

2/10

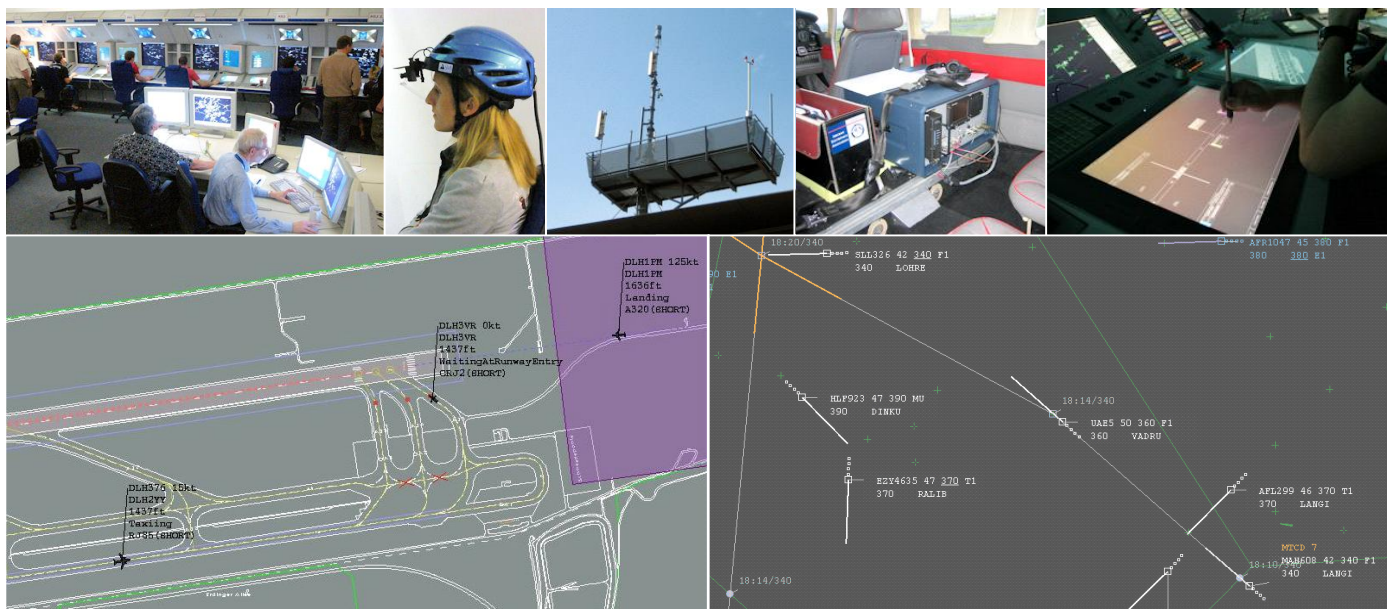
24.11.2010

TE *im Fokus*

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

In dieser Ausgabe:

- Validierung des prätaktischen Systemverbundes CAPMAN/CLOU am Flughafen Frankfurt
- Vorhaben CATO – Betriebliche Nutzbarkeit von Controller-Tools für den unteren Luftraum
- Der neue iPort-Experimentalplatz
- Untersuchung zur Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen in Kroatien
- Realzeitsimulation im Rahmen des Forschungsprojektes QAI („QICE ATM Integration“)



DFS Deutsche Flugsicherung

Inhalt

Abstracts der Heftbeiträge	2
---	----------

Katharina Schwentek

Validierung des prätaktischen Systemverbundes CAPMAN/CLOU am Flughafen Frankfurt	3
---	----------

Eliana Haugg, Dr. Andreas Herber, Stephan Herr

Vorhaben CATO – Betriebliche Nutzbarkeit von Controller-Tools für den unteren Luftraum	13
---	-----------

Andreas Türk, Oliver Rühl, Thomas Rüggeberg

Der neue iPort-Experimentalplatz	19
---	-----------

Andreas Udovic, Prof. Dr. Joachim Vogt

Untersuchung zur Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen in Kroatien	21
--	-----------

Julia Gundermann, Stefan Schwanke

Realzeitsimulation im Rahmen des Forschungsprojektes QAI („QICE ATM Integration“)	25
--	-----------

Impressum	36
------------------------	-----------



Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
ist nach DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert.

Abstracts der Heftbeiträge

Katharina Schwentek: Validierung des prätaktischen Systemverbundes CAPMAN/CLOU am Flughafen Frankfurt

Die Kapazitätsgrenzen an Flughäfen sind häufig erreicht oder werden es in den kommenden Jahren voraussichtlich sein. In diesem Zusammenhang wurde ein prätaktisches Planungstool, der Cooperative Local Resource Planner (CLOU) entwickelt. In Frankfurt wird in Kooperation mit Fraport der Systemverbund CAPMAN/CLOU aufgebaut (CAPMAN, Capacity Manager, liefert als ebenfalls ebenso prätaktisches Planungsinstrument Kapazitätsprognosen sowie eine Priorisierungsstrategie für Frankfurt). Der Bericht beschreibt die durchgeführten Feldversuche auf dem Tower Frankfurt, in denen Defizite des Prototyps als auch Hinweise für die Weiterentwicklung des Systemverbundes ermittelt wurden. Detaillierte kritische Rückmeldungen vom operativen Personal werden ebenfalls in die Weiterentwicklung einfließen. Das grundlegende Ziel ist, den Systemverbund für das kommende 4-Bahn System in Frankfurt vorzubereiten.

Eliana Haugg, Dr. Andreas Herber, Stephan Herr: Vorhaben CATO – Betriebliche Nutzbarkeit von Controller-Tools für den unteren Luftraum

CATO (Controller Assistance Tools) ist ein Vorhaben der DFS zur Bewertung der betrieblichen Nutzbarkeit von neuen Systemfunktionalitäten zur Lotsenunterstützung für den unteren Luftraum. Der Bereich F&E hat erste technische Umsetzungen entwickelt, welche durch operatives Personal der NL München und Bremen bewertet wurden. Die Demonstration und Bewertung des betrieblichen Nutzens wurde sowohl am AFS (Advanced Function Simulator) des Bereichs TE als auch in der P1/ATCAS Umgebung des LSS (Local Support System) der Niederlassung Langen durchgeführt. Dieser Beitrag beschreibt die erstellten Funktionalitäten und die Ergebnisse der Demonstrationen.

Andreas Türk, Oliver Rühl, Thomas Rüggeberg: Der neue iPort-Experimentalplatz

Im aktuellen Verbundvorhaben iPort (Innovativer Airport) wurde ein Experimentalarbeitsplatz für eine Tower-Simulationsumgebung mit einer eigenen Sichtkomponente konzipiert, mit dem es in Zukunft möglich ist, neue Technologien an einem flexibel konfigurierbaren Lotsenplatz in Realzeitsimulationen evolutionär zu entwickeln. Der Artikel stellt diesen Arbeitsplatz und seine Verwendung vor.

Andreas Udovic, Prof. Dr. Joachim Vogt: Untersuchung zur Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen in Kroatien

Im Jahre 2008 wurde der Bereich Aeronautical Solutions der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) beauftragt, eine Untersuchung zur Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen in Kroatien durchzuführen. Auftraggeber war die kroatische Flugsicherung (CCL), wobei die Gewerkschaft der kroatischen Fluglotsen von Beginn an in die Untersuchungen mit einbezogen worden war. Die Vorgehensweise bei der Untersuchung soll in diesem Artikel vorgestellt werden.

Julia Gundermann, Stefan Schwanke: Realzeitsimulation im Rahmen des Forschungsprojektes

QAI („QICE ATM Integration“)

Der Beitrag beschreibt Simulationsdesign und Ergebnisse einer im November 2009 durchgeführten einwöchigen Realzeitsimulation im Rahmen des national geförderten Forschungsprojektes QAI. Gegenstand war die Untersuchung eines kurzstartfähigen Luftverkehrskonzeptes für den Punkt-zu-Punkt-Kurzstreckenbetrieb. Zweck des analysierten Verkehrssystems ist eine Verringerung der Umweltauswirkungen des Luftverkehrs sowie eine Steigerung der Transportleistung und Effizienz des Gesamtsystems unter gleichzeitiger Beibehaltung des derzeit sehr hohen Sicherheitsniveaus.

Validierung des prätaktischen Systemverbundes CAPMAN/CLOU am Flughafen Frankfurt

Katharina Schwentek, TE/A

1. Einleitung

An europäischen Hub-Flughäfen gewinnt eine effiziente Verkehrsabwicklung immer mehr an Bedeutung. Die Kapazitätsgrenzen der Infrastruktur sind häufig erreicht oder werden es in den kommenden Jahren voraussichtlich sein. Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit, die vorhandene Infrastruktur bestmöglich auszunutzen und die Kapazitäten auszubauen.

In diesem Zusammenhang wurde ein prätaktisches Planungstool, der Cooperative Local Resource Planner (CLOU) entwickelt. Der CLOU soll lokal an einem Flughafen zum Einsatz kommen und auf Basis von Nachfrage- und Kapazitätsprognosen mögliche Engpasssituationen auf dem Start- und Landebahnsystem (SLB) aufdecken. Dabei werden die Wechselwirkungen zwischen An- und Abflugströmen berücksichtigt. Mit dem Vorschlag einer optimierten Bahnnutzungsstrategie für die nächsten zwei bis sechs Stunden soll der CLOU dahingehend unterstützend wirken, solchen Engpasssituationen proaktiv entgegenzuwirken.

Durch die Betrachtung der Verkehrssituation an einem Flughafen und einem Planungshorizont von mindestens zwei Stunden kann der CLOU die Lücke zwischen der übergeordneten Steuerung der CFMU und den eingesetzten taktischen Systemen wie AMAN oder DMAN schließen.

Der CLOU wird für die Flughäfen Frankfurt und München stetig weiterentwickelt, wobei die Flugplaninformationen von STANLY_CDM geliefert werden. In Frankfurt wird in Kooperation mit Fraport der Systemverbund CAPMAN/CLOU aufgebaut. CAPMAN steht für Capacity Manager und stellt ebenfalls ein prätaktisches Planungsinstrument dar, das eine Kapazitätsprognose sowie Priorisierungsstrategie für Frankfurt liefert. In München wird derzeit mit einer Standardkapazität gearbeitet, die ggf. manuell an die realen Gegebenheiten angepasst werden kann. Zur Zeit liegt der Entwicklungsschwerpunkt auf dem Flughafen Frankfurt.

1.1 Historie

Im Rahmen von K-ATM¹ (Lufo III, 2003-2007) wurde ein erster Prototyp aufgebaut und unter WFF¹ (Lufo IV, 2007-2010) und anschließend iPort¹ (Lufo IV, 2010-2012) stetig weiterentwickelt. Die Verantwortung trägt die DFS (Bereich Forschung und Entwicklung). Die TU Dresden liefert im Unterauftrag den Optimierungskern FMAN (Flow Manager), die TU Braunschweig entwickelt das HMI sowie eine Datenbank, welche erforderliche statische (z.B. SID, STAR, Rollzeiten) und dynamische Informationen (z.B. Flugplan, Kapazität) bereitstellt.

Nachdem der Prototyp im Rahmen von Labortests umfangreich untersucht wurde, sollte anschließend der betriebliche Nutzen der Systemvorschläge im Rahmen von Feldversuchen auf dem Tower Frankfurt und im Center Langen (Approach Frankfurt) bewertet werden.

Im Jahr 2008 wurde ein erster Testbetrieb auf dem Tower Frankfurt durchgeführt. Dabei zeigten sich größere Defizite, die eine Validierung der Planungsvorschläge erschwerten (z.B. fehlende Abbildung der Betriebsrichtung 07). Nach Verbesserungen und der Weiterentwicklung des Systems fand im Jahr 2009 ein ausführlicher Feldversuch statt, der einen großen Beitrag zur Systemvalidierung lieferte. Darauf aufbauend wurde im Sommer 2010 ein weiterer Feldversuch durchgeführt, um die Akzeptanz beim operativen Personal weiter steigern zu können.

1.2 Definition Bahnnutzungsstrategie

Bahnnutzungsstrategien definieren Möglichkeiten, den Verkehr auf den einzelnen Bahnen situationsabhängig abzuwickeln. Dies kann z.B. über die Verlagerung von bestimmten An- oder Abflugströmen geschehen oder aber durch die Wahl eines geeigneten Verhältnisses zwischen Starts und Landungen.

In der Regel werden Abflüge einer bestimmten SID über eine bestimmte Startbahn abgewickelt.

¹ Gefördert durch das BMWi

Analog nutzen die Ankünfte aus einer bestimmten Anflugrichtung (STAR) standardmäßig eine bestimmte Landebahn. So wird die Abwicklung des Verkehrs über die vorgeschriebenen Routen im angrenzenden Luftraum klar geregelt, sodass sicherheitskritische Situationen vermieden werden.

Am Flughafen Frankfurt werden Abflüge in Richtung Norden und Nordwesten bei Betriebsrichtung (BR) 25 standardmäßig über das Parallelbahnsystem abgewickelt. Alle anderen startenden Luftfahrzeuge nutzen die Startbahn 18 (vgl. Abb. 1). Bei einer auftretenden Ankunftsspitze oder bei übermäßig hohem Abflugverkehr auf dem Parallelbahnsystem besteht die Möglichkeit, die Abflüge Richtung Nordwesten auf die Startbahn 18 zu verlagern. Dadurch wird die Auslastung der Start- und Landebahnen gleichmäßiger verteilt und der Gesamt-Delay reduziert. In Extremsituationen können alle Abflüge über die Startbahn 18 abgewickelt werden.

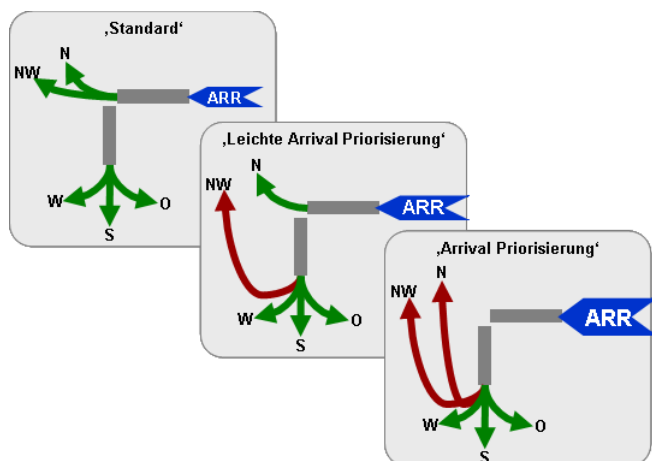


Abb. 1 Nachfrageabhängige Betriebsverfahren am Flughafen Frankfurt bei Betriebsrichtung 25

Analog ist es bei BR 07 möglich, die Abflüge in Richtung Osten auf die Startbahn 18 zu verschieben. Neben diesen nachfrageabhängigen existieren auch wetterabhängige Betriebsverfahren, die Sondersituationen wie CATII/III Bedingungen berücksichtigen.

