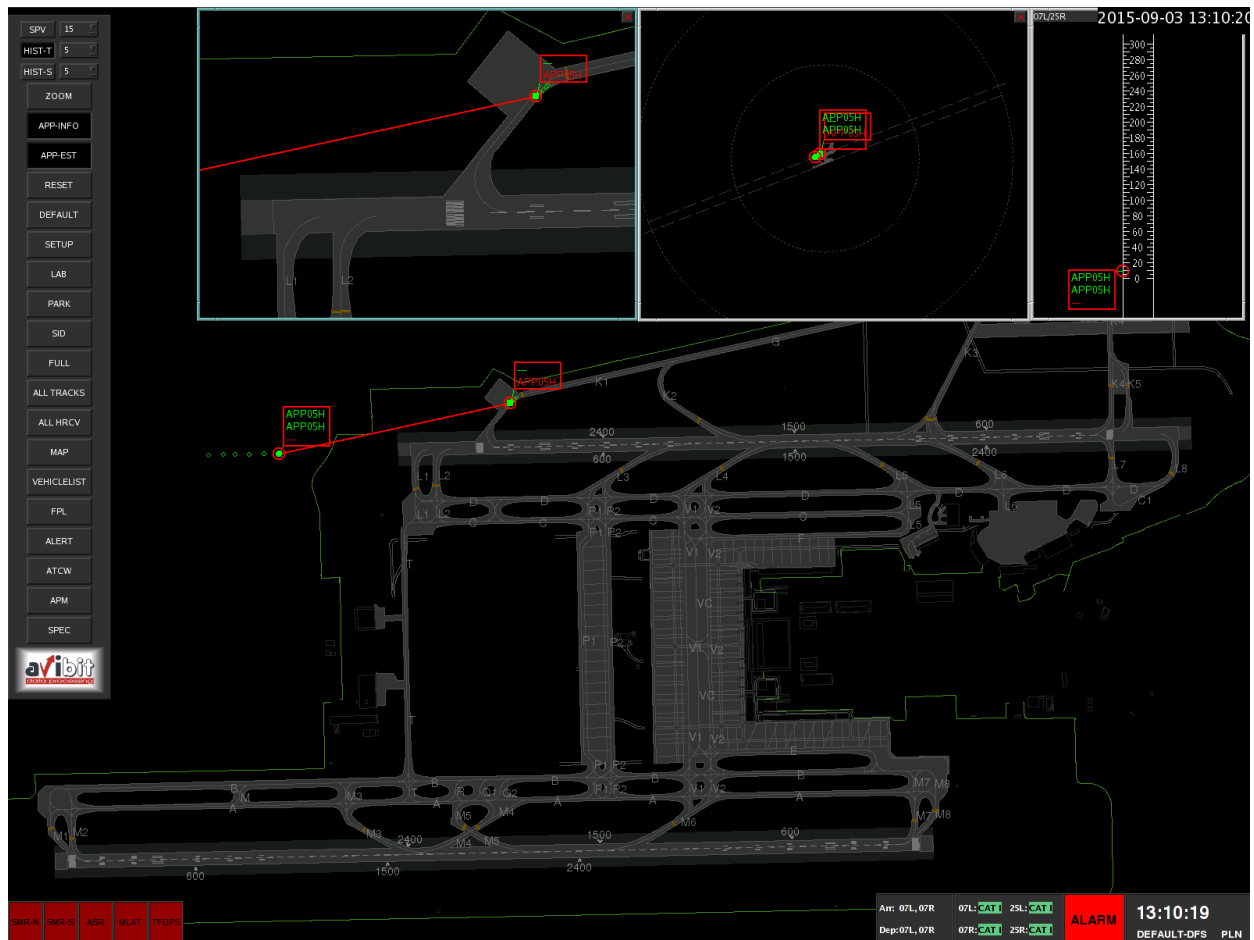


Abb. 5: Verkehrsalarm für Testszenario APP 05 im ACEMAX-Anzeigesystem

führen sollen, kann nach Durchlauf der Simulationen eine Aussage über die Korrektheit der Alarmierungsalgorithmen und der Implementierung gemacht werden. Hierzu werden die Simulationsdaten aller beschriebenen Szenarien sukzessive in das ACEMAX einspielt und die Anzeigen bei unterschiedlichen Konfigurationen des Alarmierungsmoduls mit den erwarteten Ergebnissen abgeglichen.

In der späten Entwicklungsphase wurde diese Herangehensweise intensiv eingesetzt, um durch zahlreiche Vorabtests Probleme frühzeitig zu erkennen und zu lösen. Ohne zuverlässige, nachvollziehbare Testdaten hätte sich die Entwicklung stark verlängert bzw. die darauf folgende Abnahmephase verzögert. Im nun folgenden Schritt, der Verifizierungs- und Abnahmephase, werden die generierten Szenarien ebenfalls eine wichtige Rolle einnehmen. Sie dienen dann dem Nachweis der Funktionalität des Alarmierungsmoduls.

Fazit

Die Entwicklung des Alarmierungsmoduls ist abgeschlossen. Im nächsten Schritt wird es zunächst auf dem ACEMAX-Referenzsystem intensiven Abnahmetests unterzogen. Sind diese erfolgreich, folgt im nächsten Jahr eine Installation auf dem Testsystem in Berlin-Schönefeld. Hier werden dann sowohl Tests mit realem Verkehr als auch weitere simulierte Tests durchgeführt. In dieser Zeit wird auch die Adaption, also die Anpassung der Konfiguration, des Systems an die lokalen Gegebenheiten stattfinden.

Literatur

[1]	Dr. Benjamin Weiß, Hendrik Glaab, Dr. Felix Schmitt, Dr. Stephen Straub, Ralf Heidger: „Prototypische Implementierung höherer A-SMGCS-Funktionen in PHOENIX“, 2015. In: „Innovation im Fokus 2015/01“
[2]	Wolfgang Wissler, Thomas Knopp: „Erweiterte STEP-Testumgebung zur Gate-to-Gate Tracker- und Sensorvalidierung“, 2011. In: „TE im Fokus 2011/01“
[3]	Durchführungsverordnung (EU) Nr. 716/2014 der Kommission vom 27. Juni 2014 über die Einrichtung des gemeinsamen Pilotvorhabens für die Unterstützung der Durchführung des europäischen Masterplans für das Flugverkehrsmanagement

Abkürzungen

ACEMAX	Bodenlagedarstellungssystem der Fa. AviBit
APM	Area Penetration Monitoring
ASDE	Airport Surface Detection Equipment
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System
A-SMR	Advanced Surface Movement Radar
ASR	Airport Surveillance Radar
ASTERIX	All Purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange
AWP/CC	Analysis Working Position Control Center
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
D-GPS	Differential Global Positioning System
MLAT	Multilateration
NEWSIM	New Simulator (En-route Ausbildungssimulator)
PHOENIX	Radardatenverarbeitungs- und Darstellungssystem der DFS
RADRET	Radar Data Replay Tool
RAPS	Recording, Analysis, Playback and Simulation of Surveillance Data
RIM	Runway Incursion Monitoring
SAS	Statistical Analysis Software
SDQC	Sensor Data Quality Control
SMR	Surface Movement Radar
STEP	Sensor Tracker Evaluation Platform
TCM	Taxiway Collision Monitoring
TOSIM	Tower Simulator (Tower-Ausbildungssimulator)
TOSIM/ATSurv	TOSIM-Komponente zur Erzeugung von Track- und Sensordaten

Erste Validierungsergebnisse der *Controller Assistance Tools* an der iCAS-SESAR-Plattform

Stephan Herr, Dr. Matthias Poppe, Katharina Reinhardt, Günter Achatz

Einleitung

Das SESAR-Projekt 04.07.02 „Separation Management in En-Route Trajectory Environment“ hat das Ziel, freigabebasierte Unterstützungstools für Lotsen zur Konflikterkennung und Konfliktlösung sowie zur Flugwegüberwachung zu entwickeln (sogenannte Controller Assistance Tools, kurz CATO) und in Realzeitsimulationen zu validieren [1]. Mit dem Vorgehen wird der Zweck verfolgt, sowohl „gehärtete“ Anforderungen als auch eine weitgehende Analyse zur Industrialisierung für ein anschließendes, risikominimiertes und SESAR-förderungsfähiges Implementierungsvorhaben zur Verfügung zu stellen.

Bereits 2011 gab es eine erste Demonstration mit einem von der DFS entwickelten Prototyp, der das Ziel hatte, das grundsätzliche Potential einer Implementierung solcher Tools aufzuzeigen. Darauf aufbauend wurde im DFS-Innovationsprojekt „CATO“ das DFS-CATO-Modul iterativ weiterentwickelt. In der Vergangenheit fanden bereits umfangreiche DFS-interne Validierungen mit diesem Modul im Zusammenspiel mit dem P1/ATCAS System statt¹ (Luftraum Bremen: Juni 2012 und April

2013; Luftraum München: Mai 2014). Die hier vorgestellte Validierung VP-175 fand im Rahmen des SESAR-Projektes 04.07.02 statt.

Rahmenbedingungen VP-175

Die Validierung im Januar/Februar 2015 stellt eine der bislang aufwändigsten Simulationskampagnen für den Forschungsbereich der DFS dar. Hierfür wurde ein Teil der Anforderungen aus dem SESAR-Projekt 04.07.02 von der Firma INDRA im SESAR-Projekt 10.04.01 in einem sogenannten industriellen Prototyp umgesetzt und in die auf iCAS basierende SESAR-IBP (Industry Based Platform) im Monzapark (DFS-Liegenschaft) integriert.

Die Validierung wurde unter den nachfolgend aufgelisteten Rahmenbedingungen durchgeführt. Da sie Einfluss auf die Validierungsergebnisse haben, müssen sie bei der Bewertung berücksichtigt werden.

1. Es handelt sich um eine Simulation, was bedeutet, dass einige Faktoren im Gegensatz zum Arbeiten im



Validierung „Controller Assistance Tools“ an der iCAS-Plattform im Februar 2015

¹ Im Folgenden nur „P1“ genannt

operationellen Umfeld idealisiert sind (z.B. sehr gute Sprachverständigung, wenig Pilotenanfragen, geringeres Koordinationsaufkommen). Durch die Begrenzung auf ausgewählte Sektoren in der Simulation können nicht alle operationellen Einsatzfelder betrachtet werden.

2. Das Betreiberkonzept für iCAS befindet sich zurzeit in Erarbeitung und konnte dementsprechend nicht für die Validierung zugrunde gelegt werden. Die Arbeitsweise während der Validierung orientierte sich daher eher an den heutigen Verfahren (ATCAS-Betreiberkonzept).
3. Der Entwicklungsstand des für die Validierung genutzten „SESAR-IBP“ entspricht funktional im Wesentlichen einem aktuell schon nicht mehr in Betrieb befindlichen VAFORIT-Release *Karlsruhe*. Damit waren wesentliche Funktionalitäten, die für den unteren Luftraum gebraucht werden (z.B. Systemschnittstellen zum Tower, Eingabemöglichkeiten für Luftfahrzeuge, die noch nicht gestartet sind) noch nicht implementiert. Diesem Umstand wurde mittels Adaption oder speziellen Rollen Rechnung getragen, sodass diese die Zwecke der Validierung möglichst wenig beeinflusst haben.
4. Die Eingaben wurden mittels Maus am Label durchgeführt, der Prototyp des 2TID² kam nicht zum Einsatz.
5. Der Einweisungsstand der beteiligten Lotsen in das System entsprach nicht dem Umfang einer klassischen Einweisung vor einem Übergang auf ein neues ATM-System (2-3 Tage Training am Simulator, statt erfahrungsgemäß rund 15 Tage pro Person). In der VP-175 kamen insbesondere Lotsen der iCAS Task Force Bremen zum Einsatz, die bereits über weitergehende (Simulations-)Erfahrung mit dem System verfügen und mit dem aktuellen Anforderungs- und Entwicklungsstand vertraut sind.
6. Der Entwicklungsstand der von Indra umgesetzten Funktionalitäten entspricht - wie abgestimmt - nicht vollständig den Anforderungen und Funktionalitäten des DFS-Prototyps (z.B. Funktionalitäten nur auf Freigabedatenbasis, nicht auf Basis von Koordinationsdaten, siehe auch Abbildung 1).

Das durch INDRA erstellte CATO-Modul, das sogenannte Tactical Trajectory Module (TTM), beinhaltet:

- Konflikterkennung auf Basis der vom Lotsen erteilten Freigaben an den Piloten,
- Konfliktlösungsunterstützung auf Basis der vom Lotsen erteilten Freigaben an den Piloten (what-else-probing),
- Flugwegüberwachung.

Die Funktionen des CATO-Moduls der DFS sind in früheren Artikeln dieser Zeitschrift beschrieben ([1], [2]).

Die zusätzlich im DFS-Modul enthaltenen Funktionalitäten auf Basis von Koordinationsdaten (Koordinations-trajektorie) wurden von INDRA für diese Simulation nicht umgesetzt. Abbildung 1 gibt einen Überblick der entwickelten CATO-Module:

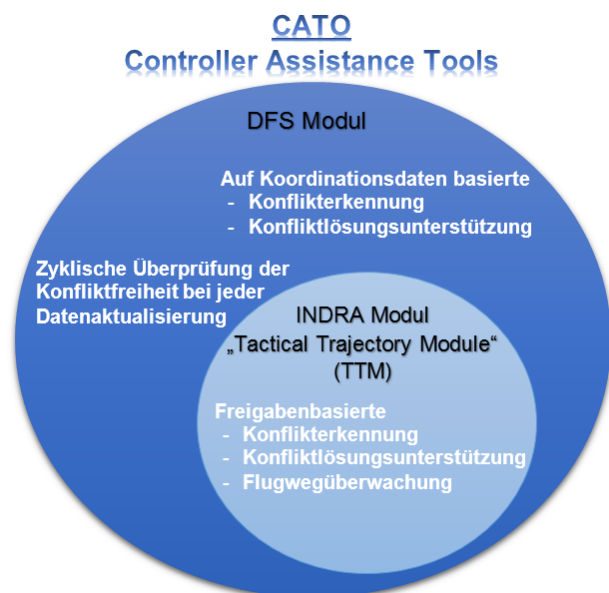


Abbildung 1: Überblick der CATO-Prototypen

Die umgesetzten Funktionalitäten des INDRA-Moduls sind im Wesentlichen identisch mit den Funktionalitäten des DFS-Moduls. Im Detail gibt es Unterschiede. So werden im DFS-Modul alle möglichen Freigaben für alle Luftfahrzeuge zyklisch bei jeder Datenaktualisierung (z.B. wenn aktualisierte Radardaten verfügbar sind) auf Konfliktfreiheit geprüft. Das INDRA-Modul führt diese Prüfung aus Performance-Gründen erst auf Anforderung durch den Lotsen (durch Öffnen des entsprechenden Menüs) für das selektierte Luftfahrzeug durch.

Trotz der Unterschiede in der Umsetzung der beiden Module kann durch die Simulationen unter Beachtung der

² Touch Input Device mit zwei Eingabebereichen jeweils für Koordinationen und für Freigaben.

Rahmenbedingungen eine stärker belastbare Aussage über den betrieblichen Nutzen der CATO-Funktionalitäten im Zusammenspiel mit der SESAR-IBP erwartet werden als durch eine nicht validierte Anforderungsdefinition. Darüber hinaus ist durch den industriellen Prototypen die Implementierungsfähigkeit der Anforderungen angemessen nachgewiesen, um hierauf basierend bessere Aussagen für eine zukünftige Entwicklung und die damit verbundenen Aufwände der Einführung und insbesondere auch der Nutzung treffen zu können.

Simulationsdesign

Im Januar und Februar 2015 wurden 28 Simulationsdurchläufe von je 75 Minuten Dauer mit jeweils drei gemessenen Sektoren durchgeführt. Hierbei wurden bei 20 Simulationsdurchläufen objektive und subjektive Daten erhoben; die restlichen Läufe dienten der Vorbereitung auf die jeweilige Versuchsbedingung. Zusätzlich fand vor Beginn der Validierung ein mehrtägliches Training auf dem iCAS-System statt.