Die Verkehrsabwicklung am Flughafen München birgt ein anderes Optimierungspotential. Durch die unabhängig voneinander betriebenen Bahnen liegt der Fokus weniger auf der Verschiebung von Verkehrsströmen, sondern auf einem geeigneten Verhältnis von An- und Abflügen. Die

typische Hubstruktur des Verkehrsflusses zeigt deutliche Start- und Landespitzen, denen proaktiv durch die Wahl eines entsprechenden Start-Lande-Verhältnisses entgegengesteuert werden kann.

2. Validierungsprozess in Frankfurt

Neben Untersuchungen und Tests im Labor ist für eine detaillierte Validierung eines Systems das Erproben unter realen Bedingungen erforderlich. In den Jahren 2009 und 2010 fanden ausführliche Feldversuche auf dem Tower Frankfurt statt, um die Verwertbarkeit der CAPMAN/CLOU Systemvorschläge zu prüfen und Defizite zu erkennen.

2.1 Systembild CAPMAN/CLOU

In Frankfurt wurde in Zusammenarbeit mit der Fraport AG der Systemverbund CAPMAN/CLOU etabliert. Der Capacity Manager von Fraport liefert zum einen Prognosen über die voraussichtliche Kapazität des SLB-Systems. Zum anderen schlägt das System eine Priorisierungsstrategie für das Parallelbahnsystem vor. Für die Prognose wird dabei verglichen, wie viel Verkehr in der Vergangenheit unter ähnlichen Bedingungen bzgl. Wind, Wetter und Verkehrsmix abgewickelt werden konnte. Als Priorisierungsstrategie werden Zeitintervalle bestimmt, in denen Abflüge gegenüber den Ankünften bevorzugt werden sollten. Dabei wird neben der Menge an Abflügen, die voraussichtlich am Bahnkopf zu erwarten sind, auch die prognostizierte Anzahl an Landungen berücksichtigt, wobei Landungen grundsätzlich priorisiert werden. In Zusammenhang mit der Priorisierungsstrategie wird vom CAPMAN zusätzlich ein entsprechender Flow-Wert mitgeliefert, der die notwendige Separation zwischen zwei Luftfahrzeugen präsentiert, sofern keine Wirbelschleppenstaffelung angewendet werden muss.

Durch die Analyse der Nachfrageprognose aus STANLY_CDM und der Kapazitätsprognose vom CAPMAN generiert der CLOU für den eingestellten Planungshorizont (aktuell: zwei Stunden) eine optimale Folge von Betriebsverfahren.

In einem HMI werden alle Prognose- und Planungsinformationen von CLOU und CAPMAN zusammengetragen. Die wichtigsten Informationen sind in folgender Abb. 2 hervorgehoben:

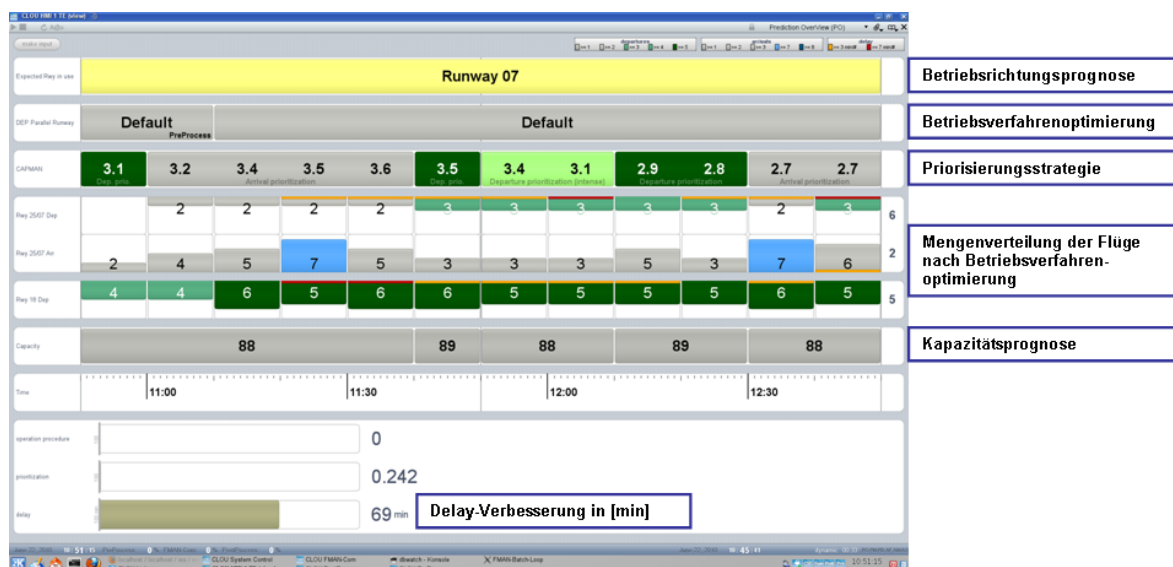


Abb. 2 Die wichtigsten Informationen im CAPMAN / CLOU - HMI

Das HMI soll primär auf dem Tower zum Einsatz kommen und den diensthabenden Supervisor bei seiner Entscheidung bzgl. einer geeigneten Bahnnutzungsstrategie unterstützen. Ein parallel im Center laufendes HMI soll dem dortigen Supervisor ein besseres Bild über die voraussichtliche Verkehrssituation am Flughafen liefern. Damit soll CLOU die Kommunikation und Abstimmung zwischen Tower und Approach bzgl. der Priorisierung von Abflügen oder der Verlegung von Verkehrsströmen unterstützen (vgl. Abb. 3).

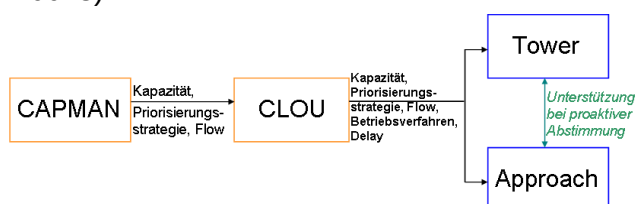


Abb. 3 Systembild CAPMAN/CLOU

2.2 Ziele der Feldversuche

Die Feldversuche mit CAPMAN/CLOU unterliegen zwei Schwerpunkten. Zum einen soll durch einen Vergleich mit der realen Verkehrsabwicklung und Einschätzungen vom operativen Personal die Plausibilität und die Verwertbarkeit der Systemvorschläge geprüft werden. Zum anderen können ausführliche Rückmeldungen von den Lotsen zum System insgesamt bzgl. Umsetzbarkeit und Nutzen dazu beitragen, vorhandene Defizite aufzudecken und die betriebliche Nutzbarkeit weiter zu verbessern.

2.3 Feldversuch 2009

Vom 02. bis 30. Juni 2009 fand ein erster ausführlicher Feldversuch auf dem Tower Frankfurt statt. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse in Bezug auf die Systemvorschläge erläutert.

2.3.1 Betriebsrichtungsprognose

Die Betriebsrichtung konnte in der Regel korrekt vom CAPMAN prognostiziert werden. Der Zeitpunkt für einen Betriebsrichtungswechsel ist durch ein System nicht exakt bestimmbar, da stets auch subjektive Einflussfaktoren wie z.B. das Verhalten der Piloten eine Rolle spielen. Hier ist die Bereitstellung einer geeigneten Eingabemöglichkeit für den Zeitpunkt eines BR-Wechsels für den Supervisor erforderlich.

2.3.2 Optimierung der Betriebsverfahren

Für die Validierung waren insbesondere Situationen interessant, in denen systemseitig vom Standardbetriebsverfahren (Nord- und Nordwestabflüge über das Parallelbahnsystem) abgewichen wurde. Zu bestimmten Zeiten gab es regelmäßig wiederkehrende Systemvorschläge; z.B. wurde zu den morgendlichen Spitzenverkehrszeiten häufig vorgeschlagen, bei BR 25 die Nordwestabflüge zu verschieben bzw. bei BR 07 die Ostabflüge.

Allerdings wurden in einigen Fällen auch Optimierungsvorschläge angezeigt, deren Umsetzung aus betrieblicher Sicht nicht sinnvoll gewe-

sen wäre. Zum einen führten einige Vorschläge zu einer zu geringen Delay-Verbesserung, die gegenüber der Anwendung des Standardbetriebsverfahrens erreicht werden könnte. Zum anderen hätten z.T. zu wenig Abflüge verschoben werden müssen (z.B. ein bis zwei Abflüge über 40 Minuten hinweg).

Im Weiteren wiesen die Vorschläge häufig eine zu große Dynamik mit den einzelnen Planungsläufen auf. In solchen Fällen veränderte sich mit jeder Planungssequenz die Anfangs- und Endzeit eines Betriebsverfahrens, sodass der Systemvorschlag für das operative Personal nicht nachvollziehbar war und keine operative Umsetzung möglich gewesen wäre.

Dennoch wurden einige der Systemvorschläge umgesetzt. Dabei zeigte sich, dass die Kenngröße Delay-Verbesserung eine wichtige Entscheidungsgrundlage darstellt. Die umgesetzten Vorschläge wiesen für den Planungshorizont von zwei Stunden ein prognostiziertes Verbesserungspotential von ca. 100 Delay-Minuten und mehr auf.

Insgesamt waren die Systemvorschläge bzgl. der Betriebsverfahren für eine operative Umsetzung häufig zu instabil. Dennoch war ein potentieller Nutzen dieser Funktionalität erkennbar. Durch die Erhöhung der Planungsstabilität sowie der Vermeidung von betrieblich nicht sinnvollen Vorschlägen ist eine bessere Verwertbarkeit der Vorschläge zu erwarten.

2.3.3 Priorisierungsstrategie

Tendenziell war festzuhalten, dass die vom CAPMAN prognostizierten Abflugspitzen, die eine Priorisierung erforderten, auch in der Realität eintraten. Aufgrund der mangelhaften Datenverfügbarkeit und –grundlage bzgl. Confirmed Offblock Times und Taxitimes war häufig zu beobachten, dass die prognostizierte Abflugmenge, die zu der Anzeige einer Abflug-Priorisierung geführt hatte, später als erwartet am Bahnkopf eintraf. Damit war die Qualität der Prognose nicht ausreichend für eine betriebliche Nutzbarkeit.

2.3.4 Kapazitätsprognose

Die Kapazität konnte durch den CAPMAN in der Regel richtig prognostiziert werden. Auch hier sind (analog zur Betriebsrichtung) manuelle Ein-

gaben erforderlich, da die Nicht-Verfügbarkeit der Startbahn 18 aufgrund subjektiver Einflussfaktoren nicht exakt vorhersagbar ist.

Ein Faktor, der bei der Kapazitätsprognose bisher aufgrund fehlender Verfügbarkeit nicht berücksichtigt werden kann, sind die Höhenwinde im Anflugbereich. Diese können unter Umständen eine höhere Staffelung erforderlich machen und damit die Anflugkapazität reduzieren.

2.3.5 Zusammenfassung Feldversuch 2009

Der Prototyp CAPMAN/CLOU hatte 2009 noch keinen Reifegrad zur betrieblichen Nutzbarkeit erreicht. Dennoch konnten im Rahmen des Feldversuchs mögliche Anwendungsfälle für den Systemverbund aufgedeckt werden. Es wurden Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert, durch deren Umsetzung die betriebliche Nutzbarkeit gesteigert werden sollte.

2.4 Feldversuch 2010

Während der Vorbereitungen des Feldversuchs 2010 war abzusehen, dass das derzeit geringe Verkehrsaufkommen nur wenig Optimierungspotential bieten würde. Aus diesem Grund wurde der Schwerpunkt stärker auf Gespräche mit dem operativen Personal gelegt. Im Folgenden wird auf die wichtigsten Ergebnisse und neuen Erkenntnisse aus dem Feldversuch vom 19. Juli bis 16. August 2010 eingegangen.

2.4.1 Optimierung der Betriebsverfahren

Die Planungsstabilität der Systemvorschläge konnte durch die Erweiterung der Systemfunktionen erhöht werden. Zum einen werden nun die Planungen der vergangenen 20 Minuten berücksichtigt. So kann ein Betriebsverfahren ohne zeitliche Sprünge im taktischen Bereich wie betrieblich gefordert 40 Minuten aufrecht erhalten werden und läuft mit fortschreitender Zeit aus dem Planungshorizont hinaus. Gleichzeitig werden die Planungsergebnisse der kommenden 20 Minuten fixiert, um dem Supervisor im taktischen Bereich ein stabiles Systembild zu bieten.

Im Weiteren wurde ein Grenzwert für die minimale Delay-Verbesserung eingeführt, die gegenüber der Anwendung des Standardbetriebsverfahrens erreicht sein muss, damit das Optimierungsergebnis zur Anzeige gebracht wird. So werden

Vorschläge, die aus betrieblicher Sicht nicht sinnvoll sind, auch nicht zur Anzeige gebracht.

Aufgrund der mäßigen Verkehrsmengen am Flughafen Frankfurt fand nahezu keine Betriebsverfahrenoptimierung statt. Somit konnte diese Funktionalität des CLOU nicht weiter validiert werden. Der Feldversuch 2009 zeigte jedoch bereits, dass die Optimierungsergebnisse nachvollziehbar waren – wenn auch nicht immer betrieblich umsetzbar.

In Hinblick auf das 4-Bahn System Frankfurt werden weitere Untersuchungen bzgl. der Verwertbarkeit der Betriebsverfahrenoptimierung erforderlich sein, da die Betriebsverfahren und die Verkehrsströme neu abgebildet werden müssen.