Simuliert wurden die drei Bremer Sektoren „Aller High“, „Heide“ und „Deister/Ems (combined)“, die im Wesentlichen die Flughöhen von Flugfläche 105 bis Flugfläche 245 überdecken. Dieser Luftraum zeichnet sich durch eine hohe strukturelle Komplexität sowie einen hohen Anteil von vertikalen Flugbewegungen aus. Die simulierte Verkehrsmenge lag im Durchschnitt bei 150 % bezogen auf die heutigen Kapazitätseckwerte. Die Verkehrszusammensetzung orientierte sich in Bezug auf Verfahren, Luftraumstruktur und Arbeitsweisen an der aktuellen Situation in Bremen.

Mit der Simulation wurden die folgenden Untersuchungsziele verfolgt:

- Analyse der Nutzerakzeptanz der Controller Assistance Tools im ATS-Umfeld
- Einfluss auf menschliche Leistungsfähigkeit (Human Performance)
- Einfluss auf Sicherheit
- Einfluss auf Kapazität und Produktivität

Bisher fanden alle Validierungen mit dem DFS-Modul auf dem streifenbasierten P1-System statt. Um die Unterschiede zwischen der Arbeit mit den Controller

Assistance Tools in einem streifenlosen Umfeld im Vergleich zur Arbeit mit dem heutigen operationellen System berücksichtigen zu können, wurden die folgenden drei Versuchsbedingungen simuliert:

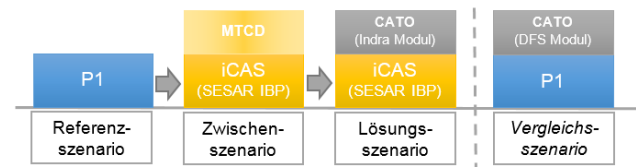


Abbildung 2 Versuchsbedingungen zur Validierung von CATO³

Diese Herangehensweise ermöglichte es, die Einflussfaktoren, die auf die CATO-Funktionalitäten zurückzuführen sind, von den Einflussfaktoren abgrenzen zu können, die auf die Flugverkehrskontrolle mit einem streifenlosen System zurückzuführen sind.

Nutzerakzeptanz

In Abbildung 3 sind die Mittelwerte für den standardisierten CARS (Controller Acceptance Rating Scale)-Fragebogen abgebildet, welcher die Nutzerakzeptanz abfragt (in dieser und den folgenden Abbildungen zeigen die Fehlerbalken den Standardfehler). Im Fragebogen werden Aussagen mit Werten kleiner gleich „4“ als „no adequate system performance with tolerable workload“ bezeichnet. Diese Grenze ist im Diagramm visualisiert. Die Bewertungen vom Executive (TC, Tactical Controller) und Planner (PC, Planner Controller) sind separat dargestellt.

In den Simulationsläufen „P1 ohne CATO“ (Referenz-szenario, vgl. Abb. 2) wurde eine mittlere Nutzerakzeptanz erzielt. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass das PSS bei der hohen simulierten Verkehrslast an seine Grenzen stieß. Das Suchen von Streifen erschwerte die Arbeit (z.B. Streifen im Scroll-Bereich) und behinderte die Koordinationsarbeit des PC.

In den Simulationsläufen „iCAS ohne CATO“ (Zwischen-szenario) sind die niedrigen Werte primär auf den Entwicklungsstand der simulierten SESAR-IBP zurückzuführen (siehe auch eingangs erwähnte Rahmenbedingungen). Die meisten MTCD-Konflikte waren überflüssig oder betrieblich irrelevant, und

³ MTCD: Einstellungen soweit wie möglich identisch zu VAFORIT in Karlsruhe

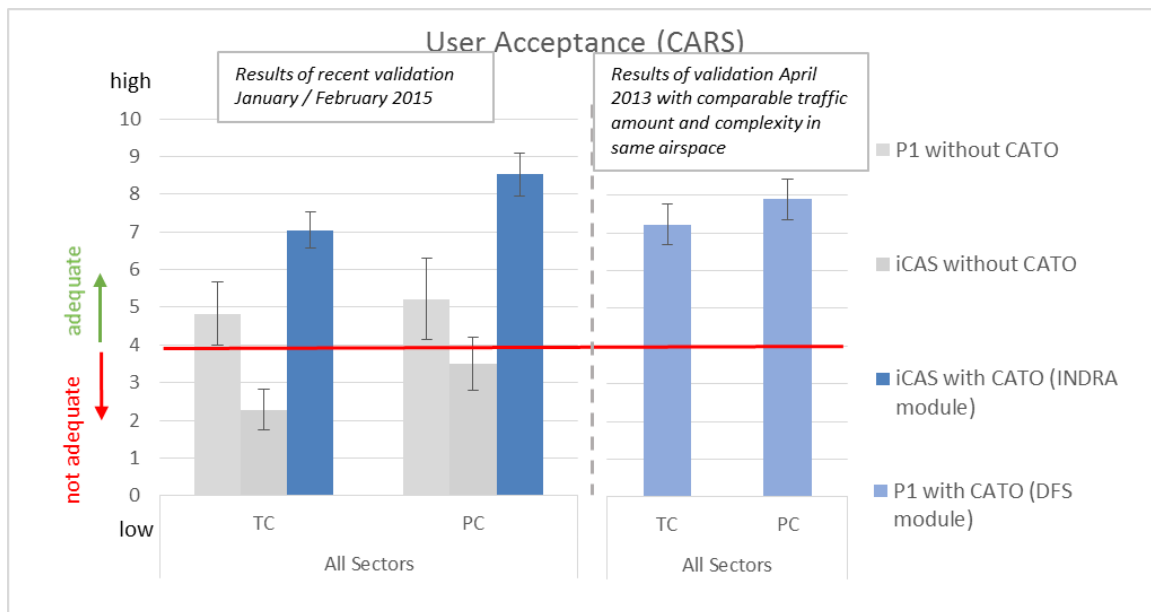


Abbildung 3 Nutzerakzeptanz (ermittelt mit dem standardisierten CARS Fragebogen)

gleichzeitig fehlten viele Konflikthanzeigen, d.h. es erfolgte keine Anzeige in Situationen, in denen der Lotse es erwartet hätte.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse für die Simulationsläufe „iCAS mit CATO“ (Lösungsszenario) die höchsten Werte, was für eine hohe Nutzerakzeptanz spricht.

Die Resultate dieser Validierung bestätigen die Ergebnisse einer im April 2013 vorangegangenen Simulation, die mit einem vergleichbaren Verkehrsszenario auf P1 durchgeführt wurde (in Abbildung 3 ganz rechts visualisiert).

Abbildung 4 zeigt die Bewertung der Konflikthanzeigen aus operationeller Sicht, welche mit Hilfe von Fragebögen erfasst wurde. Die Lotsen bewerteten die Anzahl der Konflikthanzeigen, die aus ihrer Sicht fehlten bzw. unnötig waren. Die Einschätzung aus dem Fragebogen zur Qualität der Konflikterkennung entspricht den Aussagen der Lotsen aus den strukturierten Debriefings.

Aus Abbildung 4 wird deutlich, dass sich das Verhältnis zwischen fehlenden und überflüssigen Konflikthanzeigen der CATO-Funktionalitäten in einem akzeptablen Bereich bewegt. Es gab so gut wie keine fehlenden Konflikthanzeigen. Dies deckt sich mit der Aussage der Lotsen in den strukturierten Debriefings: „Es gab während der ganzen Simulation keinen Konflikt, den CATO nicht erkannt hätte“.

Einige wenige Konflikthanzeigen traten bei CATO auf, welche die Lotsen als überflüssig einstufen. Hier können noch Konfigurationsparameter angepasst werden, um eine weitere Verbesserung im Detail zu erzielen. Die entsprechenden Maßnahmen sind bereits in den Fortschreibungen der SESAR-Anforderungen an die CATO-Funktionalitäten berücksichtigt. Dabei muss darauf geachtet werden, durch die weitere Verringerung der überflüssigen Alarme nicht den sehr guten Wert bei den fehlenden Konflikthanzeigen wieder zu verschlechtern.

Insgesamt decken sich die Ergebnisse dieser Simulation mit den Ergebnissen einer früheren Simulation mit dem DFS-Modul am P1-System. Die geringen Unterschiede zwischen den Simulationsergebnissen „iCAS mit CATO (INDRA-Modul)“ und „P1 mit CATO (DFS-Modul)“ können vernachlässigt werden, da hierbei eine gewisse Streuung

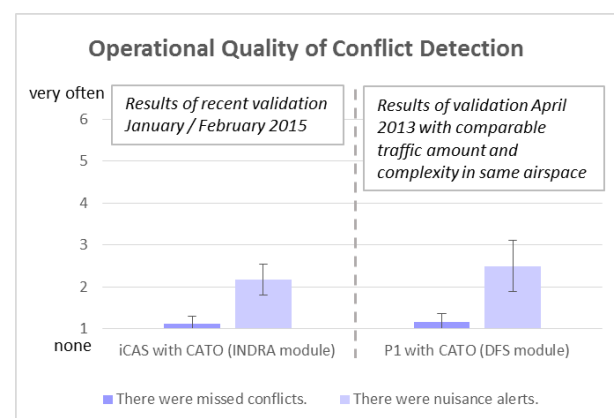


Abbildung 4: Operationelle Bewertung der Konflikthanzeigen

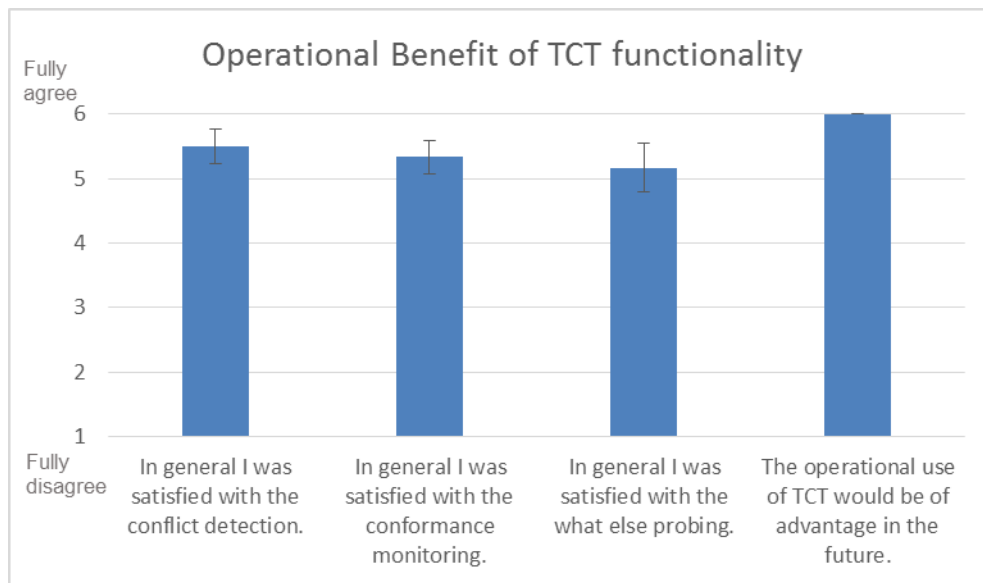


Abbildung 5: Bewertung der einzelnen CATO-Funktionalitäten, die im INDRA-Modul umgesetzt wurden.⁴

in den Aussagen zu berücksichtigen ist (ebenfalls in Abbildung 4 dargestellt).

Abbildung 5 zeigt die generelle Einschätzung der Lotsen hinsichtlich des betrieblichen Nutzens der CATO-Funktionalitäten, die im INDRA-Modul umgesetzt wurden⁴. Alle beteiligten Lotsen bewerteten sie sehr positiv. Die Funktionalitäten bieten aus Nutzersicht eine sehr gute und verlässliche Unterstützung bei der Durchführung der Flugverkehrskontrolle und zusätzlich eine Erhöhung der Sicherheit.

Human Performance

Zur Bewertung des Einflusses der CATO-Funktionalitäten auf die Human Performance wurden Arbeitslast und Teamarbeit als maßgebliche Indikatoren untersucht. Bei beiden Kenngrößen wurde die Selbsteinschätzung der Lotsen im Rahmen von standardisierten Abfragen durchgeführt.

Abbildung 6 auf der nächsten Seite zeigt die durchschnittliche mentale Beanspruchung (workload) je Untersuchungsdesign über alle Simulationsläufe. Die Abfragen im standardisierten Bedford-Fragebogen⁵ [3] definieren eine Bewertung der Beanspruchung

(„Workload“) mit einer Rate größer als „6“ als „nicht tolerabel“. Dies ist im Diagramm visualisiert.

Die Beanspruchung befindet sich bei durchschnittlich 150% Verkehr bezogen auf die heutigen Kapazitätseckwerte im Referenzszenario mit P1 sowie dem Szenario „ohne CATO“ in Bezug auf den genutzten Fragebogen in einem nicht tolerablen Bereich. Bei der Arbeit mit P1 gaben die Lotsen an, dass sie in Peak-Situationen zeitweise das mentale Bild verloren. Die Limitierung von PSS (z.B. Arbeit im Scroll-Bereich, siehe „Nutzerakzeptanz“) verursachte zusätzliche Arbeitslast. Die übliche Koordinationsarbeit war bei dieser Verkehrslast nicht zu jeder Zeit in der erforderlichen Qualität leistbar.

Auch im Szenario „iCAS ohne CATO“ beschrieben die Lotsen die Beanspruchung als „sehr hoch“. Die Gründe hierfür sind primär auf den Entwicklungsstand der simulierten SESAR-IBP und dem noch in Erarbeitung befindlichen Betreiberkonzept zurückzuführen.

Im Szenario „iCAS mit CATO“, befand sich die Beanspruchung im tolerablen Bereich. In den Debriefings gaben die Lotsen an, dass CATO die schnelle Identifizierung von Konfliktpartnern und das schnelle Finden einer effizienten Lösung ermöglichte. Dies stellt auch in Verkehrsspitzen ausreichend mentale Kapazität

⁴ „What-else probing“ bezeichnet das Tool, welches mögliche Freigaben vorab auf Konfliktfreiheit prüft und anzeigt.

⁵ Bedford-Fragebogen: ursprünglich für Piloten entwickelt, kommt heute auch standardmäßig in der Flugverkehrskontrolle zum Einsatz zur Bewertung von Arbeitslast

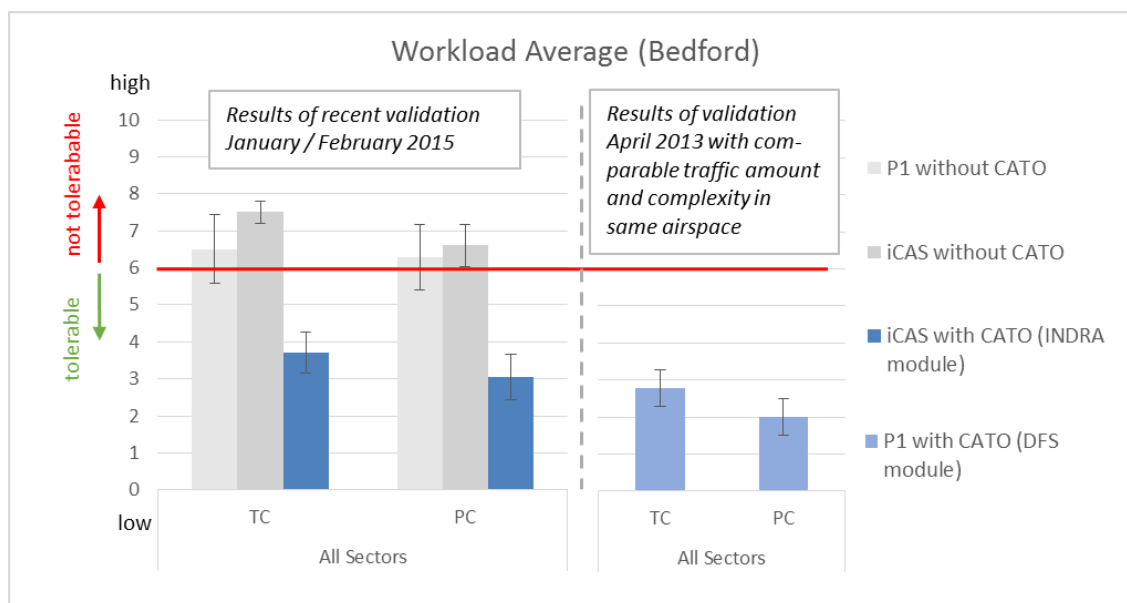


Abbildung 6: Durchschnittliche Arbeitslast (ermittelt mit dem standardisierten Bedford Fragebogen)

zur sicheren Bearbeitung des Verkehrs zur Verfügung. Das Ergebnis deckt sich mit der vorangegangenen Simulation, bei der das von der DFS entwickelte CATO-Modul im Zusammenspiel mit P1 zum Einsatz kam (in Abbildung 6 ebenfalls visualisiert).

Ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt lag wie eingangs genannt auf der Teamarbeit. Hierzu wurden den Lotsen mehrere Fragen zur Bewertung der

Zusammenarbeit in den jeweiligen Versuchsbedingungen gestellt. Ein Auszug aus den Ergebnissen des genutzten standardisierten STQ-s-Fragebogens⁶ [4] ist in Abbildung 7 dargestellt:

In der gewohnten P1-Umgebung war die Rollen- und Aufgabenverteilung laut Lotsenaussage klar definiert. Mit der streifenlosen SESAR-IBP entfiel die gewohnte gemeinsame Informationsbasis aufgrund der in den

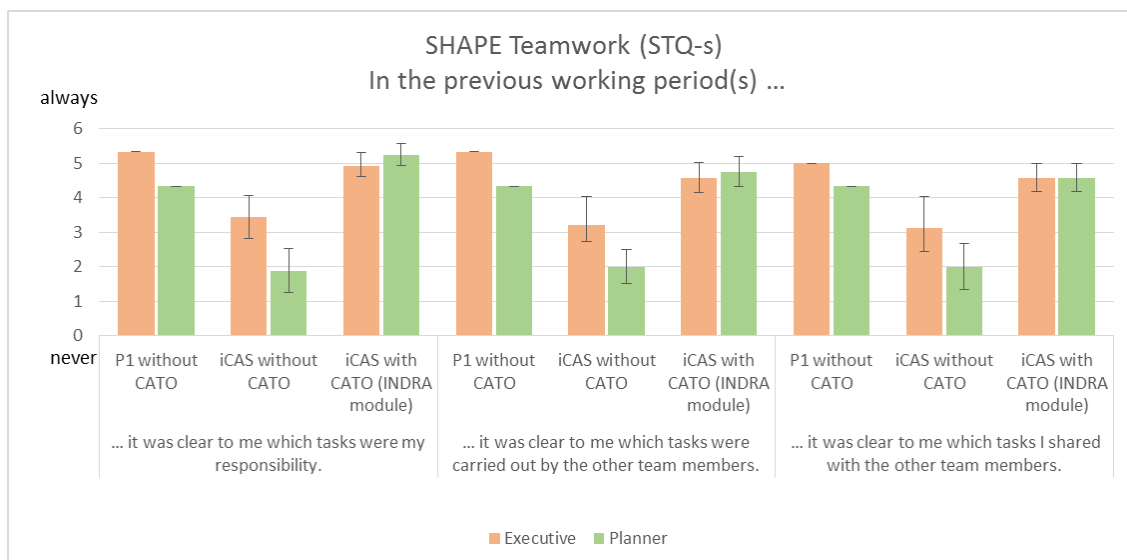


Abbildung 7: Bewertung der Zusammenarbeit im Team (ermittelt mit dem standardisierten STQ-s Fragebogen)

⁶ SHAPE Teamwork Questionnaire, von EUROCONTROL entwickelt

Rahmenbedingungen genannten Gründe. Dies erschwerte im Zusammenspiel mit dem aktuellen Entwicklungsstand der verwendeten iCAS-SESAR-IBP (siehe „Einleitung“) bei dem simulierten hohen Verkehrsaufkommen die Koordination.

Die Lotsen gaben in den Debriefings an, dass der Einsatz der CATO-Tools ein permanentes gemeinsames Situationsbild bei den hohen Verkehrsmengen ermöglichte. Obwohl die umgesetzten CATO-Funktionalitäten originär für den Executive entwickelt wurden, profitierte auch der Planner von der gemeinsamen Konflikthanzeige. Der Planner konnte aktiv die Aktionen des Executive mitverfolgen und ihn im Bedarfsfall bei der Auswahl von geeigneten Lösungen dank des What-else-Probing gezielt unterstützen.

Eine weitere Verbesserung der Zusammenarbeit wird durch die CATO-Funktionalitäten erwartet, die auf Koordinationsdaten basieren. Die Konflikterkennung und -lösungsunterstützung auf Basis von Koordinationsdaten wurde schon in Anforderungen beschrieben und ist im DFS-Modul bereits in einer ersten Version implementiert.

Sicherheit

Die beteiligten Lotsen vertraten einheitlich die Meinung, dass die simulierten CATO-Funktionalitäten des INDRA-Moduls deutlich zur Beibehaltung und ggf. Steigerung der Sicherheit bei hoher Verkehrsbelastung beitragen können, da sie die Freigaben der Lotsen berücksichtigen. Sie ermöglichen eine effizientere Überprüfung der Verkehrssituation und beschleunigen die Entscheidung für geeignete Freigaben. Dies lässt mehr Zeit zur Situationsanalyse und schafft mentale Kapazität. Auch in Peak-Situationen, so gaben die Lotsen an, arbeiteten die CATO-Funktionalitäten verlässlich und unterstützten eine sichere Bearbeitung des Verkehrs.

Die Abfragen zum Situationsbewusstsein bestätigen dieses Bild. Abbildung 8 veranschaulicht die Ergebnisse. Die Bewertung mit Raten kleiner „4“ werden im standardisierten China Lakes Fragebogen [5] als „nicht akzeptabel“ klassifiziert. Dies ist im Diagramm visualisiert.

Der Einsatz der CATO-Funktionalitäten fördert das Situationsbewusstsein und erhält es auf einem hohen Wert. Auch hier deckt sich das Ergebnis mit der vorangegangenen Simulation, in der mit dem von der DFS entwickelten CATO-Modul am P1-System simuliert wurde. Das wurde von den Lotsen in den Debriefings bestätigt.

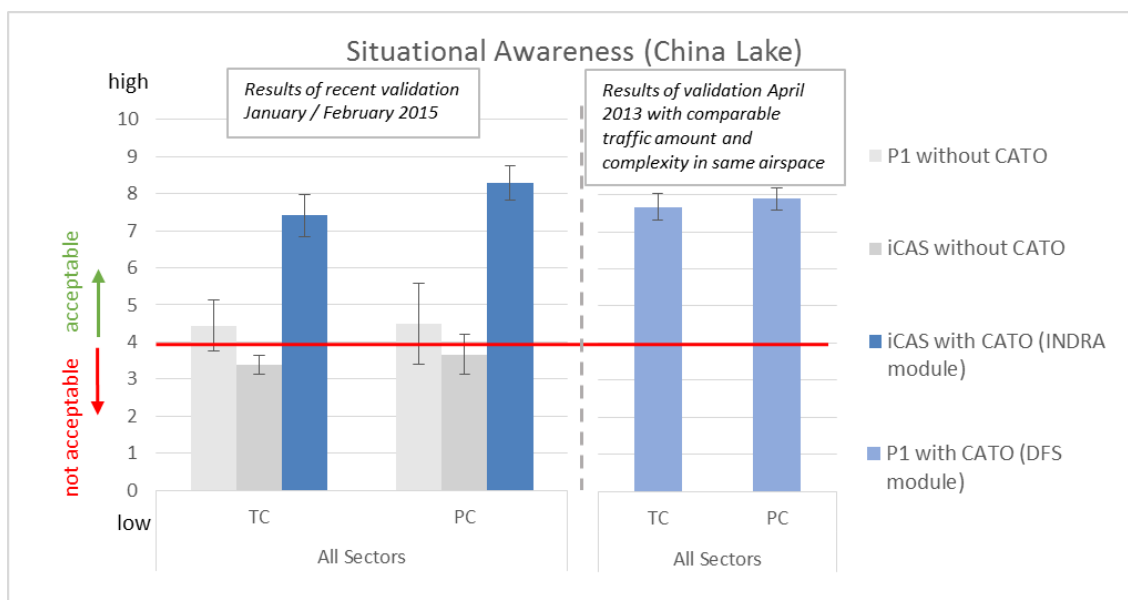


Abbildung 8: Situationsbewusstsein der Lotsen (ermittelt mit dem standardisierten China Lakes-Fragebogen)

Kapazität/Produktivität

Die Verkehrsmenge in den simulierten Verkehrsszenarien betrug durchschnittlich 150 % der heutigen Kapazitätseckwerte. Die Flugprofile wurden von den Lotsen als realistisch eingeschätzt, die Szenarien enthielten viele potenzielle Konflikte. Die Einschränkungen bei einer Realzeitsimulationen sind dennoch zu beachten (siehe Rahmenbedingungen).

Nach Einschätzung der beteiligten Lotsen ermöglichen die CATO-Funktionalitäten eine Kapazitäts- oder Produktivitätssteigerung von bis zu 25 %.

Dies setzt ein entwickeltes iCAS-System (inkl. Betreiberkonzept) voraus, in dem die Anforderungen für den unteren Luftraum umgesetzt sind.

Für die vollständige Erreichung dieses Potentials wird empfohlen, dass die im INDRA-Modul noch fehlenden Funktionalitäten auf Basis von Koordinationsdaten, die bereits im DFS-Modul in einer ersten Version vorhanden sind, verfügbar gemacht werden, um auch die Konflikterkennung für Luftfahrzeuge vor Sektoreinflug zu ermöglichen. Die Simulation hat auch gezeigt, dass hierfür eine gestufte Entwicklung möglich ist.

Zusammenfassung und Fazit

Das Ziel dieser Validierung war es, die entwickelten CATO-Funktionalitäten als industriellen Prototyp in das zukünftige DFS-ATM-System iCAS prototypisch zu integrieren, die Anforderungen daran zu härten und den Nutzen für die Verkehrsabwicklung hinsichtlich Akzeptanz, Arbeitslast und Teamwork, Situationsbewusstsein sowie Kapazität/Produktivität zu bewerten. Als Referenz wurden Simulationsläufe auf dem derzeit operationell genutzten P1-System durchgeführt. Dieselben Szenarien wurden zum Vergleich auf der iCAS-IBP sowohl mit und ohne CATO-Funktionalitäten simuliert.

Die Ergebnisse sind unter der Berücksichtigung der formulierten Rahmenbedingungen zu betrachten. In einer Realzeitsimulation können nicht alle betrieblichen Aspekte absolut realitätsgetreu nachgebildet werden. Die genutzte SESAR-iCAS-Validierungsplattform entspricht nicht dem Entwicklungsstand, der für die Einführung von iCAS im unteren Luftraum vorgesehen ist. Ebenso ist das iCAS-Betreiberkonzept für den Einsatz im unteren Luftraum noch in Bearbeitung und kam deshalb nicht zur Anwendung. Daher orientierten sich die Arbeitsweisen mit dem SESAR-iCAS-System in der Validierung an den heutigen Arbeitsweisen. Der Übergang von dem bekannten streifenbasierten System zu einem streifenlosen Umfeld fand über das gewählte

Untersuchungsdesign „P1“ – „iCAS ohne CATO“ – „iCAS mit CATO“ Berücksichtigung bei der Ergebnisinterpretation.

Die Ergebnisse für die im INDRA-Modul umgesetzten CATO-Funktionalitäten sind durchweg sehr positiv. Beim simulierten Verkehrsaufkommen von durchschnittlich 150 % Verkehr im Vergleich zum heutigen Kapazitätseckwert kann die Arbeitslast im Vergleich zum Arbeiten ohne diese Funktionalitäten erkennbar reduziert werden. Im gleichen Maß wird das Situationsbewusstsein entsprechend gesteigert, was nach Aussage der beteiligten Lotsen einer erhöhten mentalen Kapazität entspricht. Auch die Zusammenarbeit zwischen Executive und Planner wird durch die Funktionalitäten im streifenlosen Systemumfeld bei hohen Verkehrsmengen unterstützt. Darüber hinaus war in der Validierung zu erkennen, dass die Funktionalitäten über eine hohe Nutzerakzeptanz verfügen.

Im Rahmen der Simulation wurden einige Bereiche identifiziert, in denen die Funktionalitäten im Detail weiteres Potential zur Optimierung bieten (z.B. Konfiguration der Ratenpuffer). Die Konflikterkennung, -lösungsunterstützung sowie die Flugwegüberwachung sind nach Einschätzung der teilnehmenden Lotsen aber auch in der vorliegenden Form grundsätzlich bereits sehr gut geeignet. In der Simulation hat sich weiterhin herausgestellt, dass der Teil der CATO-Funktionalitäten, der bisher nicht im INDRA-Modul umgesetzt wurde (Konflikterkennung auf Basis der Koordinationstrajektorie – siehe Abbildung 1), benötigt wird, um eine effiziente Vorstaffelung für Luftfahrzeuge zu ermöglichen, die sich noch nicht auf der Frequenz des jeweiligen Sektors befinden.

Insgesamt betonten die Lotsen, dass ausgehend von dem in Entwicklung befindlichen streifenlosen System iCAS, perspektivisch bei hohen Verkehrsmengen und -komplexitäten ein solches Unterstützungstoolset zur Konflikterkennung und -lösungsunterstützung für eine weiterhin sichere und geordnete Abarbeitung des Luftverkehrs unerlässlich sein wird.

Die Simulationen haben gezeigt, dass ein Verkehrszuwachs von bis zu 25 % und der damit verbundene Bedarf an Sicherheitsgewinn mit den CATO-Funktionalitäten abgesichert werden kann und eine stufenweise Implementierung möglich ist.

Mit den Validierungen wurde ebenfalls nachgewiesen, dass die CATO-Funktionalitäten ihre Wirkung sowohl im P1- als auch in der iCAS-IBP entfalten können und somit im Zusammenspiel mit unterschiedlichen ATM-Systemen grundsätzlich einsetzbar sind. Eine Einführung mit der

Systemgeneration ATCAS ist DFS-seitig nicht geplant. Für die Einbindung in die Systemarchitektur sind zeitgerecht vor einer Implementierung Entscheidungsmeilensteine vorzusehen, wie die geforderte Architektur dann umgesetzt werden soll (z.B. als integrierte Funktionalität, als eigenständige Komponente inkl. einer beschriebenen Schnittstelle u.ä.).

Die bereits erfolgte Umsetzung in einem industriellen Prototyp reduziert die Risiken für eine spätere Projektumsetzung bzgl. Anforderung, Entwicklung, Sicherheitsbewertung und Nutzerakzeptanz auf Basis des dann eingeführten iCAS-Systems.

Referenzen

[1]	Dr. Matthias Poppe, Stephan Herr, Dr. Andreas Herber: SESAR P4.7.2: Konflikterkennung und -lösung für Radar- und Planungslotsen, TE im Fokus, Ausgabe 1/2013, 07.06.2013
[2]	Eliana Haugg, Dr. Andreas Herber, Stephan Herr: Vorhaben CATO - Betriebliche Nutzbarkeit von Controller-Tools für den unteren Luftraum, TE im Fokus, Ausgabe 2/2010, 24.11.2010
[3]	Roscoe A.H. and Ellis G.A., A subjective Rating Scale of Assessing Pilot Workload in Flight: A Decade of Practical Use, A technical Report, Procurement Executive, Ministry of Defence Farnborough, Hampshire, 1990 Gawron, V. (2000) Human Performance Measures Handbook. MAHWAH, NJ: Lawrence Erlbaum
[4]	Doris M. Dehn; Assessing the Impact of Automation on the Air Traffic Controller: The SHAPE Questionnaires; Air Traffic Control Quarterly, Vol. 16(2) 127-146 (2008)
[5]	JENNINGS, S., CRAIG, G., CHEUNG, B., RUPERT, A., SCHULTZ, K. (2004). Flight test of a tactile situational awareness system in a land-based deck handling task. Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society, New Orleans, Louisiana, September 20-24, 2004. pgs.

Abkürzungen

2TID	2 Touch Input Device
CARS	Controller Acceptance Rating Scale
CATO	Controller Assistance Tools
DFS	DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
FDPS	Flight Data Processing System
IBP	Industry Based Platform
iCAS	iTEC Center Automation System
iTEC	Interoperability Through European Collaboration
MTCD	Medium Term Conflict Detection
P1/ATCAS	Projekt 1/ Air Traffic Control Automation System
PC	Planning Controller
SESAR	Single European Sky ATM Research
SHAPE	Solutions for Human Partnerships European ATM
STQ	SHAPE Teamwork Questionnaire
TC	Tactical Controller
TCT	Tactical Controller Tool
TTM	Tactical Trajectory Module



Abbildung 9: Eindrücke aus der Simulation (oben) und den regen Diskussionen beim Debriefing (unten)

Results of the SESAR Step 1 V3 Center-Manager Validation

Eliana Haugg, Dr. Jörg Bergner

Introduction

Within the SESAR 1 Program DFS leads the project 05.04.02 “Co-operative Planning in the TMA”. The project aims to improve the handling of arrival and departure streams in a multi-airport environment. The focus of DFS’ activities is to develop and validate new functionalities that enable a center-sector to efficiently handle the traffic into several TMAs (hence the term “Center-Manager”).

Center-Manager

The Center-Manager (CMAN) concept is developed using the example of the airspace around Cologne and Dusseldorf airports. This is a very complex area due to sectorization and many dependencies because of several additional smaller airports in the vicinity and Frankfurt Airport south of it. Numerous arrival- and departure streams are handled to/from the various airports in the environment at a comparatively small sector size.

In case of excessive demand holding procedures are implemented within the TMA sectors and speed restrictions as well as in-trail separations are manually requested from the upstream sectors.

A precise picture of the traffic situation that can be expected for the next 30 minutes is not available. Especially in the Extended TMA (E-TMA) ACC sectors Hamm (HMM) and Paderborn (PAD), c.f. figure 3, controllers complain about the absence of early planning principles in the tactical area. As a result, the response times that would be useful for acting on the flight guidance are too short, which increasingly leads to suboptimal control methods and favour the occurrence of spontaneous overload situations. Additionally, the available airspace capacity is not used in an optimal way; an additional buffer must be kept instead. Medium to long term it cannot be expected that the situation can be improved through airspace and procedural changes.

Although there are Arrival Manager (AMAN) solutions available for a foresighted, cross-sectoral arrival planning, the current capabilities of these AMAN systems are not sufficient for the complexity of traffic and airspace structure of this E-TMA with converging inbound streams.

The main issue of such a multi-airport TMA is the small size of the TMA sectors and their adjacent en-route sectors which does not allow the controllers to implement sufficient Time to Lose (TTL) without both a drastic increase in workload and decrease of flight efficiency. Thus, to meet the special conditions of the airspace structure of a complex E-TMA an extension of the existing functionalities of AMAN is necessary.

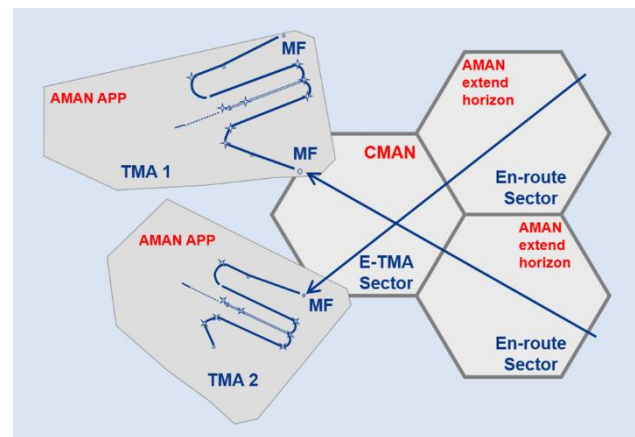


Figure 1: Extended TMA with multiple airports and AMAN extended horizon

Therefore, an arrival planning component “Center Manager” which accompanies the AMANs of close airports was developed in the context of the SESAR project 05.04.02. The industrial prototype designed by DFS generates a combined planning for several arrival streams into different airports by calculating the sequence of aircraft flying towards an area where their routes intersect. By imposing an adequate spacing of the aircraft in that area, a TTL for the appropriate upstream sector is calculated to meet this constraint. Both, TTL for the runway threshold and TTL for the intersection point in the E-TMA sector, are superimposed and presented to the upstream En-route sector controllers making use of the AMAN extended horizon concept. Including upstream sectors in the arrival management process helps to create an optimized utilization of the available airspace capacity and supports controllers to avoid short-term overload traffic situations. More details on the concept and the associated Human Machine Interface can be obtained from [1].

Simulation setup

A Real Time Simulation was carried out from 15/06/2015 to 26/06/2015 at the DFS Advanced Function Simulator (AFS) in Langen, Germany. It was conducted using a realistic environment of German airspace around the major airports Cologne (EDDK) and Dusseldorf (EDDL) and focused on the measured E-TMA sector Paderborn (PAD) and the Dusseldorf TMA with the Feeder position “DLAT” and the Pick-up position “DLAB”. The PAD sector is a very complex sector where numerous arrival- and departure routes to and from various airports in the close vicinity have to be managed within a comparatively small sector size. Figure 2 shows the converging inbound routes in PAD to Cologne in green and Dusseldorf in blue.

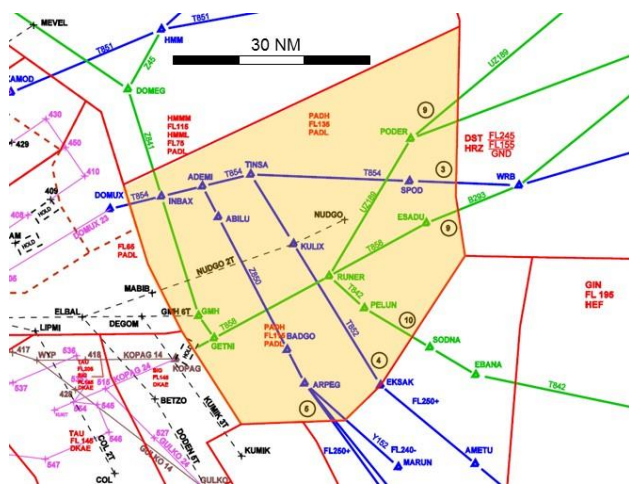


Figure 2: PAD sector (light yellow) with converging inbound routes (to Cologne green, to Dusseldorf blue)

In order to represent a realistic environment, the surrounding sectors Cologne TMA with the Feeder position “DKAT” and the Pick-up position “DKAB” and the neighbouring E-TMA sector Hamm (HMM) which also serves inbounds to Cologne and Dusseldorf were simulated. In addition, three adjacent En-route sectors (ADJSE=adjacent south-east, ADJE=adjacent east and ADJW=adjacent west) were simulated. The complete area under investigation is shown in Figure 3.

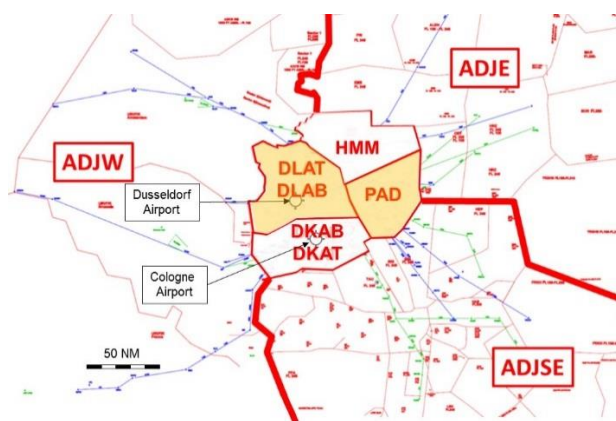


Figure 3: Area under investigation (measured sectors are marked light yellow)

The objective of the simulation was to show the operational feasibility of the CMAN prototype related to SESAR Operational Improvement (OI) Step TS-0303 „AMAN into multiple airports“ and its impact on capacity, human performance, efficiency, environment, and safety. Therefore, the validation exercise compared a reference scenario without tool support to a baseline scenario with AMAN extended horizon only and to a solution scenario combining both AMAN extended horizon with TTL for the runway threshold and CMAN with TTL for the intersection point in the E-TMA sector as described above.

For the traffic scenario a recording of real traffic (morning peak between 7 and 10 am on 24/04/2012) was used and the traffic condensed. Two basic scenarios with different inbound peaks were generated. The first scenario covered an inbound peak to Cologne airport followed by an inbound peak to Dusseldorf airport. The second scenario contained a traffic peak to Dusseldorf first, then a peak to Cologne. Both scenarios were presented in two different versions with different callsigns resulting in four scenarios altogether:

- Scenario A1: Cologne then Dusseldorf peak, callsign version 1
- Scenario A2: Cologne then Dusseldorf peak, callsign version 2
- Scenario B1: Dusseldorf then Cologne peak, callsign version 1
- Scenario B2: Dusseldorf then Cologne peak, callsign version 2

These scenarios were used to validate the reference, baseline, and solution scenarios. In this way conditions were kept equal throughout the exercise.

Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
Briefing	Reference A2	Training CMAN	Solution CMAN B2	Baseline AMAN B2
Training Reference	Reference B2	Baseline AMAN A1	Baseline AMAN B1	Solution CMAN A2
Reference A1	Briefing CMAN	Solution CMAN B1	Solution CMAN A1	SPARE
Reference B1	Training CMAN	Baseline AMAN A2		

Figure 4: Weekly simulation design (color coding of scenario runs corresponds to that used in following figures)

Figure 4 gives an overview of the weekly simulation design. In each of the two simulation weeks different controllers participated in the simulation. Both weeks began with a general briefing and an initial training. After this, the measured reference scenarios were performed. The intention was not to reveal the extended AMAN or CMAN sequence before conducting the reference runs. Otherwise, the controllers would have kept the optimised sequences in mind and applied them in the reference scenarios. This would have distorted the exercise results. After the reference runs a detailed briefing and training on extended AMAN and CMAN functionalities was held. Then the measured AMAN and CMAN runs were presented alternately. The same design was applied for both simulation weeks.

Objective data was recorded by the simulator and subjective data gathered via questionnaires and debriefings. After each measured run, participants filled in the questionnaires and a structured debriefing was conducted. A final debriefing was held at the end of each week.

The sample was: for PAD N=24, for DLAB N=24, for DLAT N=21 (reduced sample due to illness).

Simulation Results: Capacity

In terms of capacity it was expected that sector throughput with CMAN in the measured sectors would remain stable. Figure 5 shows the average number of aircraft per hour. One aircraft was additionally controlled

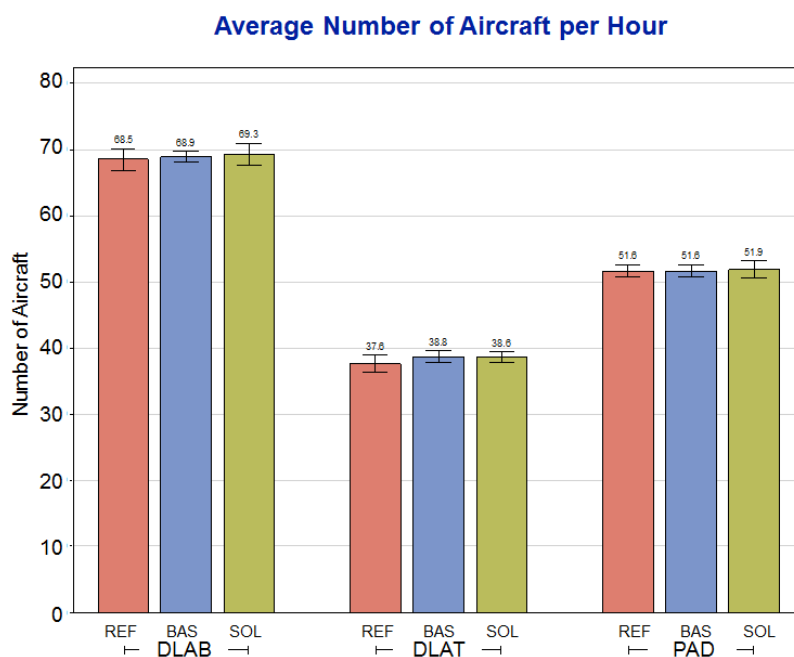


Figure 5: Average number of a/c in the three measured sectors DLAB, DLAT and PAD for the reference (red), baseline (blue) and solution (green) scenarios

in average in the baseline and solution scenario at the Dusseldorf Feeder (DLAT) position. At the Dusseldorf Pickup (DLAB) position and the PAD sector the differences were minimal. Note that this and the following figures use red bars for the reference, blue for the baseline and green for the solution scenario.

It was also expected that with the help of CMAN the TMA and E-TMA sectors would obtain more homogenous traffic flows from upstream sectors. Figures 6 to 8 show examples of flight tracks for reference, baseline, and solution scenario. Departures are shown in green, arrivals in red, and level flights in blue.

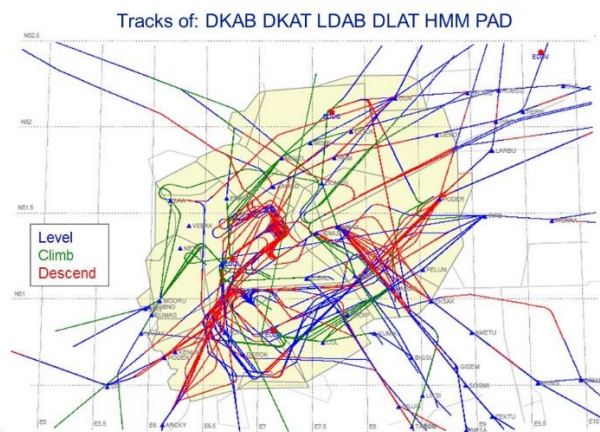


Figure 6: Example for flight tracks: reference scenario #2

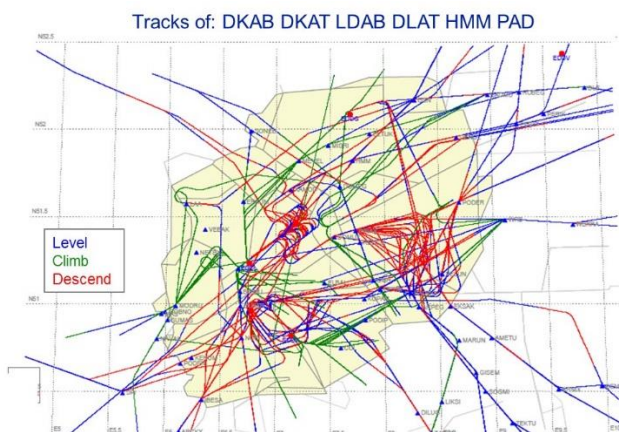


Figure 7: Example for flight tracks: baseline scenario #7

In the PAD sector, aircraft flew mostly directly to the inbound fixes INBAX and DOMUX in the reference scenario. In the baseline much more vectoring can be observed in order to implement the suggested TTL. In the solution there is still vectoring in the PAD sector, however, it is less than in the baseline scenario. For the Dusseldorf TMA positions the reference shows that the full length of the transitions was needed throughout the

scenario. In the baseline transitions were short at the beginning and started to fill up towards the end of the scenario. In the solution scenario transitions are much shorter compared to the other experimental conditions.