Bewertung durch das operative Personal

Das operative Personal hält die Optimierung von Betriebsverfahren grundsätzlich für ein nützliches Instrument zur besseren Beurteilung der zu erwartenden Verkehrssituation. Eine detaillierte Bewertung der Systemvorschläge war aus genannten Gründen nicht möglich. Dennoch gab es einige Hinweise, die bei der Weiterentwicklung des Systems berücksichtigt werden sollen:

- Betrachtung des Parallelbahnsystems als zwei getrennte Bahnen
 - bessere Abbildung des Single Mode Betriebs möglich, der häufiger zur Anwendung kommt als Verschiebung von Abflugströmen
 - für 4-Bahn System sinnvoll
- Anzeige der Nachfrage pro Abflugfix wünschenswert
 - ermöglicht ggf. frühzeitiges Erkennen der Notwendigkeit, höhere Separation im Approach zu erfragen
- Anzahl Landungen/10min teilweise zu hoch
 - Anpassung der systeminternen Teilkapazitäten, sodass nicht mehr Flüge pro Zeitintervall verplant werden, als in der Realität abgewickelt werden können
- Berücksichtigung von eingeschränkten Sektorkapazitäten
 - der CLOU darf nicht mehr Starts pro Zeitintervall verplanen, als real im jeweiligen Sektor abgewickelt werden können
 - kann u. U. die Betriebsverfahrenoptimierung beeinflussen

2.4.2 Priorisierungsstrategie

In den Vorschlägen des CAPMAN zur Priorisierungsstrategie zeigte sich auch im Feldversuch 2010 die Problematik mit der Verfügbarkeit und Qualität der Offblock Times und Taxitimes. Mit der geplanten Einführung von A-CDM kann hierbei jedoch eine deutliche Verbesserung der Datenqualität erwartet werden. Damit ist davon auszugehen, dass sich die Systemvorschläge im taktischen Bereich stabilisieren. Ggf. ist jedoch zu prüfen, ob es Alternativen gibt, die eine höhere Stabilität im taktischen Zeithorizont ermöglichen (z.B. Fixierung der Ergebnisse), so dass die Vorschläge für den Supervisor umsetzbar sind.

Bewertung durch das operative Personal

Grundsätzlich wird die Anzeige einer Priorisierungsstrategie vom operativen Personal als nützliche Funktion angesehen – insbesondere in Hinblick auf das 4-Bahn System, bei dem ein stärkerer Fokus auf der Priorisierung liegen wird als beim 3-Bahn System.

Derzeit weist die Anzeige der Priorisierungsstrategie des CAPMAN und die Anzeige der CLOU Mengenverteilung jedoch noch einige Inkonsistenzen auf. Es existieren Fälle, in denen der CAPMAN eine Abflug-Priorisierung vorschlägt, während der CLOU für dieses Zeitintervall nur ein oder zwei Starts verplant hat. Diese Inkonsistenz muss durch einer verbesserte Systemkopplung in Zukunft behoben werden.

2.4.3 Weitere Rückmeldungen vom operativen Personal

Neben der Bewertung der einzelnen Funktionalitäten des Systemverbundes ist im Validierungsprozess die Bewertung des grundsätzlichen Nutzens und Mehrwerts durch das operative Personal von Bedeutung.

Den angezeigten Systemvorschlägen wird ein Nutzenpotential zugesprochen, wobei aufgrund der Verkehrssituation der Nutzen eher beim 4-Bahn System als beim derzeitigen 3-Bahn System gesehen wird. Wünschenswert wäre aus Sicht der Lotsen eine zusätzliche What-if-Funktionalität. So könnte die prätaktische Bedeutung des Systemverbundes noch besser ausgenutzt werden, indem der Supervisor die Möglich-



Abb. 4: Neues CLOU-HMI für München (gelb umrahmt: Bereiche mit Erläuterungen im Text)

keit hat, verschiedene Entscheidungsvarianten im Vorhinein auszuprobieren, um die möglichen Konsequenzen besser abzuschätzen.

Derzeit wird ein weiteres HMI entwickelt, dessen Anforderungen primär auf den Flughafen München ausgerichtet sind. Abb. 4 stellt die neue Nutzeroberfläche dar.

Die Anzeige ist auf die genauere Darstellung der An- und Abflugmengen auf den beiden unabhängig betriebenen Parallelbahnen spezialisiert, nicht auf die Anzeige bestimmter Verkehrsströme. Im linken unteren Bereich, gekennzeichnet als (1) in Abb. 4, sind die Mengen an Abflügen (grün) und Landungen (blau) sowie die Gesamtnachfrage (orange) auf der Nord- sowie Südbahn abgebildet. Zusätzlich wird durch einen Querbalken die Kapazitätsgrenze der beiden Bahnen gekennzeichnet. Das Hauptfeld (2) präsentiert, ähnlich dem alten HMI, die Mengen an Starts und Landungen je zehn Minuten für beide Start- und Landebahnen. Auch hier werden Balken ab einem einstellbaren Grenzwert farbig hervorgehoben. Über der Mengenverteilung der Flüge ist die vom System vorgeschlagene Bahnnutzungsstrategie aufgetragen (3). D.h. es wird vorgeschlagen, entsprechend der Verkehrsmengen in

(2) ggf. Landungen oder Abflüge durch ein passendes Start-Lande-Verhältnis zu priorisieren. Das Kreisdiagramm (4) bildet den Delay ab, der auf den Bahnen induziert wird und zeigt dabei gleichzeitig, wie viel Anteil des Delays von Abflug- bzw. Ankunftsseite induziert wird.

Dieses neue HMI bietet eine What-if-Funktionalität und wurde im Rahmen des diesjährigen Feldversuchs von Frankfurter Lotsen einer ersten Bewertung unterzogen. Dabei bestätigte sich, dass es den Anforderungen des Flughafens Frankfurt nicht ausreichend genügt und hierfür noch weiteren Anpassungen bedarf. So muss z.B. die SLB-Auslastung noch deutlicher angezeigt werden (durch numerische Werte, nicht nur durch Balken). Dafür würde eine Anzeige der maximalen Bewegungen je SLB ausreichen, eine Aufteilung in Landungen und Starts sei nicht notwendig. Die What-if-Funktionalität jedoch wurde sehr positiv aufgenommen, ebenso wie die Anzeige "do nothing".

Aus Sicht des Towers kann CAPMAN/CLOU bei der Kommunikation und notwendigen Absprachen zwischen Tower und Approach unterstützend wirken, wenn die verantwortlichen Supervisor dieselbe Anzeige zur Verfügung haben. Auch

hier wird auf die gewünschte Möglichkeit einer What-if Funktionalität hingewiesen.

Aus Sicht des Approach ist beim derzeitigen 3-Bahn System kein Nutzen zu erwarten. In unkritischen Situationen ist der CLOU nicht erforderlich, in kritischen Situationen müsse ohnehin gesteuert werden. Dem System wurde jedoch ein potentieller Mehrwert bei möglichen Unstimmigkeiten zwischen Tower und Approach zugesprochen, wenn es um die Wahl eines geeigneten Zeitpunktes geht, zu dem Abflüge gegebenenfalls priorisiert werden sollten. Aufgrund der zunehmenden Komplexität des 4-Bahn Systems wird auch von Seiten des Approach ein größeres Anwendungspotential im CLOU gesehen.

3. Fazit und Ausblick

Im Rahmen der Feldversuche konnten zum einen weitere Defizite des Prototyps aufgedeckt werden, die bei der Weiterentwicklung des Systemverbundes zu berücksichtigen sind. Zum anderen war es möglich, eine detaillierte kritische Rückmeldung vom operativen Personal zu erhalten, welche ebenfalls in die Weiterentwicklung einfließen wird.

Aus dem diesjährigen Feldversuch war positiv mitzunehmen, dass der Bekanntheitsgrad des Systemverbundes gesteigert werden konnte. Daraus resultierte eine größere Akzeptanz der Idee eines prätaktischen Planungssystems. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die weitere Entwicklung, die so nah wie möglich zum operativen Betrieb geschehen soll.

3.1 4-Bahn System Frankfurt

Während der Feldversuche wurde mehrfach erwähnt, dass der potentielle Mehrwert von CAPMAN/CLOU eindeutig beim 4-Bahn System gesehen wird. Durch die zunehmende Komplexität des SLB-Systems und den komplexeren Abhängigkeiten zwischen den Verkehrsströmen wird es in Zukunft schwieriger sein, den Verkehr so effizient wie möglich abzuwickeln.

Wie groß der Nutzen des CAPMAN/CLOU für das 4-Bahn System sein wird, ist letztendlich von der endgültigen Festlegung und dem damit verbundenen Optimierungspotential der anzuwendenden Betriebsverfahren abhängig.

Sowohl die Systementwicklerseite als auch die betriebliche Seite streben hier eine enge Zusammenarbeit an, um die Entwicklung des CAPMAN/CLOU für die vierte Bahn so gut wie möglich voranzutreiben.

3.2 Kopplung mit taktischen Systemen

Im Rahmen von iPort ist eine Kopplung mit den taktischen Systemen angestrebt. Der CLOU soll zum einen mit dem Departure Manager „darts“ von der Firma delair ATS GmbH und zum anderen mit dem AMAN der DFS gekoppelt werden. Ziel dabei ist es, die taktischen Planungen durch eine prätaktische Planung zu unterstützen sowie eine zwischen Starts und Landungen bereits abgestimmte Mengenvorsteuerung zu verbessern. D.h. der CLOU soll dem AMAN und dem darts die Mengen an Landungen bzw. Starts vorgeben, welche die taktischen Systeme für ihre Sequenzplanung nutzen können. So kann die proaktive Engpassvermeidung an die taktischen Systeme weitergeleitet werden. Damit wird sogar eine indirekte Kopplung zwischen AMAN und DMAN hergestellt, da beide Systeme nur so viele Flüge verplanen, wie es die jeweils andere Seite erlaubt.

3.3 Integration in SESAR

Im Rahmen von SESAR finden Überlegungen statt, den CLOU für die Thematik Multiple Airport Planner bzw. Extended TMA einzusetzen (P5.4.1 TMA-1 Co-Operative Planning in the TMA und P5.4.2 TMA-1 Co-Operative Planning Requirements and Validation). Bisher existiert zur Umsetzung und Validierung dieser Vorhaben kein entsprechendes betriebliches System. Der CLOU jedoch würde die Möglichkeit bieten, seinen Erfassungshorizont auszudehnen, um auch mehrere Flughäfen und deren Abhängigkeiten untereinander abzubilden.

Abkürzungen

AMAN	Arrival Manager
BR	Betriebsrichtung
CAPMAN	Capacity Manager
CDM	Collaborative Decision Making
CLOU	Cooperative Local Resource Planner
DMAN	Departure Manager
FMAN	Flow Manager
HMI	Human Machine Interface
iPort	innovativer Airport
K-ATM	Kooperatives Air Traffic Management
Lufo	Luftfahrtforschungsprogramm
SID	Standard Departure Route
SLB	Start- und Landebahn
STAR	Standard Arrival Route
WFF	Wettbewerbsfähiger Flughafen

Vorhaben CATO – Betriebliche Nutzbarkeit von Controller-Tools für den unteren Luftraum

Eliana Haugg, Dr. Andreas Herber, Stephan Herr (TE/A)

Hintergrund

CATO (CATO = Controller Assistance Tools) ist ein Vorhaben der DFS zur Bewertung der betrieblichen Nutzbarkeit von neuen Systemfunktionalitäten zur Lotsenunterstützung für den unteren Luftraum. Der Bereich F&E entwickelt erste technische Umsetzungen, welche durch operatives Personal der NL München und Bremen bewertet werden. Der Bereich Anforderungsmanagement des Geschäftsbereichs Center (CC/O) ist der Auftraggeber für dieses Vorhaben.

Im unteren Luftraum ist die Einführung eines streifenlosen Systems erst mittelfristig mit dem ATM System iCAS geplant. Die Voraussetzung für die Einführung von Werkzeugen wie z.B. Konflikterkennung oder Flugwegsüberwachung sind jedoch bereits mit der Einführung der elektronischen Streifenendarstellung des PSS Systems in der P1/ATCAS Umgebung erfüllt. In PSS müssen alle Freigaben und Koordinationsergebnisse eingegeben werden und stehen somit elektronisch zur Verfügung.

Da PSS im unteren Luftraum bereits eingeführt ist (NL Bremen) oder in naher Zukunft verfügbar sein wird (NL München), besteht also die Möglichkeit der schrittweisen Einführung zukünftiger Funktionalitäten zur Lotsenunterstützung, bevor das System iCAS zur Verfügung steht.

Überblick Vorhaben CATO

Das Ziel des Vorhabens CATO ist es, die betriebliche Nutzbarkeit neuer controller tools im unteren Luftraum zu untersuchen. Obwohl die Bewertung der technischen Machbarkeit im Zielsystem nicht Teil des Projekts ist und gesondert untersucht wird, werden auch erste Erkenntnisse in dieser Hinsicht erwartet.

Die Demonstration und Bewertung des betrieblichen Nutzens wird nicht nur am prototypischen System des Bereichs TE, sondern auch in der



P1/ATCAS Umgebung des LSS (Local Support System) der Niederlassung Langen (und ggf. weiterer NL) durchgeführt.

Phase 1

In einem ersten Schritt wurden im Rahmen des Vorhabens CATO im Oktober und Dezember 2009 Realzeitsimulationen am AFS mit Münchner Lotsen durchgeführt. Dabei wurden die Funktionalitäten Data Link (CPDLC), Konflikterkennung und „what-if-probing“ anhand von vier bearbeiteten Sektoren des Münchner Luftraums mit einem prototypischen System demonstriert. Damit wurde die Basis für die weitere Entwicklung der Tools geschaffen.



Abb. 1: Phase 1-Simulationen am Forschungssimulator AFS

Da das verwendete prototypische System alle wesentlichen VAFORIT-Systemfunktionalitäten enthält, konnten sich die Münchner Kollegen bei diesen Simulationen mit einer VA-artigen (very advanced) Systemumgebung im unteren Luftraum vertraut machen.

Phase 2

Am 07. September 2010 fand eine Demonstration zukünftiger Systeme zur Lotsenunterstützung im P1/ATCAS & PSS – Umfeld statt.

Unter anderem wurden Tools zur Konflikterkennung und -lösung sowie zur Flugwegsüberwachung von Lotsen der Münchner Niederlassung am LSS (Local Support System) in Langen bewertet.

In Fortführung der Phase 1 wurde jetzt ein „echtes“ P1/ATCAS-System mit PSS verwendet, mit prototypischen Komponenten gekoppelt und von einem Simulator mit allen erforderlichen externen Daten versorgt.

Demonstriert wurden dabei die Funktionen:

- Data Link (CPDLC)
- Konflikterkennung (Executive Conflict Search, ECS)
- Konfliktlösungsassistentz (sog. "what-if-probing")
- Flugverlaufsüberwachung

Gekoppelte Tools

- **Data Link** (Controller-Pilot Data Link Communication, CPDLC): Das gekoppelte Data Link Tool erlaubt das Senden des gesamten „mandatory message set“ laut DVO; die Handhabung aller Freigaben und Antworten auf „pilot requests“ erfolgt über ein separates Display (s. Abb. 4).

Über diese Oberfläche können Data Link Transaktionen zu allen im eigenen Sektor befindlichen, mit Data Link ausgerüsteten Luftfahrzeugen erfolgen, vorausgesetzt, der CPDLC-Kanal ist aufgebaut (grünes Feld in der Call Sign Liste). Zusätzlich sind die Meldungsflüsse dargestellt, es ist also erkennbar, ob z.B. eine Meldung vom Lotsen an den Piloten geschickt wurde (Pending Uplink), eine Bestätigung von diesem empfangen wurde (Received Downlink) oder eine Freigabe-Anfrage vom Piloten empfangen wurde (pending downlink).

Alle Meldungen lassen sich über diese Oberfläche erzeugen, erfordern aber eine etwas umständliche Interaktion. Zur vereinfachten Handhabung für die hauptsächlich verwendeten Nachrichten wurde deshalb ein spezielles Eingabefenster geschaffen (s. Abb. 3). Die Auswahlwerte für die acht vordefinierten Anweisungen (z.B. Wegpunkte, Höhen, Frequenzen, siehe hellgraue Felder) sind dabei sektorspezifisch definierbar.

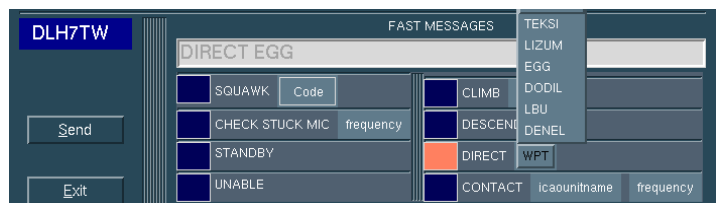


Abb. 3: Oberfläche zur Eingabe einer Freigabe per Data Link



Abb. 2: Phase 2-Demonstration am LSS

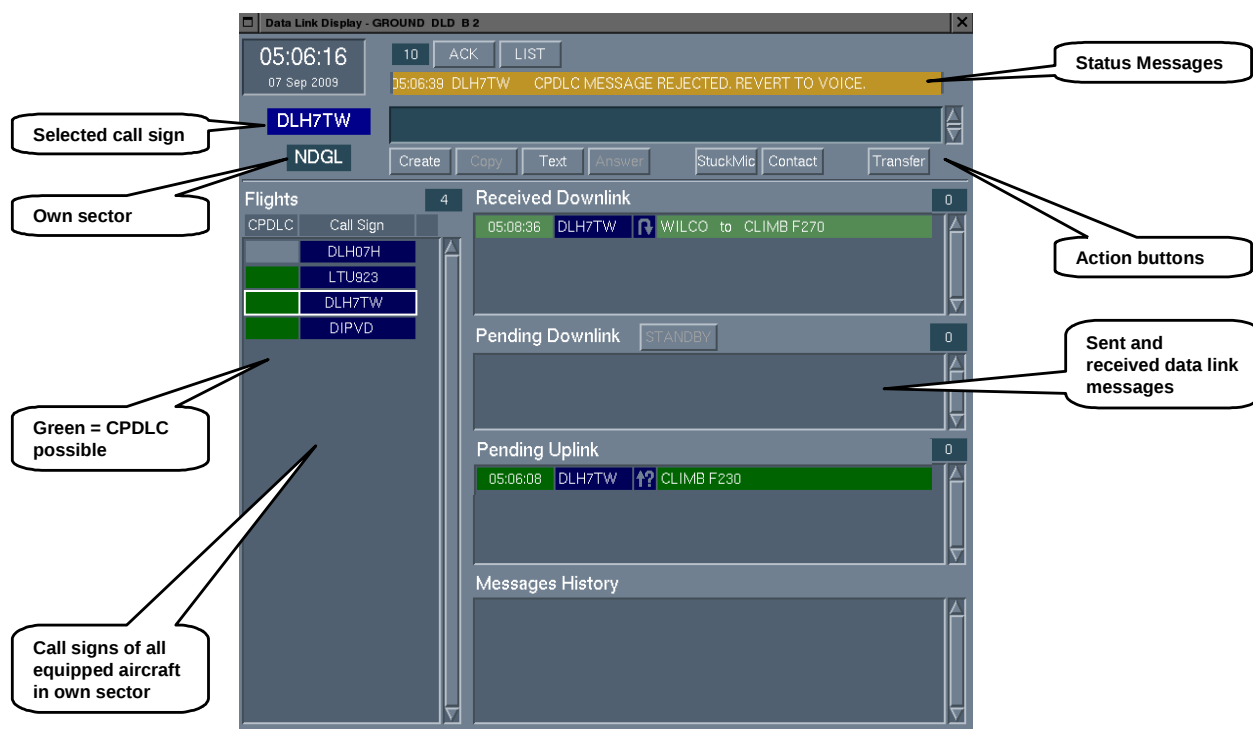


Abb. 3: Oberfläche des CPDLC-Prototyps

- Conflict detection** (Executive Conflict Search, ECS): Dieses Tool zur Erkennung potentieller Konflikte wurde intern bei der DFS entwickelt. Es berechnet anhand der tatsächlichen Flug- und Freigabedaten für Flugziele, ob sie sich innerhalb der nächsten 4 Minuten näher als 6 NM (lateral) und 1000ft (vertikal) kommen (Werte sind parametrierbar). Potentielle Konflikte werden zusammen mit einem Konflikt-Code und einer Kennzeichnung im Label angezeigt. Ein Mausklick auf diese ECS-Anzeige zeigt die jeweiligen Trajektorien. Abb. 5 zeigt ein Beispiel eines ECS. Die Trajektorien von HLF923 und AFR1089 unterschreiten im orangen Bereich den definierten Mindestabstand.

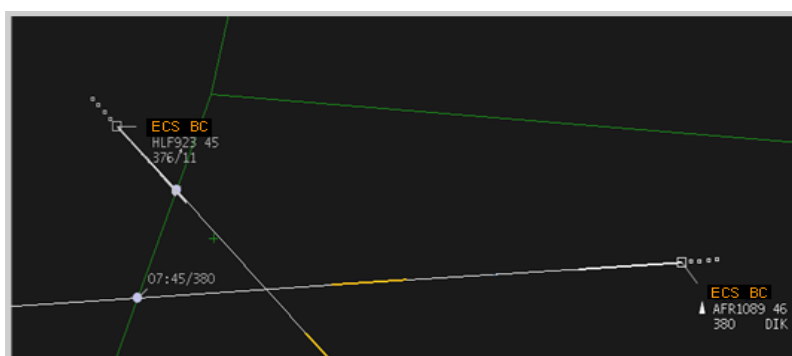


Abb. 5: Beispiel für eine ECS-Anzeige im Label

- What-if-probing:** Mit dieser Funktion kann überprüft werden, ob Freigaben auf Flugflächen oder zu Wegpunkten für eine bestimmte Zeit konfliktfrei wären. Dazu werden innerhalb der nächsten 6 Minuten potentielle Konflikte berechnet, in denen sich Flugziele näher kommen als 6NM (lateral) und 1000ft (vertikal). Das what-if-probing hat also eine um 2 Minuten größere Vorlaufzeit als das ECS. Das Ergebnis des vertikalen what-if-probing wird als Farbcodierung im CFL-Menü angezeigt – grüne Flight Level sind konfliktfrei, blaue Flight Level sind nur dann konfliktfrei, falls auch eine grüne Rate angewiesen wird, und orange Level sind immer konfliktträchtig. Abb. 6 zeigt ein Beispiel eines what-if-probings für eine Höhenfreigabe: Eine Freigabe auf FL350 und FL360 wäre konfliktfrei, auf FL380 aber z.B. nur mit

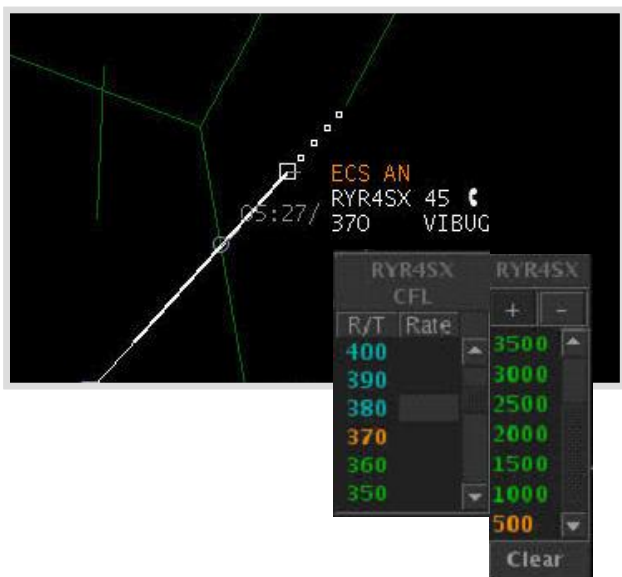


Abb. 6: Beispiel für ein what-if-probing für vertikale Freigaben (vertikales what-if-probing)

einer Rate von 1000 fpm oder mehr.

In gleicher Weise wird das Ergebnis des Direct-what-if-probing im DIRECT-Menü angezeigt: Orange Wegpunkte zeigen an, dass eine Freigabe zu diesem Punkt einen potentiellen Konflikt zur Folge hätte, grüne sind hingegen konfliktfrei. Abb. 7 zeigt ein Beispiel eines what-if-probings für eine DIRECT-Freigabe.

- Flight Path Monitoring:** Dieses Tool warnt den Lotsen vor Abweichungen vom freigege-

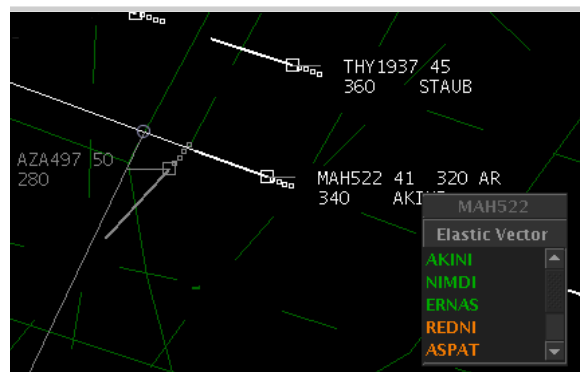


Abb. 7: Beispiel für ein what-if-probing für Direct-Freigaben (Direct-what-if-probing)

benen Flugweg, der Flughöhe und Geschwindigkeit und vor möglichem Durchsteigen oder –sinken der freigegebenen Höhe. Dieses Tool ist eine wichtige Ergänzung der Konflikterkennung: Da die Konflikterkennung auf Freigabedaten basiert, ist es für den Lotsen auch im Hinblick auf die Zuverlässigkeit der Konflikterkennung wichtig zu wissen, wann sich ein Flugzeug nicht an die Freigaben hält. Warnungen werden im Label angezeigt, die jeweiligen Schwellen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Warnung	Schwellwert
RDEV	Laterale Abweichung von der freigegebenen Trajektorie um mehr als 1NM
CFLDEV	Vertikale Abweichung vom CFL (cleared flightlevel) um mehr als 300 ft
RATEDEV	Abweichung von der freigegebenen Steig-Sinkrate um mehr als 300 fpm (eine zeitliche Schwelle von 15 sec. nach Freigabe ist berücksichtigt)
LVL BUST	Steig- oder Sinkrate größer als ➤ 2000 fpm, falls Abstand zum freigegebenen FL 1500-2000ft ist ➤ 1500 fpm, falls Abstand zum freigegebenen FL 800-1500ft ist ➤ 1000 fpm, falls Abstand zum freigegebenen FL <800 ft ist

Tab. 1: Schwellwerte für die einzelnen Warnungen

Im Folgenden werden einige der Warnungen exemplarisch gezeigt; Abb. 8 zeigt Flugzeug KYV953, das unter seinen freigegebenen Level sinkt (FL380). Dies wird mit der Anzeige „CFLDEV“ im Label angezeigt.



Abb. 8: Beispiel für MONA-Anzeige beim Abweichen von freigegebener Höhe

Abb. 9 zeigt Flugzeug DHL583, das von seiner freigegebenen Trajektorie zum Wegpunkt AKINI abweicht. Dies wird mit der Anzeige „RDEV“ im Label angezeigt.

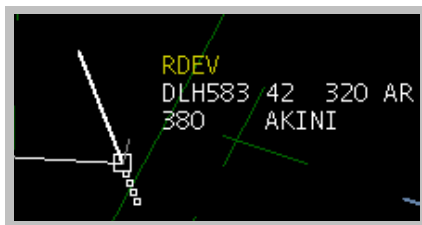


Abb. 9: Beispiel für die Anzeige beim Abweichen von der freigegebenen Route

Ergebnisse

Die Ergebnisse aus beiden Phasen werden im Folgenden zusammengefasst. Die Ergebnisse zu CPDLC stammen hierbei überwiegend aus der ersten Phase, die Ergebnisse zur Konflikterkennung und Flugverlaufsüberwachung aus der zweiten Phase.

Die CPDLC Funktionalität wurde von den Lotsen im Allgemeinen positiv beurteilt. CPDLC ist bislang auf einem externen Display implementiert, was Doppeleingaben (Eingabe der Freigabe erst in CPDLC, dann in PSS) erforderlich macht. Diese Doppeleingaben sind bei dem zu erwartenden niedrigen Ausrüstungsgrad und unter der Voraussetzung, dass die Nutzung von CPDLC nicht obligatorisch ist, tolerierbar. Auf Grund der zu erwartenden Verzögerungen im Meldungsfluss wird Data Link zunächst primär für Frequenzübergaben genutzt werden. Freigaben sind im unteren Luftraum oft zeitkritisch, daher werden die Anwendungsmöglichkeiten für Data Link hier begrenzt sein. Während der Untersuchungen wurden folgende Schwerpunkte für die Weiterentwicklung ermittelt:

- Für die HMI Gestaltung der CPDLC Komponente besteht Optimierungsbedarf. → keine weitere Aktivität in CATO, da der GB Center beschlossen hat, CPDLC in PSS zu integrieren.
- Durch das CPDLC HMI auf einem externen Display welches nicht mit dem ATCAS/PSS gekoppelt ist, muss der Lotse Doppeleingaben machen. Es sollte untersucht werden, ob dies zumindest über die gleichen Eingabemedien geschehen kann (z.B. ein Stift für PSS und CPDLC durch die Nutzung von WACOM-Displays) → keine weitere Aktivität in CATO, da der GB Center beschlossen hat, CPDLC in PSS zu integrieren.

Die Aktivitäten zur Untersuchung von CPDLC sind hiermit abgeschlossen. Die weitere Implementierung wird im Rahmen eines entsprechenden centerinternen Projektes durchgeführt. Insgesamt haben die Untersuchungen dem Geschäftsbereich Center bei der Entwicklung eines einheitlichen Nutzungskonzepts für die Nutzung von CPDLC geholfen. Darüber hinaus konnten die betrieblichen und technischen Anforderungen für die Data Link Einführung auf Basis dieser Aktivitäten ermittelt werden.