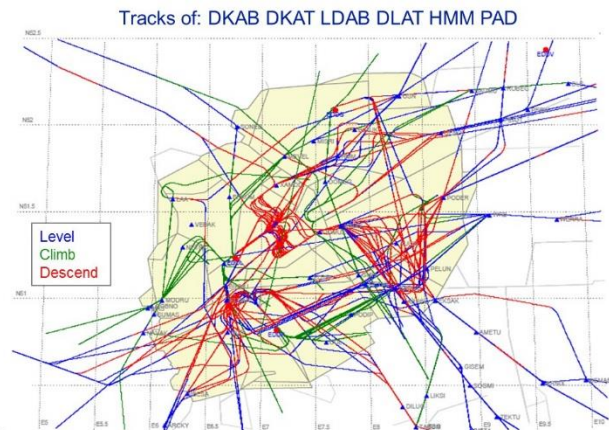


Figure 8: Example for flight tracks: solution scenario #6

In the post-run questionnaires the controllers assessed on a six-point scale (1= fully disagree, 6= fully agree) whether extended AMAN or CMAN did improve the traffic flow. Figure 9 shows the results for the baseline scenario in blue and the solution scenario in green. The results are quite similar for the Dusseldorf positions. In both conditions TTL is implemented by the upstream sectors and Dusseldorf receives a better sequence. The results are slightly better in the solution condition with CMAN than with extended AMAN.

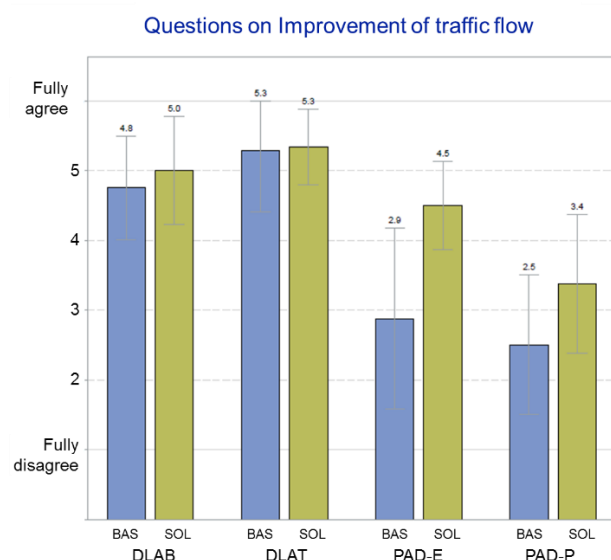


Figure 9: Improvement of traffic flow

In the PAD sector a greater difference between ratings can be observed. With extended AMAN the traffic flow by trend is not improved, as controllers have to implement the calculated TTL by themselves. In the solution condition, with the adjacent sectors helping to implement TTL, traffic flow is improved in comparison to the baseline. The results are more positive for the Executive than for the Planning Controller, probably because the Planning Controller has to co-ordinate with upstream sectors. In the debriefings the controllers confirmed that CMAN helps to improve the traffic flow, especially in the TMA. It was also stated that the PAD sector prefers the solution scenario as upstream sectors help to implement TTL.

Simulation Results: Human Performance

It was expected that workload would be reduced with CMAN. The exercise showed that workload was actually shifted from the TMA towards the E-TMA and adjacent En-route sectors as these positions had to implement TTL in order to provide the TMA with a better aircraft sequence.

Figures 10 to 12 show some detailed results for the reference in red, the baseline in blue and the solution in green. This objective data show that CMAN reduced the workload of the Dusseldorf Pick-up (DLAB) in comparison to the reference. No clear tendency was found for the Dusseldorf Feeder (DLAT). In the PAD sector CMAN slightly increased the workload in comparison to the reference but also slightly reduced the workload in comparison to the baseline scenario. The number and duration of r/t communication (push-to-talk, PTT, events) as well as the number of clearances per aircraft (taken from the pilot commands log) at the Dusseldorf Pickup Position is highest in the reference, lower in the baseline, and lowest in the solution scenario. With increasing pre-sequencing by the upstream sectors workload is reduced. At the Dusseldorf Feeder position the results are not as clear. Number and duration of r/t communication per aircraft is also highest in the reference scenario. However, this time, the number and duration of r/t communication per aircraft is lower in the baseline than in the solution scenario.

Concerning the number of clearances per aircraft the same trend as for the Pick-up position is observed. The PAD sector has the lowest number and duration of r/t communication and clearances per aircraft in the reference scenario. The baseline has the highest results and the solution is in the middle.

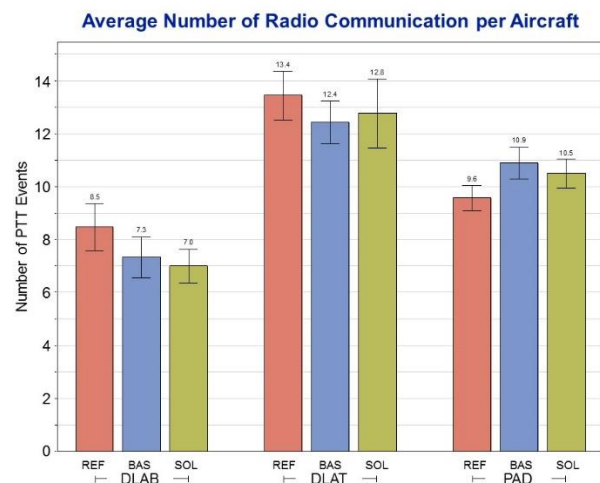


Figure 10: Average number of r/t contacts

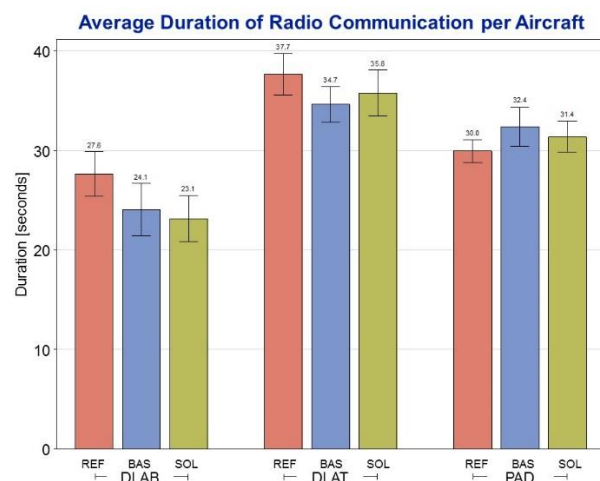


Figure 11: Average duration of R/T contacts in seconds

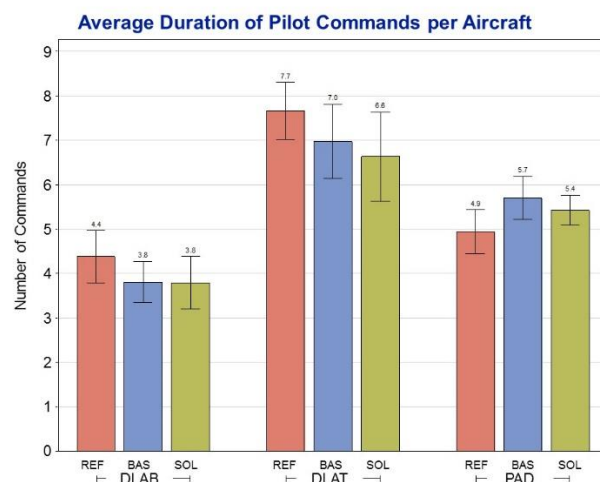


Figure 12: Average number of clearances per aircraft

In terms of subjective data Online Questionnaires, Post-Run Questionnaires, and debriefing notes were gathered. Figure 13 to 16 show the subjective average ratings of the online *Instantaneous Self-Assessment* (ISA) questionnaire [3] for the measured sectors. The controllers rated their workload every 5 minutes on a five-point scale (1= boring, 2= relaxed, 3= comfortable, 4= high, 5= excessive). The thin lines in the background of the figures show the number of aircraft on frequency at the respective moment. Red lines refer to the reference, blue lines to the baseline, and green lines to the solution scenario.

According to Figure 13, the Dusseldorf Pickup experienced the highest workload in the reference condition, but does not exceed the rating „comfortable“. There were only slight differences between the baseline and solution where workload stays at a „relaxed“ level. The solution scenario with CMAN had the lowest workload. This matches the results of the objective data.

The Dusseldorf Feeder experienced the highest workload in the solution condition, see Figure 14. Also here, workload stays at a „comfortable“ level. Only slight

differences can be seen between the baseline and reference scenario, the baseline seems to be somewhat easier than the reference scenario.

With increasing traffic, the PAD Executive Controller had the highest workload in the baseline condition. In peak situations the workload was rated „high“ and exceeds the „comfortable“ rating as shown in Figure 15. The solution condition was rated lower in workload, the lowest average workload was recorded in the reference scenarios. The results are not as clear for the PAD Planning Controller. The baseline was rated slightly higher than solution and reference scenarios, the overall ratings stayed between „relaxed“ and „comfortable“, even in peak times. Considering all measured positions, it should be noted, that the online results for workload are strongly linked to the number of aircraft on frequency.

Summing up the online data shows that at the PAD positions workload is lowest in the reference scenario and highest in the baseline scenario. The solution scenario is in between. For the Pick-up position workload is reduced with CMAN whereas for the Feeder it is

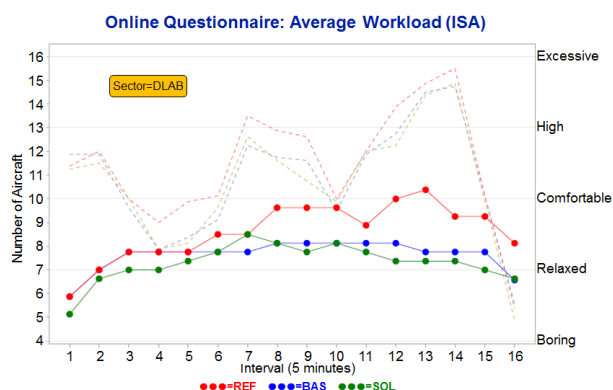


Figure 13: Online Workload Dusseldorf Pick-up

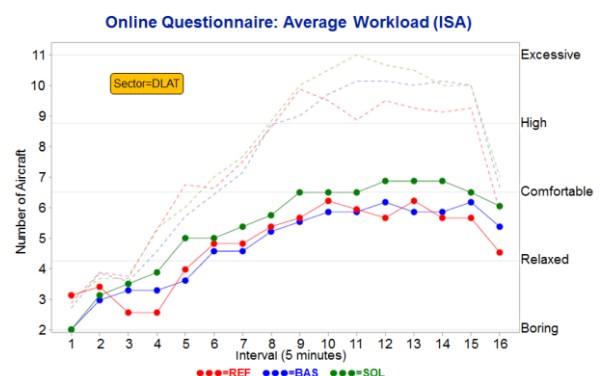


Figure 14: Online Workload Dusseldorf Feeder

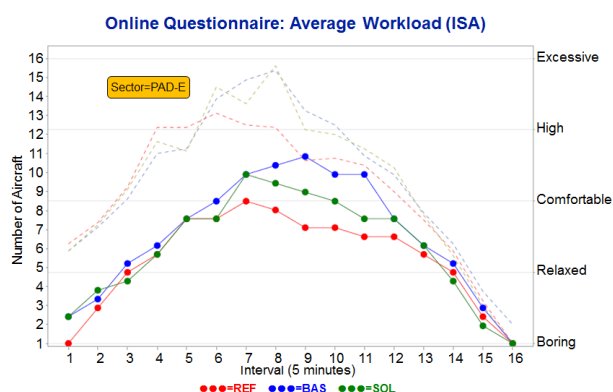


Figure 15: Online Workload PAD Executive Controller

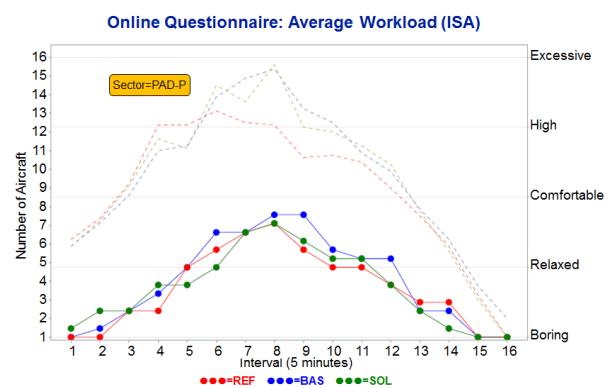


Figure 16: Online Workload PAD Planning Controller

increased in comparison to the other experimental conditions. Thus, CMAN reduced online workload only at the Pick-up position.

Additionally, a NASA-TLX questionnaire [4] was conducted in the Post-Run Questionnaire to give an overview of the experienced workload during the complete run. The questionnaire includes mental and temporal demand as well as own success, necessary effort and frustration during the task. The questions were answered on a ten-point scale (1=Low, 10= High). At the PAD positions workload was found to be lowest in the reference scenario. Workload with CMAN was higher but still lower than with extended AMAN only. At the Feeder position workload was highest with CMAN, however the frustration lowest. At the Pick-up position CMAN reduced the workload in comparison to the reference. However, the solution and baseline results are rather similar.

Finally, it can be summarised that objective and subjective workload at the Pick-up position is reduced with CMAN. NASA- TLX results reveal just little difference in workload between solution and baseline. Objective workload at the Feeder position with CMAN is only reduced in comparison to the reference scenario. In the baseline scenario even less and shorter R/T contacts are measured compared to the solution scenario. Opposed to this subjective workload is highest in the solution scenario. At the PAD positions objective as well as subjective data indicate lowest workload in the reference, followed by the solution and the baseline scenarios.

Concerning situational awareness it was expected that better information on the traffic situation and upcoming demand would lead to an improved situational awareness.

In the online questionnaire (rated every 5 minutes) controllers reported a very high situational awareness in all conditions throughout the whole exercise duration. No differences between the experimental conditions could be derived. Even during traffic peaks situational awareness was not reduced.

Situational awareness was also rated in the Post-Run Questionnaire using the standardised SASHA Situational Awareness questionnaire which was answered on 7 point scales (1= never, 7= always). The questionnaire showed a tendency in favour of extended AMAN and CMAN at the TMA positions, whereas the E-TMA positions slightly preferred the reference.

Simulation Results - Efficiency

Fuel burn would be a significant indicator to compare efficiency in the different scenarios. However, the main benefit mechanism with regard to efficiency of the overarching concept, i.e. the reduced speeds of the aircraft during their decent, is currently not captured by the IMPACT tool. Thus the objective results obtained with this tool might be misleading and will not be presented here.

The controllers rated their subjective feeling of efficiency in the Post-Run Questionnaire using a six point scale (1=fully disagree, 6= fully agree) (see Figure 17). In average the controllers had the feeling that traffic was controlled more efficiently in the solution than in the baseline. This was especially true for the E-TMA positions.

Questions on „I was able to control the traffic efficiently“

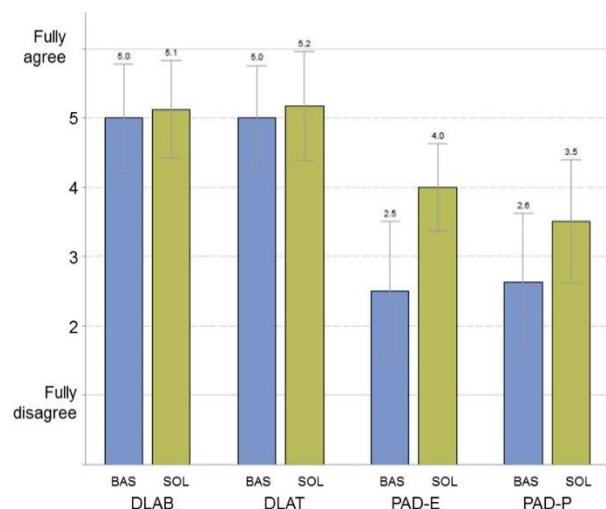


Figure 17: Subjective efficiency

Simulation Results - Environment

It was assumed that less path stretching and holding in the TMA would contribute to a reduction of noise levels in the vicinity of airfields. Therefore, noise impact was analysed for the area around Dusseldorf airport using the EUROCONTROL IMPACT tool. Standard vertical profiles were used for the calculation as no specific thrust information for the individual flight movements was available from the simulator. Flight profiles were considered until 6.000ft above ground for arrivals and 10.000ft for departures. Reference time was one hour, containing 45 aircraft movements.

No significant differences in the area of the average *Day Evening Night Sound Levels* (LDEN) for 50dB and 65dB contour for the various scenarios were found. The chosen noise levels are taken from [5]. Figure 18 shows an example of the LDEN50dB contour in light green and the LDEN65dB contour in red for a solution scenario.

The only differences which could be found are located in the approach area farer away from the airport around LDEN40dB and LDEN45dB. However, these differences are minimal and cannot be systematically attributed to the experimental conditions but rather depend on the individual way of working (mainly feeder) of the controllers in the respective scenario.

It appears that the reduction of the transition length does not have a significant impact on noise levels above LDEN40dB for the chosen airport. The noise situation is therefore not deteriorated by SESAR developments.

Simulation Results - Safety

During the exercise conflicts occurred in the PAD sector only. There was one conflict in the reference and four conflicts in the baseline scenario as shown in Table 1. However, conflicts number 3 and 5 were very close to the separation minima, most probably the situation was closely monitored.

Nr.	Condition	Scenario	Vertical separation (ft)	Lateral separation (NM)
1	Reference	A	881	4.3
2	Baseline	A	277	4.0
3	Baseline	A	939	1.6
4	Baseline	A	885	4.6
5	Baseline	B	934	4.9

Table 1: Conflicts

Considering the limited number of runs and recorded conflicts analysing the number of the separation infringements does not seem exhaustive to measure safety. Therefore, a subjective assessment via questionnaires and debriefing was conducted.

The questionnaire showed a tendency that the overall safety will remain stable with CMAN. The TMA positions considered that CMAN could even improve safety. This statement was not supported by PAD controllers. In the

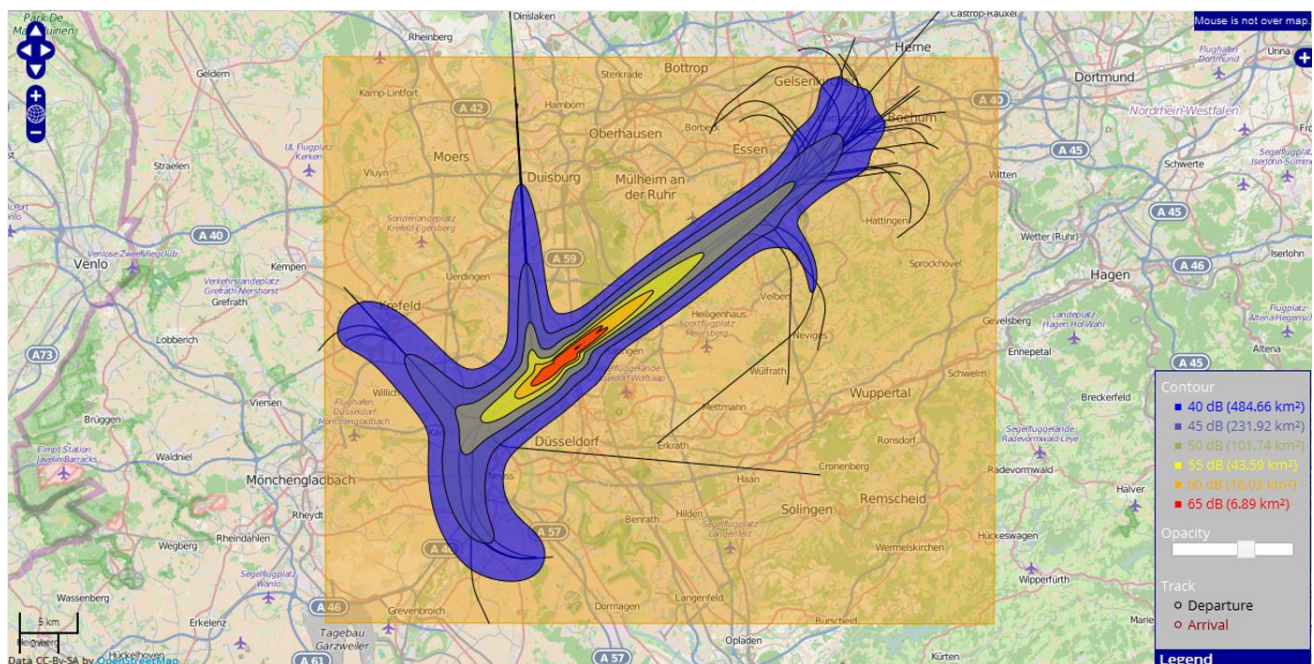


Figure 18: Noise contours for solution scenario

debriefing they argued that implementing TTL and vectoring aircraft may lead to new routes and crossing points where controllers cannot apply their standard strategies to solve potential conflicts but have to establish new solutions. The associated longer flight duration in the sector also bears a potential for additional conflicts. This is especially true for the baseline condition with extended AMAN only where PAD controllers have to implement the target TTL on their own. With CMAN these problems are reduced as En-route sectors start to implement TTL in their sectors and there is less TTL left and less need for vectoring in the PAD sector.

Generally safety with CMAN was rated better than with extended AMAN only, especially in the PAD sector. This is supported by the higher number of conflicts in the baseline and debriefing comments.

Conclusions and recommendations

Overall, the validation objectives of the exercise achieved the expectations. Capacity was maintained stable and traffic flows were harmonized with CMAN.

It was found that CMAN caused a shift in workload. In the scenarios with CMAN workload was shifted towards the upstream sectors. In the reference scenario, which corresponds to current working methods, the aircraft were handed over directly from the E-TMA sector PAD to the TMA without pre-sequencing which implied only a low level of workload for the E-TMA but a higher workload for the TMA. When using extended AMAN only, the E-TMA had a higher workload, as the controllers tried to implement as much TTL as possible. Due to the small sector size and high percentage in crossing traffic, there are not too many possibilities for TTL. When trying to implement TTL often new crossings and conflict points (in addition to the known ones) were caused. When using CMAN the E-TMA sectors experienced less workload than with extended AMAN as the adjacent sectors supported them and started the implementation of TTL in their airspace. Therefore, less TTL was left to be implemented in the E-TMA sectors. Still, this led to more workload than in the reference where no TTL had to be absorbed. With both extended AMAN and CMAN the TMA was relieved in comparison to the reference scenario as it received a better sequence from the E-TMA sectors. Even though some positions received more workload with CMAN the subjective workload level remained at a comfortable level in all measured sectors. As stated above the adjacent sectors were also affected by CMAN. However, there are no representative and valid measurements for the three adjacent sectors as they were simplified and partly combined for the exercise.

Even though measurements are not reported for this reason available online ratings suggest that the workload with CMAN remains at an acceptable level.

Situational awareness was very high in all experimental conditions. Both online questionnaires collected every 5 minutes and post run questionnaires revealed only marginal differences between the experimental conditions: TMA positions preferred working with CMAN, E-TMA controllers preferred the reference. This might be due to the fact that the reference does not add complexity to their airspace and it is easier to keep a clear traffic picture.

Especially in the E-TMA the controllers had the feeling that traffic was controlled more efficiently with CMAN.

Concerning aircraft noise in the vicinity of airports no difference in the area of the LDEN50dB(A) and LDEN65dB(A) contour was found. Slight variations in the LDEN45dB(A) and LDEN40dB(A) contours could not be attributed to the systems under test.

Less conflicts than in the other experimental conditions were counted with CMAN. Subjective ratings also imply that safety will at least remain stable. However, some controllers were worried about possible secondary conflicts when working with extended AMAN or CMAN. Vectoring of aircraft to implement TTL can lead to longer and unusual routes which bears a potential for additional conflicts. More detailed information on the exercise results can be obtained from [2].

Generally, the controllers were satisfied with CMAN and think that the implementation of the tool would be beneficial for current operations. CMAN was rated more useful than extended AMAN only, it was found that an implementation of extended AMAN with TTL calculated based on runway TTL only is not sufficient in this operational environment. In order to exploit the full benefits offered by the concept CMAN with additional TTL based on the expected load of PAD has to be employed allowing upstream sectors to support the implementation of TTL.

In order to improve information uptake and processing, suggestions were given during the debriefings. Together with the suggestions of the V2 exercise these will be realised as far as possible in the Step 2 V2 CMAN mock-up which is already under development and will be validated later within this project.

Abbreviations

AFS	Advanced Function Simulator
AIRAC	Aeronautical Information Regulation and Control
AMAN	Approach Manager
CMAN	Center Manager
DKAB	Cologne Feeder
DKAT	Cologne Pickup
DLAB	Dusseldorf Pickup
DLAT	Dusseldorf Feeder
DOMUX	Inbound fix for flights to Dusseldorf or Cologne
EDDK	Cologne
EDDL	Düsseldorf
E-TMA	Extended TMA
HMM	E-TMA sector Hamm
INBAX	Inbound fix for flights to Dusseldorf or Cologne
ISA	Questionnaire: Instantaneous Self-Assessment
LDEN	Day Evening Night Sound Level
NASA-TLX	Questionnaire: NASA Task Load Index
NM	Nautical Miles
OI	Operational improvement
PAD	Sector Paderborn
PTT	Push-to-talk
SASHA	Questionnaire: Situational Awareness
TMA	Terminal Area, or Terminal Control Area
TTL	Time to lose

References and Literature

[1]	Seidel, Bergner, Rüggeberg: „Center-Manager - Ein neuer Ansatz zur kombinierten Planung von An- und Abflügen auf mehreren Flughäfen“ In: „Innovation im Fokus 2/2014“
[2]	SESAR 05.04.02- DEL03 Step1 V3 VALR TS-0303, v00.01.00, December 2015
[3]	Jordan, C.S. & Brennan, S.D. (1992). An experimental report on rating scale descriptor sets for the instantaneous self-assessment (ISA) recorder. Defence Research Agency. Portsmouth.
[4]	Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.) Human Mental Workload (pp. 139-183). Amsterdam: North Holland Press
[5]	SESAR WP16.6.3, Environmental Reference Material, Edition 00.01.00, October 2015

Der „conceptdesk“ im DFS-Forschungszentrum – ein Lotsenarbeitsplatz „von übermorgen“ zum Anfassen

Jörg Buxbaum

Motivation

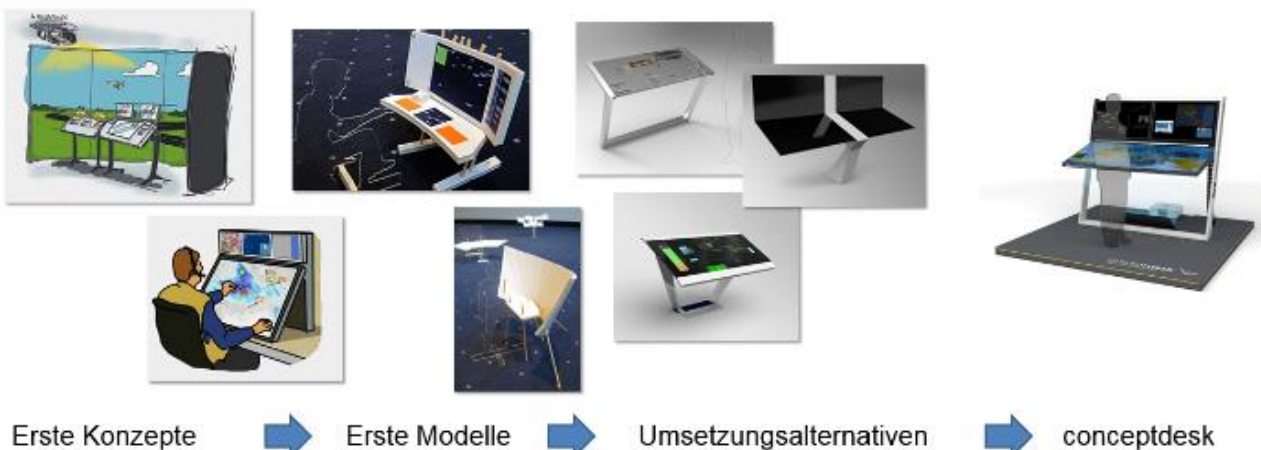
Seit Jahrzehnten erfährt der Arbeitsplatz von Fluglotsen der Streckenkontrolle eine schrittweise, vornehmlich auf Einzelelemente bezogene Entwicklung (s. z.B. [1]). Wesentliche Kriterien für die Gestaltung entspringen den isolierten Vorgaben der rund ein Dutzend verschiedenen flugsicherungstechnischen Systeme, die an diesem Arbeitsplatz zum Einsatz kommen: Luftlagedarstellung, Sprechfunk, Telefonie, Wetterinformationen usw. In wesentlichen Grundfunktionalitäten entspricht der heutige Arbeitsplatz dem von vor dreißig Jahren – einschließlich des quadratischen Hauptbildschirms, der diese Form hat, weil die Radarschirme früher rund waren und ein Quadrat diesen Kreis mit geringstem Flächenverbrauch zu umschließen vermag. Interessanterweise orientieren sich daran auch Sektorzuschnitte.

Die Trägheit der Entwicklung hat eine Ursache in der langen Nutzungsdauer von ATM-Systemen: Von Inbetriebnahme bis zur kompletten Erneuerung der Software und dazugehöriger Arbeitsplatzhardware (Tischkonstruktion samt Arbeitsplatzkonzept) können bis zu 20 Jahre vergehen. Kürzere Lebenszyklen wären finanziell nur sehr schwer zu stemmen, aufgrund der bestehenden, hohen Sicherheitsansprüche wären auch die damit verbundenen Änderungskonzepte und Sicherheitsnachweise sehr komplex und aufwändig. Übrigens gilt gleiches auch für die Luftfahrtseite: Luftfahrzeuge werden zum Teil mehr als 30 Jahre genutzt. Dies Phänomen ist also quasi „branchenüblich“.

In dieser langen Zeitspanne macht allerdings die parallele Entwicklung der technischen Möglichkeiten nicht halt. Getrieben von Innovationen insbesondere in der Unterhaltungsindustrie, aber auch Erkenntnissen aus Human Factors und anderen Disziplinen vergrößert sich mit der Nutzungsdauer der Arbeitsplätze die Kluft zwischen dem technisch Umsetzbaren und des in Betrieb befindlichen Human Machine Interface (HMI). Dabei liegen in der eingängigeren, integrierten Informationsdarstellung und ergonomischeren Interaktion hohe Potentiale für eine weitergehende Automatisierung der Flugverkehrskontrolle und eine Entlastung der kognitiven Ressourcen des Bedienpersonals.

Stellt man die lange Nutzungsdauer nicht in Frage, bliebe die Option eines technischen „Big Bang“ jeweils zum Ende des Lifecycle hin - der Etablierung einer jeweils zeitgemäßen Infrastruktur unter Berücksichtigung der technischen Möglichkeiten der jeweiligen Dekade zum Zeitpunkt der kompletten Systemerneuerung alle 15 bis 20 Jahre. Dies ist allerdings aufgrund des hohen, nachgewiesenen Sicherheitsniveaus der bisherigen Infrastruktur, des Neulandcharakters großer Änderungen, der gelebten Arbeitskonzepte und des potentiellen hohen Trainingsaufwandes für die Lotsen nur schwer umsetzbar.

Um die beschriebene inkrementelle Entwicklung des Lotsenarbeitsplatzes zu beschleunigen und insbesondere langfristig in die passende Richtung zu lenken, beauftragte die DFS Anfang 2014 einen Mockup für einen „Möglichen Lotsenarbeitsplatz der Zukunft“.