Das ECS Tool sowie das what-if-probing wurden während der Untersuchungen ebenfalls positiv beurteilt. Der Zeithorizont des ECS Tools von 4 Minuten wurde allerdings auf Grund der hohen Geschwindigkeiten der Luftfahrzeuge in den oberen Sektoren als zu kurz beurteilt. Daher wurden für die nächsten Untersuchungen Parameter von 6 Minuten für den oberen Luftraum und 4 Minuten für den unteren Luftraum vorgeschlagen. Die Funktionalität und Farbgebung des what-if-probing wurden als hilfreich empfunden. Im Level what-if-probing wurden jedoch knappe Raten, also blaue Level mit grünen Raten (vgl. Abbildung 6), bei welchen sich die Luftfahrzeuge knapp unter- oder übersteigen (jedoch mehr als 1000ft), als bedenklich beurteilt. Diese Raten würden im operationellen Betrieb nicht als konfliktfrei angesehen und folglich nicht angewiesen werden. Das Direct what-if-probing wurde tendenziell weniger häufig genutzt als das Level what-if-probing. Dies lag daran, dass die Routenverläufe in der Untersuchung relativ direkt waren und somit meist alle Wegpunkte im Menü entweder grün oder rot dargestellt waren. Zur Weiterentwicklung des what-if-probings schlugen die

Lotsen vor, auch Headings von 20 bis 30 Grad nach rechts und links in das Tool einzubeziehen. Das Arbeiten mit dem what-if-probing wurde generell noch als sehr umständlich angesehen, da auch hier Doppeleingaben erforderlich waren: Freie Level mussten erst mit Hilfe des what-if-probings im Radar ermittelt und dann über PSS eingegeben werden. Die Lotsen schlugen vor, das what-if-probing in PSS über die Farbgebung der Level, Wegpunkte und Headings zu integrieren. Entsprechend der neuen Parameter des ECS soll die Vorausberechnung des what-if-probings im oberen Luftraum während der nächsten Untersuchungen auf 8 Minuten erweitert werden. Weiterhin schlugen die Lotsen vor, entry und exit flight level in das Tool zu integrieren (Integration des CoFL) und ein MTCD mit what-if-probing für den oberen Luftraum zu entwickeln.

Die Tools zur Flugverlaufsüberwachung stellen eine wichtige Ergänzung zum ECS dar. Da das ECS auf Freigabedaten beruht, ist es für die Lotsen wichtig zu wissen, wann ein Luftfahrzeug von seinen Freigaben abweicht, und das ECS keine verlässlichen Anzeigen mehr liefert. Die Warnung vor einer Abweichung vom freigegebenen Level (CFLDEV) wurde als sehr nützlich erachtet, es wurden keine weiteren Änderungsvorschläge gemacht. Die Warnung vor der Abweichung von der freigegebenen Route (RDEV) war ebenfalls hilfreich, die Lotsen empfahlen allerdings, auch Kurvenflüge bei der Berechnung der Warnung zu beachten. Die Integration von Headings in die Warnung wurde auch gewünscht. Im Laufe der Untersuchung gab es einige Verbesserungsvorschläge für die Warnung vor der Abweichung von der freigegebenen Rate (RATEDEV). Der aktuelle Parameter von 300 ft/min soll zukünftig reduziert werden. Auch soll es möglich sein Luftfahrzeugen Raten mit „more or less“ zuzuweisen, momentan sind nur genaue Raten möglich. Weiterhin soll die RATEDEV Warnung nicht angezeigt werden, wenn Luftfahrzeuge ihre Rate kurz vor dem Erreichen des Ziellevels verringern. Gegenätzliche Einschätzungen gab es zur Nützlichkeit der

Level Bust Warnung. Generell sollen die Parameter für die Warnung für verschiedene Flugzeugtypen unterschiedlich konfiguriert werden. Außerdem soll die Warnung nur dann angezeigt werden, wenn ein Level Bust auch zu einem potentiellen Konflikt führen würde.

Allgemein wünschenswert ist auch die Einbeziehung von Mode S Daten in die Monitoring Aids.

Validierungsumgebung

Wie schon erläutert, wurde für die Demonstrationen das LSS (Local Support System) der Niederlassung Langen verwendet, das von einem Simulator (SimSys) mit allen externen „Datenquellen“ wie z.B. benachbarten Centern versorgt wurde. Das Besondere an diesem auf den ersten Blick typischen und schon mehrfach genutzten Aufbau (z.B. [1], [2]) war, dass der Simulator nicht nur Lieferant der externen Daten für das LSS war, sondern auch die Daten für die im vorangegangenen Abschnitten erläuterten prototypischen Komponenten beisteuerte. Dieser Aufbau wird mit Abb. 10 erläutert.

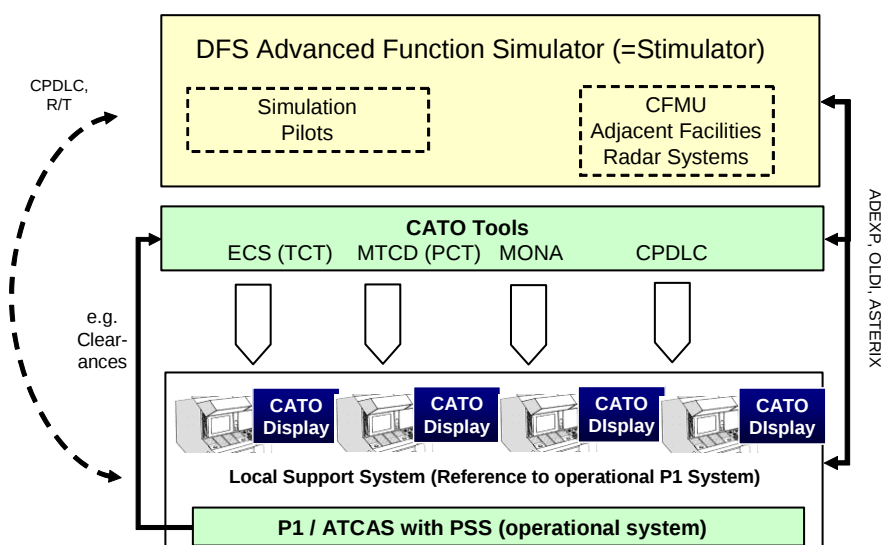


Abb. 10: Überblick über die involvierten Systeme

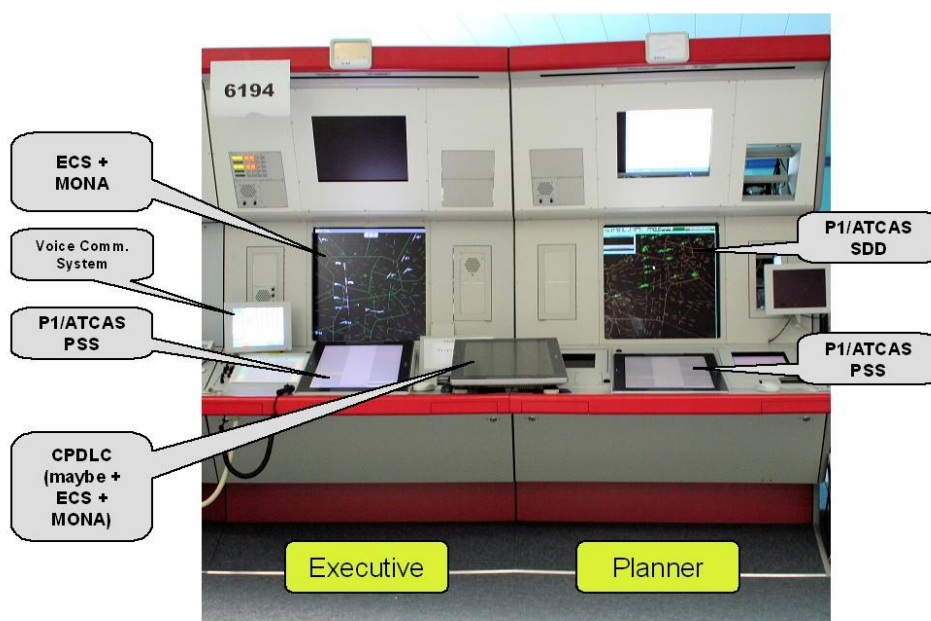


Abb. 11: Kopplung von LSS und prototypischen Komponenten

Die Platzierung der „operationellen“ und prototypischen Komponenten am LSS-Arbeitsplatz selbst ist in Abb. 11 ersichtlich. Am Arbeitsplatz des Planers steht das „typische“ Umfeld mit SDD (Situation Data Display) und PSS (Paperless Strip System) des P1/ATCAS-Systems zur Verfügung, der Executive Controller verfügt über ein prototypisches Radardisplay mit ECS, Flugverlaufsüberwachung und what-if-probing sowie über ein prototypisches CPDLC-Display, gibt aber Freigaben und Koordinationsergebnisse ebenfalls in das PSS ein.

Fazit

Iteratives Prototyping in kleinen Schritten mit engem Kontakt zum Betrieb auch bei der Umsetzung - diese Aktivität ist ein gutes Beispiel für erfolgreiche Zusammenarbeit unterschiedlicher DFS-Bereiche.

Ansprechpartner für das Vorhaben CATO sind:

- Y. Graner, Anforderungsmanagement CC/OCF
- E. Potzel, Niederlassung München
- S. Herr, Forschung & Entwicklung

Ausblick

Aufbauend auf den Ergebnissen der vergangenen Validierungsaktivitäten werden die Arbeiten im Zeitraum 2011-2013 fortgeführt werden. Das noch zu erstellende Nutzungskonzept soll durch iteratives Prototyping validiert werden und zur Bewertung der neuen Funktionalitäten im operativen Umfeld dienen.

Alle bisher im Vorhaben CATO validierten Elemente außer CPDLC, welches gesondert weiterentwickelt wird, sollen auch im Projekt weiter untersucht werden.

Die geplanten Aktivitäten beinhalten im Detail:

- Iteratives Prototyping mit operativem Personal alle 8-10 Wochen;
- Validierung der Konflikterkennungs- und what-if-probing-Tools sowie erster Mode S-Datennutzung im April 2011;
- Validierung der neuen Funktionalitäten mit strukturierter Messung der Belastung und Beanspruchung der Lotsen im Mai 2012;
- Entwicklung einer prototypischen Plattform bis Ende 2012, die die Nutzung von Live-Daten ermöglicht. Dies beinhaltet auch die Kopplung mit dem operativen System (ohne Rückkopplung);

- Bewertung der Funktionalitäten im operationellen Betrieb im Jahre 2013. Gegebenenfalls können Implementierungsaktivitäten auch schon 2013 begonnen werden.

Abkürzungen

ADEXP	ATS Data Exchange Presentation (Format für Datenaustausch z.B. mit der CFMU)
ASTERIX	All Purpose Structured EUROCONTROL Radar Information Exchange Format
ATCAS	Air Traffic Control Automation System
CATO	Controller Assistance Tools
CFL	Cleared Flight Level
CFMU	Central Flow Management Unit
CoFL	Coordinated Flight Level
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communication
DVO	Durchführungsverordnung der EU (hier: zur Einführung von Data Link)
ECS	Executive Conflict Search
HMI	Human Machine Interface
LSS	Local Support System
MTCD	Medium Term Conflict Detection
OLDI	On Line Data I nterchange
PCT	Planning Controller (Conflict Detection) Tool
PSS	Paperless Strip System
R/T	Radio Telephony (Sprechfunk, Funktelefonie)
SDD	Situation Data Display
SimSys	Simulationssystem
TCT	Tactical Controller (Conflict Detection) Tool
WACOM	Herstellernamen (→interaktive Stift-Displays)

Referenzen

[1]	Dr. Andreas Herber, Dr. Manfred Korn, Stefan Stanzel: Arbeiten des Bereichs F&E im Projekt „Data Link Center“, TE im Fokus 1/09, 20.05.2009
[2]	Alexander Grimm, Dr. Ralph Leemüller, Dr. Thomas Bierwagen: Die SimSys Systeme und deren Nutzung für VAFORIT in Karlsruhe, TE im Fokus 2/05, 12.12.2005

Der neue iPort-Experimentalplatz

Andreas Türk, Oliver Rühl (TE/I), Thomas Rüggeberg (TE/A)

Einleitung

Bereits im Rahmen des Förderprojektes WFF (Wettbewerbsfähiger Flughafen) wurde bei den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zum „Tower-HMI“ der Bedarf für einen Experimentalarbeitsplatz in der Tower-Simulationsumgebung deutlich.

Der DFS-eigene Realzeitsimulator an der Akademie, TOSIM 3D-1, ist speziell für die Aus- und Weiterbildung der Fluglotsen konzipiert. Er bietet daher nur sehr begrenzte Möglichkeiten, neue Hardware zur Untersuchung innovativer Konzepte einzurüsten.

Darüber hinaus stehen aufgrund der starken Ausbildungsaktivitäten kaum Umrüstzeiten zur Verfügung.

Experimentalarbeitsplatz

Im aktuellen Verbundvorhaben iPort (Innovativer Airport) wurde daher ein Experimentalarbeitsplatz mit einer eigenen Sichtkomponente konzipiert, mit dem es in Zukunft möglich ist, neue Technologien an einem flexibel konfigurierbaren Lotsenplatz in Realzeitsimulationen evolutionär zu entwickeln.

Das vierkanalige Projektionssystem des Experimentalarbeitsplatzes ist auf dem neuesten Stand der Technik und wurde zusammen vom TOSIM-Produktmanagement und der Firma VISCON entwickelt und aufgebaut. Das Sichtsystem bietet ein physikalisches Bildfeld von 180°. Dabei kommen vier Projektoren von Panasonic mit einer Full-HD Auflösung (1920x1080 Pixel pro Sichtkanal) zum Einsatz. Dieses neue iPort-Testsystem wurde zudem vollständig in den



Abb. 1: Das iPort-Testsystem integriert im TOSIM 3D-2; hinten: vierkanaliges Projektionssystem für PL-P (Platzlotse Parallelbahnsystem), vorne: restliche Arbeitspositionen (PG-T, PL-W, PG-D, PL-N)

TOSIM 3D-2 integriert und kann mit dem AFS gekoppelt werden.

Verwendung

Durch die zunehmende Unterstützung der Lotsen durch neue Systeme und Funktionalitäten wird der effizienten Darstellung von Informationen und der intuitiven Interaktion mit den Systemen zukünftig eine noch größere Bedeutung zukommen. Dies gilt in verstärktem Maße für den Arbeitsplatz des Towerlotsen, dessen Aufmerksamkeit vorrangig der Außensicht gilt.

Seine erste Verwendung wird der Experimentalarbeitsplatz bei der Behandlung zweier Schwerpunkte haben. Zum einen soll eine Bewertung neuer Medientechniken zur Informationsdarstellung und Interaktion durchgeführt werden. Dies umfasst u.a. die Prüfung der technischen Realisierbarkeit von Head-Up-Lösungen, die dem Lotsen verkehrsbezogene Informationen in die Außensicht einblenden (Augmented Reality), um gerade bei komplexen Verkehrssituationen Headdown-Zeiten zu reduzieren. Zum anderen soll auf der Grundlage der geschaffenen Möglichkeiten durch den Experimentalarbeitsplatz ein vollständig integriertes, systemübergreifendes HMI entworfen werden. Hiermit sind Versuche mit einem 30 Zoll Bildschirm verbunden, um eine Fingerbedienung der Stiftbedienung gegenüberzustellen.