Motivation der Konzeptstudie ist, sich auf Basis einer „anfassbaren“, technisch hochmodernen und flexiblen Installation mit einer betrieblichen Zukunft zu beschäftigen, die anders aussieht als das, was derzeit und wohl auch die nächsten zehn Jahre bei der Flugsicherung in Betrieb ist.

Das Vorhaben „conceptdesk“ wurde als kooperatives Forschungsprojekt zwischen der DFS und dem Labor Industrial Design der Hochschule Osnabrück durchgeführt und mit SESAR-Mitteln unterstützt. Auslieferung und Endabnahme fand statt im Mai 2015 – gut ein Jahr nach Auftragserteilung.

Neu: Innovation durch Design

Entgegen bisheriger Entwicklungen am Lotsenarbeitsplatz wurde der Entwurf des „conceptdesk“ nahezu komplett in die Hände von User Interface Designern von der FH Osnabrück gelegt. Ziel war, echte Impulse „von außen“ zu ermöglichen und das Gewohnte auf vielen Ebenen zu verlassen. Der „conceptdesk“ sollte dazu schon durch sein Äußeres Freude bereiten, sich mit neuen technischen Möglichkeiten zu befassen und weitergehende oder konkretere Konzepte zu erschließen. Seine erklärte Funktion ist auch, Wissenschaftler wie Ingenieure, Fluglotsen und Manager emotional zu erreichen und für das potentiell technisch Neue zu begeistern. Der Mockup sollte auf verschiedenen Ebenen zur Kreativität einladen und dabei ruhig bunt und unkonventionell daherkommen. Die Funktion von professionellem User Interface Design bei der Förderung von Innovation sollte mit dem Mockup prominent platziert werden.



Abb. 1: Professor Thomas Hofmann von der FH Osnabrück am „conceptdesk“

Technische Ausstattung des „conceptdesk“

Die Hardware des Arbeitsplatzes besteht aus einer Visualisierungs- und Interaktionseinheit (Tischoberfläche, 1m x 2m) und einer Anzeigeeinheit (vertikal, 2 x 39“ Monitore mit Full-HD-Auflösung). Die Tischoberfläche wird durch eine Rückprojektion (lichtstarker Ultra-Kurzdistanz-Full-HD-Beamer) beleuchtet. Zur Detektion von Interaktionen kommen unterhalb der Tischplatte fünf Infrarotstrahler zum Einsatz, deren reflektierte Strahlen von vier Infrarotkameras erfasst werden.

Dadurch, dass viele Arbeitskonzepte des Flugsicherungsbetriebs zwei Fluglotsen im Team vorsehen, ist der „conceptdesk“ als Steharbeitsplatz für ein bis zwei Personen ausgelegt.

Das System wird komplett über Touch-Input bedient (siehe dazu auch [2]). Alle Bedienelemente sind darauf hin optimiert. Ergänzt wird das System durch eine Funktastatur als Fallback-Lösung.

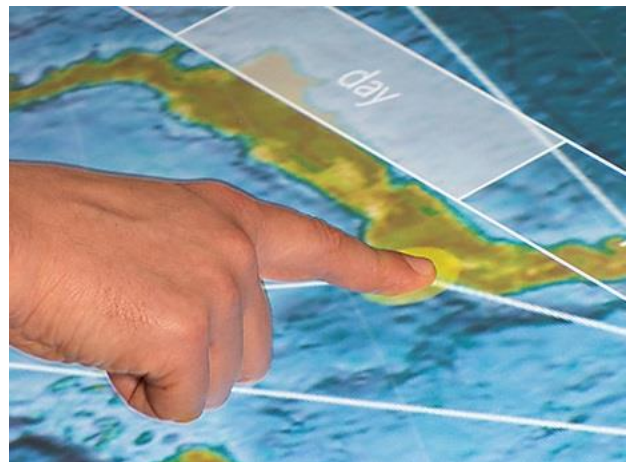


Abb. 2: Touch-Interaktion an einer Trajektorie (Foto: Hans-Jürgen Koch)

Einsatzgebiete

Aktuell findet der „conceptdesk“ seine erste Verwendung im SESAR-Projekt 5.4.2 („TMA-2 Co-Operative Planning Requirements and Validation“). Dort wird der Tisch für die Konzeption einer Planungsanzeige zur Unterstützung der Verkehrsflusssteuerung eines komplexen Multi-Airport Nahverkehrsbereichs eingesetzt.

Darüber hinaus konnten in einem DFS-internen Workshop vier Themen identifiziert werden, die künftig auf der experimentellen Lotsenarbeitsposition bearbeitet werden sollen (s. Tab. 1).

Generell wird der Einsatz des „conceptdesk“ darauf konzentriert sein, iterative Entwicklung und Validierung der entsprechenden Lösungen zu ermöglichen, beginnend mit rein grafischen Ansätzen bis hin zur Möglichkeit, diese technischen Lösungen im Rahmen von sehr einfachen ATC-Simulationen bzw. reinen Display- und Interaktionssimulationen zu testen und zu bewerten.

Arbeitsthema	Inhalte
Integrierter Lotsenarbeitsplatz auf Basis der Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt „iPort“	Entwurf von Lotsenarbeitsplätzen (Tower + Center), bei denen die für den Lotsen wichtigsten Informationen gemeinsam im primären Sichtfeld des Lotsen liegen. Display und Eingabemedium sollten keine „Brüche“ aufweisen und ggf. in einem Bildschirm zusammen angeboten werden. Die Anordnung von Systemkomponenten im HMI sollte zukünftig flexibel gestaltbar und unabhängiger von Herstellervorgaben und Systemkomponenten werden.
Arbeitsplatzgestaltung und Arbeitsweisen bei Umsetzung eines „Multi Remote Tower Concept“	Viele Fragen bzgl. der Zuständigkeit eines Lotsen für mehrere weit entfernte, von ihm zu kontrollierende Flughäfen sind noch unbeantwortet. Aspekte dieses „Multi Remote Tower Concept“ können in einer simulierten Arbeitsumgebung samt Außensicht untersucht werden.
Interaktives Display / Eingabealternativen im Rahmen von SESAR 2020 PJ16	Im Rahmen des SESAR-2020-Vorhabens „Workstation / Controller Productivity“ können am „conceptdesk“ Entwicklungen zu nutzerzentrierten und aufgabengerechten Mensch-Maschine Schnittstellen (Anzeige und Bedienung) betrieben werden. Ziel ist die Entwicklung von Lotsenarbeitsplätzen, Informationsdarstellungen und Bedienkonzepten der Zukunft.

Arbeitsthema	Inhalte
Ergonomisches HMI für „Sektorloses Air Traffic Management“ (S-ATM) im Rahmen des Projekts TeFiS	Entwicklung einer ergonomischen Darstellung für Flugverkehr mit dem Ziel, Handlungsbedarf im zukünftig ggf. sektorlos kontrollierten Luftraum für die Lotsen unmittelbar und sicher erkennbar werden zu lassen. Möglich wären auch Entwicklungen von optimierten Darstellungen von Verkehrsströmen zur Verbesserung von Verkehrsstromsteuerungen und Kapazitätsanpassungen.

Tab. 1: Themen für die Erarbeitung am „conceptdesk“

Ausblick

Über die konkret ermittelten Einsatzfelder hinaus besteht die Option, den „conceptdesk“ durch „Aufrüstung“ seiner Hardware und Entwicklung der entsprechenden Softwareansteuerung für die Untersuchung weiterer, ggf. noch radikalere Gestaltungsansätze zu nutzen.

Beispielhaft sei hier die Nutzung von „Tangible User Interfaces“ genannt – physische Interaktionselemente, die aufgrund der zugrundeliegenden Haptik eine Verringerung der Head-Down-Zeiten und eine sehr flexible, ergonomische Interaktion des Lotsen mit seiner Arbeitsumgebung erwarten lassen (siehe dazu auch [3]).

Würdigung

Im August 2015 wurde der „conceptdesk“ in der Sparte „Communication Design“ mit dem Preis „Red Dot Award 2015: Best of the Best“ ausgezeichnet. Der Preis prämiiert Design-Entwicklungen besonders hoher Gestaltungsqualität. In diesem Jahr erhielten von knapp 7500 vorgeschlagenen Produkten nur 82 diese Auszeichnung.



reddot award 2015
best of the best

Literatur

[1]	Iris Breitruck: „Potenziale marktüblicher Computermonitore für die Luftlagedarstellung“. In: „Innovation im Fokus 2/2014“
[2]	Dr. Konrad Hagemann, Andreas Udovic: „Bewertung von Multi-Touch Gesteneingaben am Lotsenarbeitsplatz“. In: „Innovation im Fokus 1/2014“
[3]	Nagel, T., Heidmann, F., Condotta, M., Duval, E.: „Venice Unfolding: A Tangible User Interface for Exploring Facetted Data in a Geographical Context“. NordiCHI 2010, October 16–20, 2010, Reykjavik, Iceland. Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction, pages 743-746, ACM



Abb. 3: Dr. Jörg Bergner, Jörg Buxbaum und Thomas Rüggeberg (v.l.) vor dem neu konzipierten, experimentellen „conceptdesk“ (Foto: Hans-Jürgen Koch).

Forschungsprojekt KoKo: Kollisionserkennung und -vermeidung von nichtkooperativen Teilnehmern des Luftverkehrs

Andreas Udovic, Dr. Andreas Herber, Jürgen Vielhauer

Hintergrund

Im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms der Bundesregierung wurde das Vorhaben KoKo (Kollisionserkennung – Kollisionsvermeidung) gefördert. Durch ein in diesem Vorhaben entwickeltes „Sense & Avoid-System“¹ sollen auch nicht-kooperative Teilnehmer des Luftverkehrs, z.B. Segelflugzeuge, erkannt und eine Kollision verhindert werden. Das Vorhaben wurde von den Herstellern Airbus Defence & Space und Becker Avionics GmbH bearbeitet. Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, die TU Braunschweig (Institut für Flugführung) und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) arbeiteten als Unterauftragnehmer ebenfalls an diesem Projekt mit. Das Projekt wurde von 01.01.2012 bis zum 31.03.2015 durchgeführt.

Einleitung

Das Verbundvorhaben KoKo widmete sich der Untersuchung, Entwicklung und Demonstration eines Unterstützungssystems für die Piloten von Geschäftsreise- und Verkehrsflugzeugen, um frühzeitig Kollisionsgefahren zu erkennen und zu vermeiden.

Das System KoKo soll unter Berücksichtigung bestehender ATM/ATC-Regulierungen durch die Hinzunahme von bordseitigen, nicht-kooperativen Radarsensoren eine verbesserte Konflikterkennung sowie erhöhtes Situationsbewusstsein und damit sicherere Luftraumnutzung erzielen. Das vorgeschlagene Zielsystem soll vor entgegenkommenden Verkehr warnen und berechnet automatisch Ausweichlösungen, die der Besatzung vorgeschlagen werden.

Dabei sollen mittels Nutzung kombinierter Daten von flugzeugseitigen Sensoren kooperative (z.B. mit Mode-S Transponder und/oder ADS-B ausgestattete) sowie nicht-kooperative (kein Mode-S Transponder/ADS-B) Luftfahrzeuge erkannt werden. Als flugzeugseitige

Sensoren und damit Datenquellen werden angenommen:

- Airborne Collision Avoidance System (ACAS) sowie SSR-Transponder (Mode S),
- ADS-B und
- Detektion und Tracking von umgebenden Luftfahrzeugen mit Hilfe eines Radar-Sensors.

Für die Einbindung in den bestehenden Luftverkehr sollte eine Betrachtung von Flugverfahren und ATM/ATC-Prozeduren erfolgen.

Ein wesentliches Ziel des Projektes lag in der Entwicklung und Verwendung geeigneter Sensoren zur frühzeitigen Detektion von Kollisionsgefahren.

Ein Aufgabenschwerpunkt des Projektes betraf die Integration der Systeme in einer Simulationsumgebung. In einem zweiten Schritt wurde das KoKo-System zu Testzwecken am Boden installiert und Anflüge mit einem Versuchsflugzeug durchgeführt. Ziel war es, die Funktionsfähigkeit zu demonstrieren und die zu erwartenden Systemleistungen zu bewerten.

Ein ebenso zu berücksichtigender Aspekt war die Erfassung von unbemannten Luftfahrzeugen. Diese werden zukünftig auch in den Bereichen "Remote Sensing" (Fernerkundung, hier z.B. durch Auswertung des elektromagnetischen Spektrums), Kommunikation und Lufttransport an Bedeutung gewinnen.

DFS-Arbeiten im Projekt

Im Rahmen des Projektes wurden für die DFS folgende Hauptaufgaben definiert und vertraglich vereinbart:

- **Erstellung eines operationellen Konzepts (CONOPS):**
In Kooperation mit den Partnern wurde ein operationelles Konzept für die Kollisionserkennung und -vermeidung erarbeitet. Aus diesem Konzept wurden operationelle Anforderungen abgeleitet. Ziel war es, die sich ergebenden Schnittstellen zu

¹ *See and Avoid* ("sehen und ausweichen") bezeichnet ein allgemeines Prinzip eines Piloten im Flugverkehr um Kollisionen zu vermeiden. *Sense and Avoid* bezeichnet die Umsetzung dieses Prinzips mit technischen Mitteln.

aktuellen Entwicklungen im Bereich ATM, basierend auf bestehenden Programmen, wie z.B. SESAR, NextGen, CARATS etc., zu identifizieren und im operationellen Konzept zu berücksichtigen.

- **Durchführung einer operationellen Sicherheitsanalyse:** Nachdem eine Bedrohungsanalyse auf Basis des operationellen Konzepts durchgeführt wurde, wurden darauf aufbauend erste Sicherheitsanforderungen an das Gesamtsystem abgeleitet. Sie wurden bei der Systementwicklung und dem Systemdesign berücksichtigt. Basierend auf den Ergebnissen der Validierung aus der Simulation und den Flugtests wurde dann eine erste Sicherheitsanalyse durchgeführt.
- **Validierung:** Zur Validierung des CONOPS und als Input für die Sicherheitsbetrachtung wurden zum einen die Ergebnisse der Simulationen ausgewertet, welche vom DLR in Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig durchgeführt wurden. Zum anderen wurden die durchgeführten Flugversuche ausgewertet. Die DFS war an der Vorbereitung beider Kampagnen beteiligt.

Die Arbeiten der DFS wurden in enger Kooperation mit dem Projektleiter von Airbus Defence & Space sowie mit den anderen Projektpartnern durchgeführt.

CONOPS-Erstellung

Grundlage des Konzepts für die Kollisionserkennung und -vermeidung waren zwei Workshops mit den Projektbeteiligten, die im Jahr 2012 durchgeführt wurden, um Szenarien zu definieren, die die Anforderungen an das Kollisionswarnungs- und -vermeidungssystem begründeten.

Im ersten Workshop wurden die bestehenden Regulierungen sowie die zukünftigen Verfahren zur Kollisionsvermeidung in der Luftfahrt vorgestellt. Dabei wurden die ATM-Grundlagen skizziert, die auch prozedurale Verfahren zur Kollisionsvermeidung beinhalteten. Des Weiteren wurde das älteste Konzept zur Kollisionsvermeidung „See and Avoid“ umrissen und dessen Grundlagen erläutert. Ferner wurden technische Systeme zur Unterstützung des Piloten bei der Kollisionsvermeidung vorgestellt (z.B. TCAS, ADS-B). Die Rolle der Flugsicherung für die Kollisionsvermeidung wurde ebenfalls dargestellt. Als Ergebnis wurden drei Szenarien definiert, die im Rahmen des Projektes weiter untersucht werden sollten:

- Szenario 1: Businessjets, die nach VFR-Bedingungen fliegen und mit ihrem KoKo-System

andere Luftfahrzeuge, die nach VFR fliegen, detektieren und entsprechend ausweichen können. Dieses Szenario sollte mittels Simulation und Flugversuch validiert werden.