Die Zielsetzung der Untersuchung ist die Gestaltung und Bewertung eines integrierten Lotsenarbeitsplatzes unter Einsatz innovativer Visualisierungs- und Interaktionsmedien mit spezieller Berücksichtigung von ergonomischen Nutzeranforderungen.

Im Rahmen des Projektes iPort soll das bestehende Tower-HMI so erweitert werden, dass u.a. Ergebnisse aus einer gekoppelten AMAN/DMAN/SMAN Planung sinnvoll dargestellt werden können. Dabei steht die visuelle Darstellung von Planungsergebnissen und die Schaffung einer Schnittstelle zur interaktiven Kommuni-

kation zwischen Lotse und Planung im Vordergrund. Die Ergebnisse müssen derart aufbereitet und präsentiert werden, dass ein Lotse die Möglichkeit erhält, die Planung zu verstehen und nachzuvollziehen. Damit soll er in die Lage versetzt werden, Planungsergebnisse an seine Bedürfnisse durch Interaktion mit dem System anzupassen.

Abkürzungen

AFS	Advanced Function Simulator (ATM-Forschungssimulator)
AMAN	Approach Manager
DMAN	Departure Manager
HMI	Human Machine Interface
iPort	Innovativer Flughafen (BMW-gefördertes Projekt)
SMAN	Surface Manager
TOSIM3D-1	Tower-Simulator mit 360° Rundumsicht
TOSIM3D-2	Tower-Simulator mit 180° Blickfeld
WFF	Wettbewerbsfähiger Flughafen (BMW-gefördertes Projekt)



gefördert durch
das BMWi



Untersuchung zur Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen in Kroatien

Andreas Udovic (TE/A), Prof. Dr. Joachim Vogt (Technische Universität Darmstadt)

Einleitung

Im Jahre 2008 wurde der Bereich Aeronautical Solutions der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) beauftragt, eine Untersuchung zur Belastung und Beanspruchung von Fluglotsen in Kroatien durchzuführen. Auftraggeber war die kroatische Flugsicherung (CCL), wobei die Gewerkschaft der kroatischen Fluglotsen von Beginn an in die Untersuchungen mit einbezogen worden war. Um den Auftrag durchzuführen, beteiligten sich sowohl verschiedene DFS-interne Bereiche als auch externe Partner an diesem Projekt. Aus der DFS beteiligten sich die Bereiche Akademie und Forschung und Entwicklung, als externe Partner wurden die Forschungsgruppe Arbeits- und Ingenieurpsychologie der Technischen Universität Darmstadt (Leitung: Prof. Dr. Joachim Vogt), sowie das Flugmedizinische Institut des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln gewonnen. Das Projektmanagement stellte der o.e. Bereich Aeronautical Solutions.

Zusammen mit den Projektpartnern wurden sowohl Towerarbeitsplätze, als auch Approach (APP) und En-Route (ACC) Arbeitsplätze in Kroatien arbeitswissenschaftlich untersucht. Die Vorgehensweise bei der Untersuchung soll in diesem Artikel vorgestellt werden. Das Projekt wurde 2010 erfolgreich beendet.

Fragestellungen des Projekts

Aufgrund der Beauftragung durch die kroatische Flugsicherung und in Diskussion mit dem Auftraggeber und der beteiligten Gewerkschaft (beide Gruppen vertreten im Lenkungsgremium) wurden folgende vier Untersuchungsschwerpunkte festgelegt. In den Klammern sind die untersuchten Bereiche aufgeführt.

- Lang- und kurzfristige Personalplanung (Arbeitszeitregelung, Schicht- und Pausenregelung).
- Hard- und Software-Ergonomie (Ergonomie der Arbeitspositionen, Arbeitsanalyse,

Mensch-Maschine-Schnittstellen, Automation und Arbeitsbelastung, Vertrauen in Automatisierung, Situationsbewusstsein).

- Physiologische Beanspruchung, insbesondere der Vergleich zwischen Sommer- und Winterverkehr.
- Unternehmenskultur und Zusammenarbeit (Unternehmenskultur, Sicherheitskultur, Arbeitszufriedenheit, Zusammenarbeit).

Die einzelnen Unterpunkte wurden anschließend gemeinsam priorisiert, um so die Schwerpunkte der Untersuchung festzulegen.

Generelle Vorgehensweise bei der Untersuchung

Aufgrund der festgelegten Aufgabenschwerpunkte wurde eine Vorgehensweise vereinbart, die sich aus vier Stufen zusammensetzte (siehe Abbildung 1).

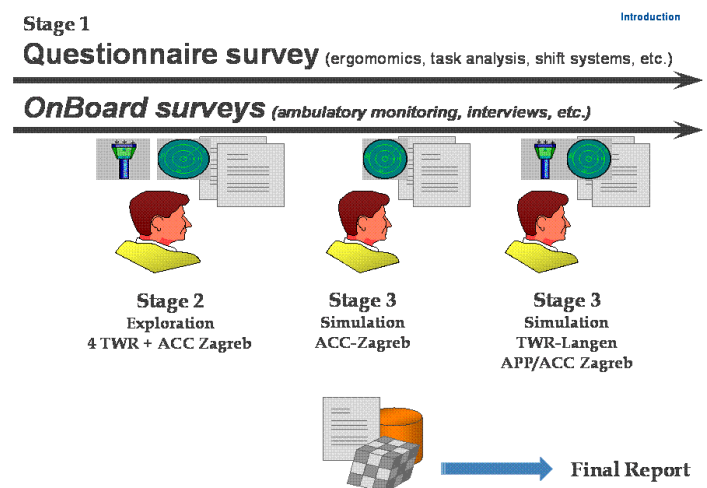


Abb. 1: Grafische Darstellung des Untersuchungsablaufs

Die erste Stufe umfasste einen umfangreichen Fragebogen, der an alle kroatischen Fluglotsen verteilt wurde. Mit Hilfe dieses Fragenbogens wurden insbesondere Daten zu den Schwerpunktthemen Personalplanung, Schichtarbeit und Unternehmenskultur erhoben. Aber auch Fragen

bezüglich der Mensch-Maschine-Schnittstellen und der Automation wurden erhoben.

Die Stufe 2 umfasste eine umfangreiche Exploration der Arbeitssituation der kroatischen Fluglotsen vor Ort. Dazu wurden an allen Arbeitsplätzen (Tower, APP, ACC) sowohl im Winter, als auch im Sommer, physiologische Messungen und Befragungen vorgenommen.

Die Ergebnisse der Stufe 2 wurden genutzt um die wichtigsten Belastungsfaktoren für die jeweiligen Arbeitsplätze zu bestimmen. Auf dieser Basis wurden in der Stufe 3 Simulationen für alle drei Arbeitsplätze aufgesetzt.

Basierend auf den Ergebnissen der drei Stufen wurde dann der Abschlussbericht erstellt.

Stufe 1: Fragebogen

Für die Befragung der Fluglotsen wurde ein umfangreicher Fragebogen in englischer Sprache entwickelt und im Lenkungs-gremium abgestimmt. Der Fragebogen wurde in Teilen jeweils speziell für die einzelnen Arbeitsbereiche angepasst und umfasste folgende Untersuchungspunkte:

- Soziodemografische Daten
- Schicht- und Pausenplanung, sowie Auswirkungen auf die Betroffenen (z.B. soziale Kontakte)
- Hardware-Ergonomie
- Arbeitsanalyse und Organisation
- Psychosomatische Beschwerden (dieser Teil des Fragebogens wurde in kroatischer Sprache verfasst)
- Arbeitszufriedenheit
- Zufriedenheit mit den ATC Systemen (Software-Ergonomie)
- Arbeitsbelastung
- Vertrauen in die Automatisierung
- Situationsbewusstsein während der Arbeit
- Organisation, Kommunikation und Sicherheitskultur
- Teamarbeit

Der Fragenbogen umfasste ca. 43 Seiten mit 86 Fragen, die jedoch weiter untergliedert waren.

Die Beantwortung dieses Fragebogens dauerte ca. 1 bis 1,5 Stunden.

216 Fragebogen wurden an die DFS zurückgesandt und ausgewertet, wobei 2 Fragebogen keinem Arbeitsplatzbereich zugeordnet werden konnten. Abbildung 2 zeigt den Rücklauf nach den drei unterschiedlichen Arbeitsbereichen.

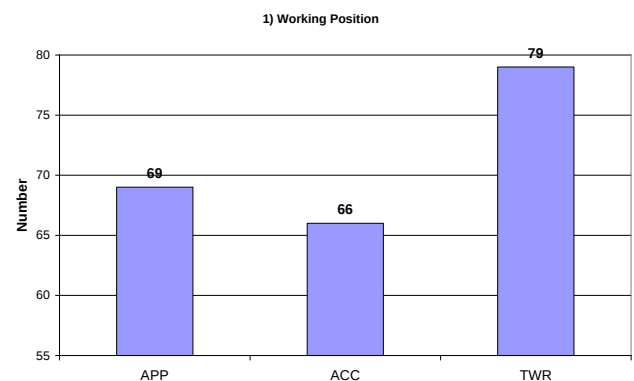


Abb. 2: Rücklauf der Fragebogen nach Arbeitsplatz
Insgesamt wurde eine Rücklaufquote von über 50% erreicht.

Stufe 2: Exploration

In dieser Stufe wurden physiologische Messungen und Befragungen an Arbeitsplätzen an verschiedenen Standorten in Kroatien durchgeführt. Diese Messungen wurden sowohl während des Winters (Februar), als auch im Sommer (Juni und Juli) durchgeführt. Da sich das Verkehrsaufkommen insbesondere an den kleineren Flugplätzen zwischen Winter (Unterforderung) und Sommer (Überforderung) stark unterscheidet wurde auf diesen Untersuchungspunkt vom Lenkungs-gremium besonders Wert gelegt.

Die Untersuchungen wurden an folgenden Standorten durchgeführt:

- Zagreb (ACC, APP und Tower)
- Pula (APP und Tower)
- Zadar (APP und Tower)
- Split (APP und Tower)

Bei der Auswahl der Standorte wurde darauf geachtet, einen möglichst repräsentativen Querschnitt der kroatischen Verkehrsverhältnisse abzubilden.

Jede Messung am Arbeitsplatz umfasste drei Tage. Insgesamt wurden pro Arbeitsplatz und

Niederlassung jeweils sechs Lotsen für zwei Stunden untersucht. Dabei wurden vor, während und nach jedem Arbeitsabschnitt folgende physiologische Daten erhoben:

- Herzrate und Puls
- Atmung
- Systolischer Blutdruck
- Diastolischer Blutdruck
- Bewegung als Kontrollvariable

Durch die Ruhemessung vor und nach der Arbeit konnte der Anstieg der physiologischen Daten während der Arbeit als Beanspruchungsindikator berechnet werden.

Zudem schätzte jeder beteiligte Lotse alle 10 Minuten seine Beanspruchung ein. Dazu wurde der NASA-Task Load Index (NASA-TLX) verwendet, auf welchem der Lotse seine mentale und zeitliche Belastung auf einer Skala zwischen 0 und 100 einschätzen sollte.

Als Belastungsfaktor wurden die Verkehrsdaten in 10-Minuten-Intervallen erhoben. Zudem wurden Besonderheiten während der Messung durch die Versuchsleiter notiert. Nach jeder Untersuchung fand ein Interview mit den beteiligten Fluglotsen statt. Dabei wurde auch nach Verbesserungsmöglichkeiten an dem jeweiligen Arbeitsplatz gefragt.

Des Weiteren untersuchten die Versuchsleiter den jeweiligen Arbeitsplatz nach arbeitswissenschaftlichen Kriterien (z.B. Ergonomie, Arbeitsplatzgestaltung).

Insgesamt nahmen 56 Lotsen an der Untersuchung in den verschiedenen Niederlassungen teil. Abbildung 3 zeigt den Tower und das APP Gebäude in Split.



Abb. 3: Tower und APP in Split

Stufe 3: Simulation

Basierend auf den Ergebnissen der Exploration in der Stufe 2 wurden für alle drei Arbeitsbereiche Simulationen aufgesetzt. Die Towersimulation wurde Anfang November 2009 in Langen am Towersimulator (TOSIM) der DFS durchgeführt. Die APP und ACC Simulationen folgten Mitte November im Simulator der kroatischen Flugsicherung in Zagreb.

Für die Towersimulation wurden aufgrund der Ergebnisse der Stufe 2 folgende vier unabhängige Variablen definiert:

- Anzahl der Luftfahrzeuge unter Kontrolle (A)
- Koordinationsaufwand (E)
- Potentielle Konflikte (C)
- Verkehrsmix (Verhältnis Jets zu langsameren Flugzeugen) (M)

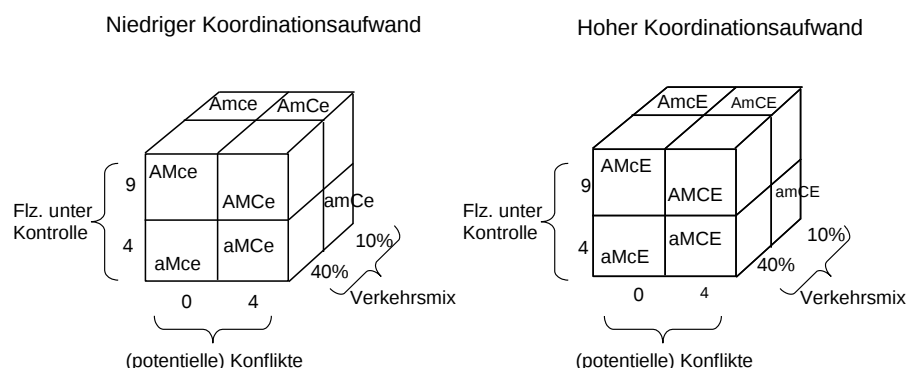


Abb. 4: Verkehrskombinationen für die Towersimulation; A, a: Viele bzw. wenige Flugzeuge unter Kontrolle; M, m: Mischung des Verkehrs hoch mit 10% Jets oder niedrig mit 40% Jets; C, c: Viele bzw. wenige Konflikte; E, e: hoher bzw. niedriger Effort (Koordinationsaufwand)

Alle Variablen wurden jeweils in einer hohen und niedrigen Ausprägung simuliert, so dass sich insgesamt 16 Kombinationen ergaben. Abbildung 4 stellt die unterschiedlichen Variabelkombinationen für die Towersimulation dar. Kleinbuchstaben stehen dabei für kleine Werte, Großbuchstaben für große Werte.

An der Simulation in Langen nahmen insgesamt neun kroatische Towerlotsen aus verschiedenen Niederlassungen teil. Jeweils drei Lotsen beteiligten sich zur gleichen Zeit an der Simulation. Pro Gruppe wurden dreieinhalb Tage benötigt, um die 16 Runs und das Training durchzuführen. Jeder Simulationsrun dauerte 20 Minuten.

Während der Simulation wurden dieselben physiologischen Parameter gemessen wie bei der Stufe 2 „Exploration“.

Vor- und nach jedem Run wurden die physiologischen Ruhewerte gemessen, um sie mit den Werten während der Arbeit zu vergleichen. Ebenso schätzten die Lotsen ihre Arbeitslast während des Runs alle 10 Minuten ein. Nach jedem Run wurde der Lotse hinsichtlich seiner Arbeitslast befragt.

Die APP und ACC Simulationen wurden in Zagreb nach dem gleichen Schema durchgeführt. Allerdings waren die unabhängigen Variablen unterschiedlich. Für die APP Simulation wurden folgenden Variablen untersucht:

- Anzahl der Luftfahrzeuge
- Koordinationsaufwand
- Potentielle Konflikte
- Verkehrsmix (Verhältnis IFR zu VFR)

Für die ACC Simulation lauteten die Variablen:

- Anzahl der Luftfahrzeuge
- Koordinationsaufwand
- Potentielle Konflikte
- Verkehrsmix (Verhältnis steigende bzw. sinkende Luftfahrzeugen zu Luftfahrzeugen, die in der gleichen Höhe bleiben)

Wie bei der Towersimulation nahmen jeweils 9 Lotsen an der Simulation teil. Die ACC Lotsen kamen aus Zagreb, während die APP Lotsen aus verschiedenen Niederlassungen kamen. Die Dauer pro Run betrug ebenfalls 20 Minuten. Die

durchgeführten Messungen entsprachen den Messungen der Towersimulation.

Zusammenfassung

Mit Hilfe der gewählten Vorgehensweise, einer Kombination aus Fragebogenuntersuchung, Messungen und Untersuchungen vor Ort sowie Simulationen konnten zum einen Belastungsfaktoren identifiziert und zum anderen die Beanspruchung der Fluglotsen in den verschiedenen Bereichen ermittelt werden.

Auf Basis dieser Ergebnisse konnten Empfehlungen hinsichtlich der Arbeitszeitregelung (tägliche Arbeitszeiten, Pausenregelungen, etc.) und der Arbeitsplatzgestaltung (Ergonomie) abgeleitet werden. Zudem wurden wichtige Erkenntnisse im Bereich der Unternehmenskultur gewonnen, die eine Verbesserung der Zusammenarbeit innerhalb der Flugsicherung ermöglichen können.

Ebenfalls konnten wichtige Erkenntnisse im Bereich der Hard- und Software-Ergonomie ermittelt werden, die zu einer Weiterentwicklung der eingesetzten ATC Systeme führen können.

An dieser Stelle möchten sich die Autoren bei allen Projektbeteiligten bedanken, insbesondere bei den kroatischen Partnern, die diese aufwendige Untersuchung erst ermöglicht haben.

Abkürzungen

ACC	Area Control Centre
APP	Approach
ATC	Air Traffic control
CCL	Croatia Control
DFS	DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
IFR	Instrumental Flight Rules
NASA-TLX	NASA Task Load Index
TOSIM	Tower Simulator der DFS
VFR	Visual Flight Rules

Realzeitsimulation im Rahmen des Forschungsprojektes QAI („QICE ATM Integration“)

Julia Gundermann (TE/S), Stefan Schwanke (TE/A)

1. Einleitung

Der folgende Beitrag beschreibt Simulationsdesign und Ergebnisse einer im November 2009 durchgeführten einwöchigen Realzeitsimulation mit Lotsenbeteiligung im Rahmen des national geförderten Forschungsprojektes QAI, welches im März 2010 nach 39 Monaten Laufzeit ordnungsgemäß endete. Es wird dabei auf einen ebenfalls in „TE im Fokus“ erschienenen Artikel angeknüpft, der im Wesentlichen auf die Verbund- und Projektstruktur, Zeitplanung und den Bezug zu den förderpolitischen Beiträgen des Vorhabens eingeht [1]. Auf eine nochmalige Aufzählung dieser eher administrativen Vorgaben wird daher im Folgenden verzichtet.

2. Hintergrund des Projekts

Das national geförderte Verbundvorhaben HiT („Hochauftriebstechnologien der neuen Generation“) unter Federführung der Airbus Operations GmbH hatte das Ziel, innovative Hochauftriebstechnologien und -konfigurationen für zukünftige Flugzeugkonzepte aufzuzeigen, zu untersuchen, zu validieren und im Gesamtflugzeugkontext zu bewerten [2]. Insgesamt waren im Verbund HiT 11 Partner vorwiegend aus dem Bereich Flugzeugherstellung und Hochauftriebstechnik zusammengeführt [3]. Die DFS war der einzige Flugsicherungsdienstleister ([1]). Mit diesem Engagement im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms LuFo IV-1 mit einem Eigenantrag wurde dieser Bedeutung, gerade durch die frühzeitige Begleitung des Flugzeugs- bzw. Systementwurfs aus ATC-Sicht und der Loslösung von der bisher üblichen Betrachtungsweise des Betriebs eines einzelnen Flugzeuges, Rechnung getragen. Von zentraler Bedeutung für die Forschung und Entwicklung ist dabei die Entwicklung neuartiger Luftfahrzeuge und dazu passender umweltfreundlicher Luftverkehrskonzepte und Betriebsverfahren.

Um einen derartigen Entwurf fortwährend mit Erfolg betreiben zu können, ist es erforderlich, diesen mit dem bestehenden und absehbar zukünftigen Flugsicherungssystem frühzeitig in Ein-

klang zu bringen. Erst diese interdisziplinäre Verbindung ermöglichte die mit dem Projekt QICE („Quiet Innovative Commuter“) im Rahmen des Verbundes HiT angestrebte ganzheitliche Untersuchung eines alternativen und profitablen kurzstartfähigen Luftverkehrskonzeptes für den Punkt-zu-Punkt-Kurzstreckenbetrieb, möglichst zwischen zwei innerstädtischen Verkehrsflughäfen (sog. „QICE-Ports“), mit bis zu 150 Passagieren. Zweck des analysierten Verkehrssystems ist eine Verringerung der Umweltauswirkungen des Luftverkehrs sowie eine Steigerung der Transportleistung und Effizienz des Gesamtsystems unter gleichzeitiger Beibehaltung des derzeit sehr hohen Sicherheitsniveaus.

Im Hinblick auf die Flugsicherung waren die wesentlichen Themen in diesem Zusammenhang die Entwicklung und Implementierung geeigneter An- und Abflugverfahren für den Zeitraum 2020+ sowie die Verträglichkeitsüberprüfung mit weiterhin vorhandenen, konventionellem Luftverkehr. Von Flugzeugseite wurde besonders auf Steig- und Sinkraten sowie Anfluggeschwindigkeiten der QICE-Flugzeuge im Nahbereich eines Flughafens Wert gelegt. In einem nächsten Schritt wurden die operationellen Verfahren für den Anflug eines QICE-Flugzeuges entwickelt und anschließend im Rahmen einer Realzeitsimulation validiert. Die in der Validierung anzuwendenden Methoden orientierten sich an international gängigen Standards ([4], [5]). Die verschiedenen Flugzeugentwürfe wurden von Universitäten und dem DLR geliefert (s. auch Abb. 2). Deren Implementierung in die Realzeitsimulation erfolgte über die standardisierte BADA-Schnittstelle.

3. Zielsetzung und Hypothesen

Ziel der Untersuchung war es, Aussagen zur subjektiven Arbeitsbelastung und Akzeptanz bezüglich der Integration von QICE-Flugzeugen in den Luftverkehr zu finden. Weiterhin sollte untersucht werden, ob sich und in welchem Ausmaß sich dieser Flottenmix mit herkömmlichen Verfahren auf die Sicherheit, Effizienz, Kapazität und Umweltaspekte des Systems Luftverkehr auswirken würde.

Folgende Hypothesen wurden aufgestellt:

- **Hypothese 1 – Integrierbarkeit und Arbeitbarkeit**
Die QICE-Flugzeuge sind hinsichtlich ihres Flugleistungsverhaltens in den konventionellen Verkehr integrierbar und beeinflussen die Arbeit der Fluglotsen nicht negativ.
- **Hypothese 2 – Sicherheit**
Die Integration von QICE-Flugzeugen hat für die teilnehmenden Lotsen hinsichtlich der Sicherheit keine negativen Auswirkungen auf die Bearbeitung des Verkehrs.
- **Hypothese 3 – Effizienz und Kapazität**
Die Integration von QICE-Flugzeugen führt im Vergleich zum Referenzszenario bei gleichbleibender Startnachfrage zu einer Erhöhung der Landerate.
- **Hypothese 4 – Umwelt**
Die QICE-Flugzeuge lassen erste (indirekte¹) positive Ergebnisse hinsichtlich der Lärm- und Schadstoffreduktion erwarten.

4. Untersuchungsmethodik

Zur Überprüfung dieser Hypothesen wurde eine Realzeitsimulation am AFS (Forschungssimulator) mit operativem Personal gewählt. Nur so konnte gewährleistet werden, valide Aussagen über die Handhabbarkeit, die Akzeptanz, die Arbeitslast und eventuell auftretende Probleme im Hinblick auf die Integration der QICE-Flugzeuge ableiten zu können.

¹ Indirekt an dieser Stelle bedeutet, dass Schlüsse bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt mit Hilfe des Einsatzes von Verkehrsdaten, wie Flugzeit und -dauer, Flughöhe und Kraftstoffverbrauch gezogen wurden

4.1. Untersuchungsindikatoren

Während der Simulation wurden sowohl objektive Daten (z.B. Verkehrsdaten) als auch subjektive Daten (z.B. Einschätzungen und Meinungen der Lotsen aus Fragebögen) aufgezeichnet und zur Auswertung herangezogen.

- **Integrierbarkeit und Arbeitbarkeit:** Die Möglichkeit der Integration von QICE-Flugzeugen in den konventionellen Luftverkehr und damit eng verbunden das Arbeiten mit den neuartigen Luftfahrzeugen konnte im Wesentlichen unter Zuhilfenahme subjektiver Einschätzungen hinsichtlich mentaler und physischer Beanspruchung, Leistungsvermögen und Frustrationsgrad beurteilt werden. Ergänzt wurden diese mit objektiven Daten, wie Anfluggeschwindigkeiten, Sinkraten und die Anzahl der Fehlanflüge bzw. der Landungen pro Zeiteinheit.
- **Sicherheit:** Die Auswirkungen der QICE-Flugzeuge auf das persönliche Sicherheitsgefühl wurden insbesondere durch die Analyse der subjektiven Aussagen der Versuchsteilnehmer bewertet. Dazu gehörten sowohl das empfundene Situationsbewusstsein aus den Online-Fragebögen als auch Aussagen aus den an die Simulationsläufe anschließenden Interviewrunden. Ferner wurden objektive Daten, wie die Sektorlast und die Staffelnungswerte zwischen den anfliegenden Flugzeugen, zur Bewertung herangezogen.
- **Effizienz und Kapazität:** Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurde die Kapazität, besser der Durchsatz, als die Anzahl von Landungen und Starts² definiert, die innerhalb einer bestimmten Zeiteinheit realisiert werden konnten. Für die Einschätzung der Effizienz wurden zusätzlich die Pünktlichkeit, Landesequenz und Verspätungen betrachtet.
- **Umwelt:** Da am AFS derzeit nicht die Möglichkeit besteht, umfassende Untersuchungen zur Lärm- und Schadstoffemissionsausbreitung durchzuführen, wurden objektive Daten, wie Flugzeiten, Flughöhe, Fluggeschwindigkeiten, Sektorverweilzeiten sowie der prozentuale An-

² Startvorgänge wurden aufgrund der Personalsituation innerhalb der Simulationswoche nicht von Lotsen kontrolliert, sondern bei ausreichendem Staffelnungsabstand zwischen den Landevorgängen vom Supervisor der Simulation automatisch eingefügt.

teil der Zeit in der in niedrigen Höhen geflogen wurde, genutzt, um eine mittelbare Einschätzung bezüglich des Umwelteinflusses von QICE-Flugzeugen abzugeben.

4.2. Versuchsaufbau / Simulationsumgebung

Das Flughafenlayout, die Luftraumstruktur und die standardmäßigen An- und Abflugrouten des generischen innerstädtischen Flughafens („QICE-Port“, virtueller ICAO-Code EDDQ) wurden auf Basis des ehemaligen Flughafennahbereichs Berlin-Tempelhof (EDDI) erstellt (s. auch Abbildung 1 und 3). Im Gegensatz zu EDDI verfügte der entwickelte Beispielflughafen über nur eine Start- und Landebahn in Ost-West-Ausrichtung mit einer Länge von 1.600 m, die es nicht erlaubt, Flugzeuge der Serie A320 und größer starten bzw. landen zu lassen.

Abbildung 1 veranschaulicht die untersuchten Sektoren im Nahbereich des simulierten Flughafens (Bildmitte) bei Betriebsrichtung West.

Nicht nur der Luftraum, auch die Verkehrsströme

auf den Flugrouten wurden, um eine möglichst hohe Realitätsnähe zu erzeugen, auf Grundlage der Berliner Gegebenheiten erstellt, wo der Großteil - 90 Prozent - der Flugzeugbewegungen über Süden abgewickelt wird. Darin begründet wurden während der Simulation lediglich die Positionen der Sektoren DBAS (Pick-Up Süd) und DBAT (Feeder) besetzt, wobei der geringe Flugverkehr aus dem Norden zusätzlich der Verantwortung des Pick-Up Lotsens unterlag.

Die angrenzenden Sektoren waren zwar Teil des Simulationsgebiets, das sich vertikal bis zur Flugfläche 100 erstreckte, jedoch wurde der Verkehr in diesen Lufträumen gemäß den hinterlegten Flugplänen automatisch vom Simulator gesteuert.