- Szenario 2: Businessjets, die nach IFR-Regeln fliegen und mit dem KoKo-System andere Luftfahrzeuge, die nach VFR fliegen, detektieren und entsprechend ausweichen können. Eine Kombination mit TCAS und ADS-B ist möglich. Auch dieses Szenario sollte mittels Simulation und Flugversuch validiert werden.
- Szenario 3: Hier wurden zwei Flugzeuge betrachtet, die unter IFR-Bedingungen fliegen. Zu erwarten ist, dass die Flugzeuge hier vor allem über ihr Kollisionsvermeidungssystem miteinander interagieren. In diesem Szenario wird ein geringer Nutzen vom KoKo-System erwartet, da die vorhandenen Systeme, wie TCAS, als zuverlässig angenommen werden. Dieses Szenario wurde daher nur theoretisch beschrieben und nicht validiert.

Im zweiten Workshop wurden neue Verfahren zur Kollisionsvermeidung vorgestellt, die im Rahmen von Programmen wie SESAR oder NextGen entwickelt werden (z.B. „Sektorlose Flugverkehrskontrolle“). Des Weiteren wurden die definierten Szenarien verfeinert und die Anforderungen an das System definiert. Ebenso wurden weitere Überlegungen zu der möglichen Validierung des KoKo-Systems und der dabei zum Einsatz kommenden Szenarien vorgenommen.

Operationelle Sicherheitsanalyse

Im ersten Schritt der operationellen Sicherheitsanalyse wurde eine Bedrohungsanalyse auf Basis des bisherigen operationellen Konzepts durchgeführt. Daraus wurden Sicherheitsanforderungen an das Gesamtsystem abgeleitet, z.B. bezüglich der Funktionen, der Leistungsfähigkeit und angewendeten Verfahren. Die Sicherheitsanforderungen führten zu einer iterativen Entwicklung des CONOPS [1] und lieferten Input für die Systementwicklung und für das Systemdesign. Basierend auf den Ergebnissen der Validierung aus der Simulation und den Flugtests wurde dann eine Sicherheitsanalyse durchgeführt. Als Resultat wurden so eine erste Risikoabschätzung erstellt und Anforderungen zur Risikoverringerung abgeleitet.

Innerhalb der Bedrohungsanalyse wurden zunächst die möglichen Bedrohungen identifiziert, die durch das neue System entstehen können bzw. die durch das

neue System positiv beeinflusst werden könnten. Insgesamt wurden durch die beteiligten Partner diverse Auswirkungen auf die Sicherheit identifiziert. Beispielhaft sind folgende Auswirkungen zu nennen:

- B01: Das KoKo-System reduziert die Wahrscheinlichkeit für Zusammenstoß / gefährliche Annäherung zwischen dem mit KoKo-System ausgestatteten und anderen Luftfahrzeugen
- B03: Es können widersprüchliche Anweisungen von KoKo-System und Flugverkehrskontrolle bestehen
- B05: Neue Symbole auf dem HMI können zur Erhöhung der Komplexität führen
- B08: Das KoKo-System kann regelkonformes Verhalten erleichtern
- B10: Das KoKo-System kann falsche Ausweichempfehlung geben
- B12: Das KoKo-System könnte das Luftfahrzeug aus der *Performance Envelope* führen
- B04: Das KoKo-System kann Empfehlungen geben, die nicht den Regeln der „good airmanship“² entsprechen
- B15: Möglich schädliche Effekte der Radarstrahlung
- B16: Fehllarme
- B17: Das KoKo-System gibt die Ausweichempfehlung zu spät, diese fällt dann zeitlich zusammen mit der TCAS-Ausweichanweisung
- B25: Es kann komplizierte Situationen geben, die das KoKo-System zwar nach Regeln, aber deutlich suboptimal löst
- B35: „Rules of the Air“ werden vom KoKo-System falsch angewandt, da Intruder mit Priorität nicht als solche erkannt werden

Alle Bedrohungen wurden beschrieben und die möglichen Auswirkungen erfasst. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden die Anforderungen an das KoKo-System definiert. Es werden 5 dieser 35 Auswirkungen als positive Effekte erwartet. Vor allem wird erwartet, dass die Wahrscheinlichkeit für Zusammenstöße zwischen dem mit KoKo-System ausgestatteten und anderen Luftfahrzeugen durch das KoKo-System verringert wird (Auswirkung B01). Auf Grundlage der Auswertung der Simulationsdaten (siehe nächster Abschnitt) konnte eine positive Tendenz bestätigt

werden. Die statistische Auswertung der Daten konnte zeigen, dass die Verfügbarkeit des KoKo-Systems im Cockpit tendenziell dabei hilft, Konflikte früher zu erkennen und zu lösen; im Mittel war der Abstand zwischen Luftfahrzeug und Gegner bei einer Ausstattung mit KoKo-System um 0,5 NM größer als wenn ein KoKo-System nicht zur Verfügung stand.

Erste Validierung des KoKo-Systems

Im Laufe des Projekts wurden zum einen eine Simulationsstudie zur HMI-Bewertung und Human Factors-Evaluation und zum anderen Flugversuche mit einem Demonstrator des KoKo-Systems durchgeführt.

Die Simulationsstudie wurde beim DLR in Braunschweig in Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig durchgeführt. Dazu wurde die KoKo-Systemsoftware an einen Cockpitsimulator des DLR angeschlossen. Die Ergebnisse der Berechnungen des KoKo-Systems wurden im Cockpit dargestellt, und die Versuchsteilnehmer wurden gebeten, eine Bewertung der Lösungsvorschläge vorzunehmen. An dem Versuch nahmen Piloten des DLR teil. Wie bereits im Abschnitt über die Sicherheitsbewertung berichtet, konnte ein positiver Effekt durch das KoKo-System nachgewiesen werden.

Basierend auf den Ergebnissen der Simulation wurden die finalen Flugversuche durchgeführt. Dazu wurde die Systemsoftware nochmals überarbeitet. Für die Flugversuche wurde das KoKo-System dann aber nicht auf einer fliegenden Plattform betrieben, sondern auf einer geeigneten erhobenen Position am Boden, um Störungen im Nahbereich zu verhindern. Danach wurden Anflüge mit einem Versuchsflugzeug durchgeführt.

Für die Flugversuche wurde ein Demonstrator eines neu entwickelten Radarsystems der Firma Airbus Defence & Space auf der Burg Hohenneufen installiert. Zusammen mit einem ADS-B-Empfänger diente dieses Radargerät als Sensor des KoKo-Systems. Von hieraus sollten mit Hilfe des KoKo-Systems potentielle Konflikte mit anderen Flugzeugen (Intrudern) erkannt werden. Als Intruder diente ein Forschungsflugzeug der TU Braunschweig (s. Abb. 1). Um eine systematische Erprobung des KoKo-Systems zu ermöglichen, wurden im Vorfeld 35 verschiedene Flugszenarien (z.B. Anflug

² Definition des Begriffs „Airmanship“ lt. [4]: „Airmanship ist die konsequente Nutzung von gutem Urteilsvermögen und gut entwickelten Fähigkeiten um fliegerische Ziele zu erreichen.“

auf das Radargerät aus verschiedenen Winkeln, Kreisflug oder Querabflug) definiert.



Abb. 1: Radar-Frontend mit Intruder-Flugzeug (Quelle: [5])

Um die Versuche durchführen zu können, wurde eine Tieffluggenehmigung eingeholt. Ebenso wurden die Versuche mit der DFS Niederlassung Langen koordiniert, da ein Teil der Anflüge den Rand der Kontrollzone des Flughafens Stuttgarts berührten.

Um die Flüge auswerten zu können, wurden die Radardaten der Flugversuche durch die DFS aufgezeichnet (siehe Abbildung 2). Die Flugversuche wurden vom 10. bis zum 12.03.2015 durchgeführt. Bedingt durch Probleme mit der Datenqualität konnten nicht alle Ziele der Flugkampagne (Verwendung geeigneter Sensoren zur frühzeitigen Detektion von

Kollisionsgefahren) erreicht werden, siehe auch folgenden Abschnitt.

Fazit

Die Ergebnisse der Simulationen und der Flugversuche wurden in einem letzten Workshop mit Schwerpunkt auf Auswirkungen auf die Sicherheit zusammengetragen. Das Ergebnis der Validierung lässt sich wie folgt zusammenfassen (siehe auch [4]):

- **Sensoren:** Das Radar hat im Praxistest gut funktioniert, wenn auch mit eingeschränkten Erfassungswinkeln. Es war innerhalb einer Entfernung von 4 km genau, allerdings ergaben sich einige Lücken in der Abdeckung und viele Nebenziele. Auch die Genauigkeit der ADS-B-Positionsdaten war sehr gut, allerdings abhängig von der Ausrüstung der Luftfahrzeuge und der mitgeteilten Genauigkeit der Positionsdaten. TCAS wurde bei den Flugversuchen nicht benutzt, da das Zusammenspiel von TCAS-Ausweichanweisungen mit Empfehlungen des KoKo-Systems prozedural nicht umfänglich definiert war. Allerdings gab es eine fehlerhafte Datenfusion von Radar und ADS-B aufgrund von Problemen bei der Synchronisation von Radar-, Ownship- (eigene Position) und ADS-B-Daten. Grund war die vom Flugzeug gemeldete zu hohe Unsicherheit der Positionsdaten. Über ein Durchspielen der Daten mit einer geringen Unsicherheit der Positionsdaten konnte nachträglich

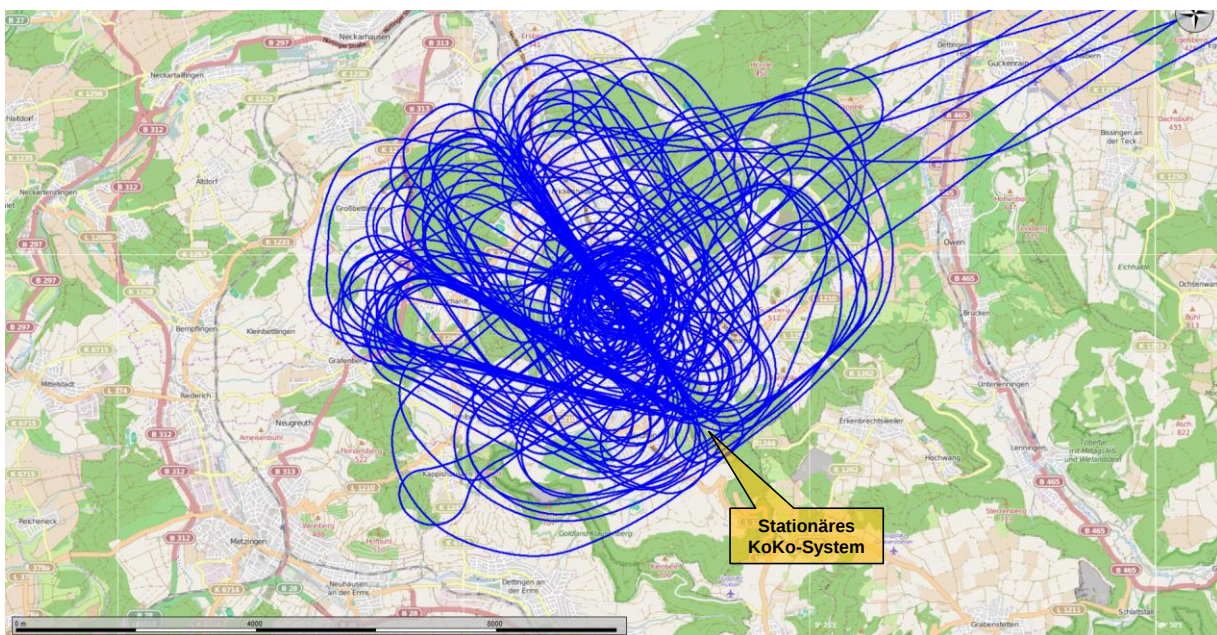


Abb. 2: Flugspuren der Anflüge des Versuchsflugzeugs der TU BS auf das stationäre KoKo-System

noch eine korrekte Fusion von Radar und ADS-B Kontakten erzielt werden.

- **AVOID-Funktion und HMI:** Auf Grund der nicht ausreichenden Qualität und teilweisen Instabilität der Daten war eine Bewertung des Avoid-Moduls derzeit noch nicht möglich. Akustische Warnungen wurden von mehreren Piloten als sinnvoll beurteilt, waren aber noch nicht implementiert. Allgemein wäre eine Vereinfachung des HMI wünschenswert. Für eine abschließende, belastbare Bewertung wäre aber ein stabileres System notwendig.
- **Verfahren:** In den Simulationen sind die Piloten manchmal schon vor der Konflikterkennung ausgewichen (zum Vergleich: Bei TCAS ist den Piloten ausdrücklich empfohlen, nur auf eine Ausweichanweisung und nicht allein aufgrund einer Verkehrsanzeige ein Ausweichmanöver zu initiieren [2]). Die Piloten bevorzugen klarere Anweisungen, wie sie unterschiedliche Konfliktsituationen effektiv lösen können. Sich verändernde Empfehlungen haben die Piloten eher irritiert, als dass sie sie unterstützt hätten.

Literatur

[1]	Projekt KoKo, Betriebskonzepte zur Kollisionsvermeidung, Dezember 2012
[2]	ICAO, PANS-OPS (Doc. 8168), Kapitel 3.2
[3]	Projekt KoKo, Operationelle Sicherheitsanalyse, Juli 2015
[4]	Anthony Kern: Redefining Airmanship, McGraw-Hill (ISBN-10 0070342849)
[5]	Entwicklung eines Radarsystems zur Kollisionserkennung/Kollisionsvermeidung, Abschlussbericht, LuFo FKZ20V1107A

Abkürzungen

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance - Broadcast
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
CARATS	Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
IFR	Instrument Flight Rules
KoKo	Kollisionserkennung und Kollisionsvermeidung
NextGen	Next Generation Programme (→ FAA)
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme (→ EU)
SSR	Secondary Surveillance Radar
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
VFR	Visual Flight Rules

Innovation im Fokus Informationen zu Forschung, Entwicklung und Validierung

Innovation im Fokus erscheint halbjährlich und beschäftigt sich bevorzugt mit Informationen zu Forschung, Entwicklung und Validierung mit Beteiligung DFS Deutsche Flugsicherung GmbH. Diese Ausgabe ist elektronisch im Internet (www.dfs.de > [Flugsicherung](#) > [F&E](#) > [Service](#)) sowie über das DFS Intranet verfügbar. 60 Exemplare werden in gedruckter Form aufgelegt.

Wie auch der Vorgänger-Zeitschrift „TE im Fokus“ wurde dieser Zeitschrift von der Deutschen Bibliothek eine ISSN (International Standard Serial Number) zugeteilt:

Printversion: ISSN 2198-8951 (vormals: 1861-6364)

Internet-Version: ISSN 2198-896X (vormals: 1861-6372)

Datum dieser Ausgabe: 08.12.2015

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 © 2015 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.



Impressum

Innovation im Fokus

Informationen zu Forschung,
Entwicklung und Validierung

Herausgeber:

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

Günter Achatz, Ralf Bertsch,
Bereichsleitung Planung & Innovation

Redaktion:

Dr. Andreas Herber
Tel. +49 (0)6103 707 5781
E-Mail: andreas.herber@dfs.de

Dr. Morten Grandt
Tel. +49 (0)6103 707 1139
E-Mail: morten.grandt@dfs.de

Dr. Konrad Hagemann
Tel. +49 (0)6103 707 5745
E-Mail: konrad.hagemann@dfs.de

Oliver Haßa
Tel. +49 (0)6103 707 5762
E-Mail: oliver.hassa@dfs.de

Stefan Tenoort
Tel. +49 (0)6103 707 5769
E-Mail: stefan.tenoort@dfs.de

Anschrift der Redaktion:

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
Redaktion Innovation im Fokus
Am DFS-Campus 5
63225 Langen
E-Mail: forschung@dfs.de

Nachdruck nur mit Genehmigung.