4.3. Experimentelles Design

Im experimentellen Design wird zum einen festgelegt, welche äußeren Faktoren während der Simulation variiert werden (unabhängige Variablen) und welche Faktoren sich in Folge dieser Variation wahrscheinlich verändern und in der

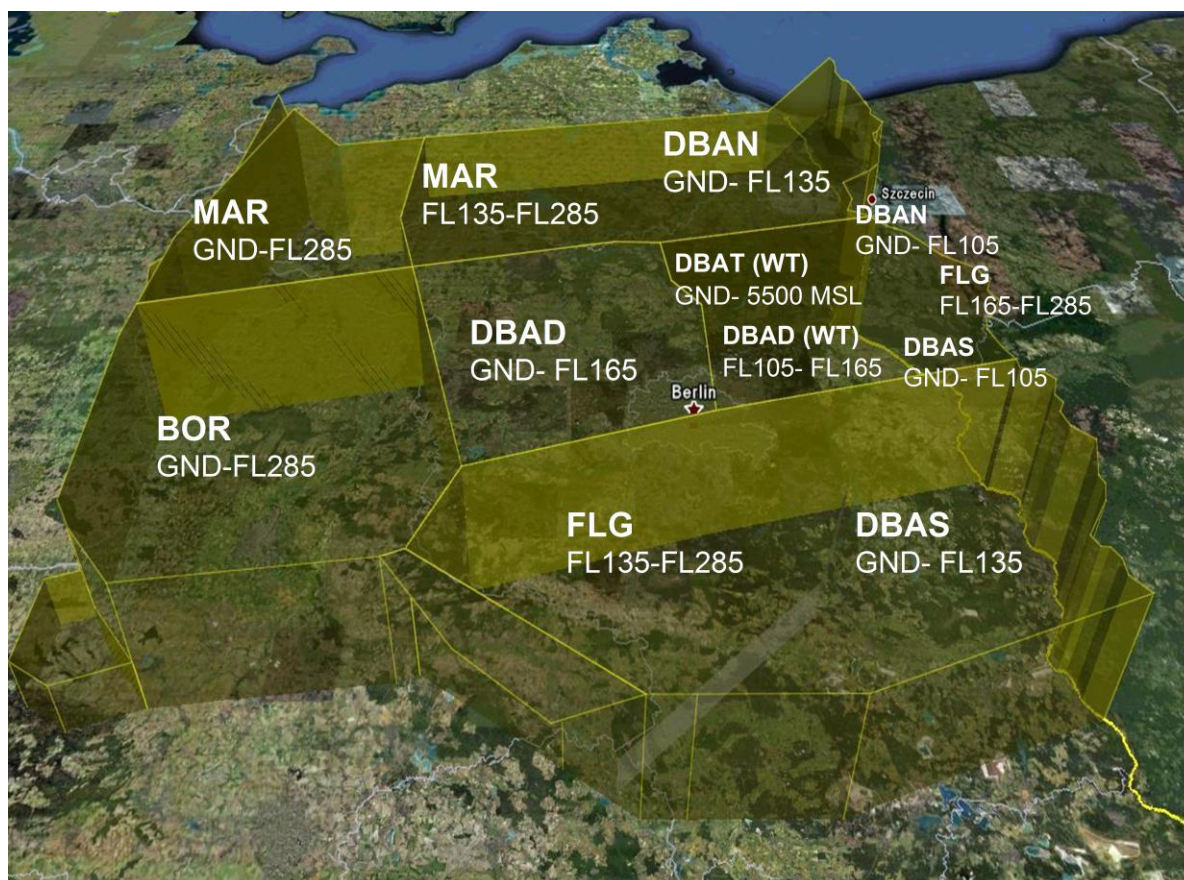


Abb. 1: Schematische Darstellung der Sektorisierung für Betriebsrichtung West, modifiziert aus Google Earth

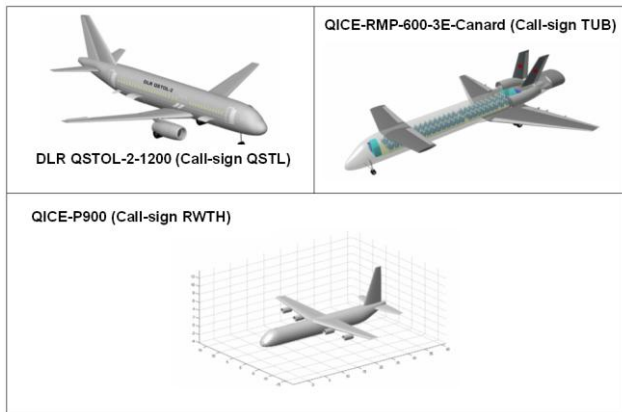


Abb. 2: Übersicht über die implementierten Flugzeugentwürfe (Quelle: TU Berlin, DLR, RWTH Aachen)

Untersuchung gemessen werden (abhängige Variablen).

Abhängige Variablen lassen sich weiterhin unterteilen in subjektive und objektive Daten. Erstere werden meist mit Hilfe von Befragungen erhoben und zeichnen sich dadurch aus, dass sie die Einschätzung einer Person wiedergeben. Objektive Daten hingegen zeichnen sich durch exakte Messbarkeit im technischen Sinne aus, d.h. die Daten sind frei von subjektiven Verzerrungen.

Die unabhängigen Variablen wurden über zwei experimentelle Faktoren mit je drei Faktorstufen

abgebildet. Drei verschiedene Anflugrouten (R1 bis R3), sprich verschiedene Anflugwinkel und Transitions³, wurden mit Hilfe des Faktors „Routenart“, wie in Abbildung 3 dargestellt, realisiert.

- R1: 5°-ILS Anflugwinkel im Endanflug mit stark verkürzter Transition für die Anflüge aus dem Süden über Wegpunkt LILKI (nur von QICE-Flugzeugen aus Richtung RUDAK, MILGU, AKUDI geflogen).
- R2: 5°-ILS Anflugwinkel im Endanflug mit leicht verkürzter Transition für die Anflüge aus dem Süden über Wegpunkt HP001 (nur von QICE-Flugzeugen aus Richtung RUDAK, MILGU, AKUDI geflogen).
- R3: 3°-ILS Anflugwinkel für alle anderen konventionellen Flugzeugtypen.

Den zweiten experimentellen Faktor bildete die Ausgestaltung des Flottenmixes. Die in den Szenarien zum Einsatz kommenden Flugzeuge wurden folgendermaßen variiert (s. Abbildung 2):

- Q1: Es fliegen nur QICE-Luftfahrzeuge des Entwurfs der TU Berlin zusammen mit Referenzflugzeugen.
- Q2: Alle drei entworfenen QICE-Luftfahrzeugtypen (TU Berlin, RWTH Aachen, DLR) kommen zusammen mit den Referenzflugzeugen in einem Simulationslauf zum Einsatz.
- Q3: Es fliegen nur Referenzflugzeuge (ohne QICE-Luftfahrzeuge).

Jedes Szenario bestand aus geplanten 22 Anflügen und 18 Abflügen innerhalb einer Stunde. Die Gesamtzahl von 40 Luftfahrzeugen war in allen Szenarien gleich und entsprach folglich einer Hochlastsituation eines Flughafens mit einer Start- und Landebahn.

Abhängig vom Faktor „Luftfahrzeug“ setzte sich der Flugzeug-

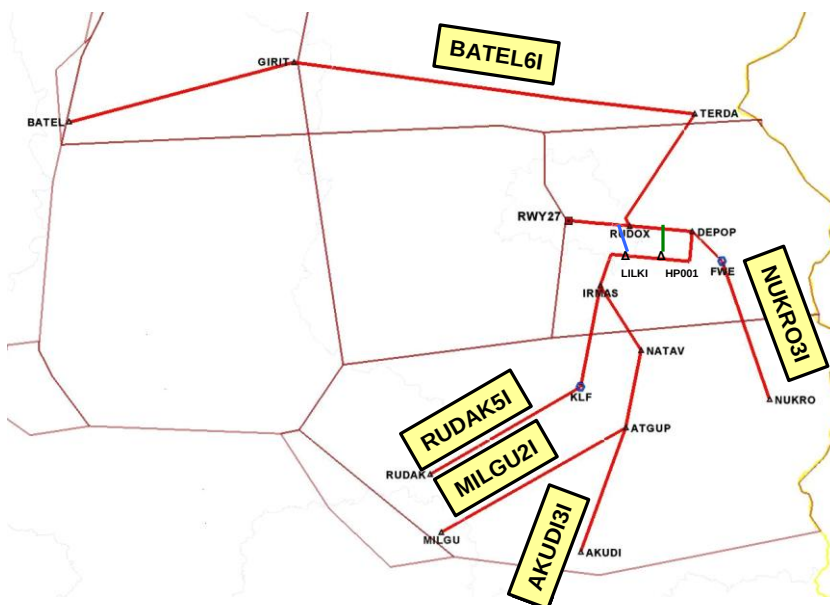


Abb. 3: Anflugrouten am Beispielflughafen für Betriebsrichtung West

³ Transitions gibt es bei SIDs und STARs. Sie stellen eine Art Bindeglied zum eigentlichen Ab- bzw. Anflug dar und bestehen in der Regel aus einem oder zwei zusätzlichen Wegpunkten, die der SID nachgelagert bzw. der STAR vorgelagert sind.

mix für die Szenarien unterschiedlich zusammen.

- Das Referenzszenario (Q3) bestand ausschließlich aus konventionellen Flugzeugen. Diese standen im Verhältnis 36% CRJ1, 28% RJ85 und 36% D228 zueinander.
- Im Falle der Integration der steil anfliegenden Luftfahrzeuge (Q1, Q2) war die Verteilung 50% QICE-Flugzeuge und 50% konventionelle Flugzeuge, wobei diese sich aus 18% CRJ1, 14% RJ85 und 18% D228 zusammensetzten. Die 50% QICE-Flugzeuge bei den Mischszenarien (Q2) wiesen zudem eine Verteilung der Flugzeuge von je einem Drittel TU Berlin (TUB), RWTH und DLR (QSTL) auf, wohingegen im Szenario Q1 lediglich QICE-Flugzeuge des Typs TUB zum Einsatz kamen.

Aus der zuvor dargestellten Wahl der unabhängigen Variablen ergab sich somit für die Untersuchung ein 3x3 Versuchsdesign. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Versuchsbedingungen und der Anzahl der erhobenen Simulationsläufe je Bedingung, wobei jede Versuchsbedingung während der Simulation mindestens einmal dargeboten wurde. Es ist erkennbar, dass nicht alle Faktorkombinationen auch in einen Simulationslauf mündeten, da konventionelle Flugzeugtypen per Definition nicht auf den Routen R1 und R2 fliegen durften.

Nach den ersten Tests mit operativem Personal eine Woche vor der eigentlichen Simulation erfolgte eine Erweiterung der unabhängigen Variablen. Um eine höhere Realitätsnähe abzubilden, wurde ein weiteres Referenzszenario sowie ein sogenanntes Integrationsszenario definiert, in welchen die Lotsen bei der Verkehrsführung sich nicht zwingend an die gegebenen Wegpunktvorgaben⁴ halten mussten („Free Flight Modus“). In diesem Modus wurden lediglich zwei Szenarien miteinander verglichen, die sich aus einer Kombination folgender verschiedener Faktorstufen ergaben:

- Szenario 1 (R3Q2F) beinhaltete alle QICE-Flugzeuge gemischt mit den Referenzflugzeugen und einem Anflugwinkel von 3° (Integrationsszenario).

- Szenario 2 (R3Q3F) beinhaltete lediglich Referenzflugzeuge. Allerdings wurden diese Luftfahrzeuge ohne Vorgabe von Wegpunktrestriktionen kontrolliert.

Insgesamt wurden acht Messungen für die Szenarien mit Wegpunktvorgaben und vier unter „Free Flight“-Bedingungen durchgeführt (s. Tabelle 1).

		Flottenmix		
		Q1	Q2	Q3
Routenart	R1	1	2	
	R2	1	2	
	R3			2
	R3F		2	2

Tab. 1: Übersicht der Kombinationsmöglichkeiten und durchgeführten Szenarien

4.4. Versuchsdurchführung

Vom 16.11.09 bis 20.11.09 wurden Realzeitsimulationen im Forschungssimulator unter Beteiligung von insgesamt sechs verschiedenen Flugverkehrskontrolllotsen (Frankfurt Approach, EBG 10) durchgeführt. An einem Simulationstag bildeten jeweils ein Pick-Up Lotse und ein Feeder ein Team, wobei jeder mit einem Simulationspiloten im Funkkontakt stand.

Jeder Simulationslauf hatte eine Dauer von ca. 50 Minuten. Davon dienten die ersten fünf Minuten als Vorlaufzeit, um den Verkehr in die TMA einfliegen zu lassen. In den darauf folgenden 35 Minuten erfolgten die Messungen, die anschließend ausgewertet wurden.

Wie Tabelle 1 zeigt, konnten aus betrieblichen Gründen von den ursprünglich geplanten 17 Simulationsläufen nur 12 durchgeführt werden, in denen folgende Informationen erhoben wurden:

- Erhebung objektiver Daten

Objektive Daten wurden mit Hilfe eines in den Simulator integrierten Tools modular für jeden Simulationslauf aufgezeichnet. Diese lieferten Informationen über die Sektorlast, die Sektorverweildauer, den Anteil des Vertikalverkehrs und die auftretenden Konfliktsituationen („Loss-of-Separation“). Weiterhin beinhalteten die aufgezeichneten Daten die Landesequenzen, sprich den zeitlichen und räumlichen Abstand zwischen gelandetem und nachfolgendem Luftfahrzeug, die Flugspuren

⁴ Es wurde in den Simulationen für den Wegpunkt DEPOP eine Überflugbedingung in mindestens 4000 ft Höhe gesetzt (s. Abbildung 3).

sämtlicher Luftfahrzeuge, die Anfluggeschwindigkeit, die Anzahl der Freigaben durch den Lotsen sowie die Pünktlichkeit der Flugzeuge an der Bahn.

➤ Erhebung subjektiver Daten

Neben den zuvor beschriebenen objektiven Daten wurde während der Simulation eine Vielzahl an subjektiven Daten aufgezeichnet. Für die Erfassung der für die Evaluierung der aufgestellten Hypothesen notwendigen Daten wurden ein Online- und ein Postrun-Fragebogen erstellt. Während eines Simulationslaufs erschien der Online-Fragebogen im Abstand von fünf Minuten auf dem Touch Input Device (TID) und gab den Lotsen die Möglichkeit, innerhalb von 60 Sekunden Fragen zu „Workload“, „Situational Awareness“ und „Frustration“ zu beantworten. Ersteres konnte mittels der ISA („Instantaneous Self Assessment“)-Ratingskala ausgefüllt werden, d.h. die Lotsen hatten die Möglichkeit ihre Beanspruchung zum entsprechenden Zeitpunkt auf einer Skala von 1 („underutilised“) bis 5 („excessive“) anzugeben. Im Gegensatz dazu bestanden die Skalen zu den Punkten „Situational Awareness“ und „Frustration“ aus zehn Stufen von „low“ bis „high“.

Unter Einsatz des elektronischen Postrun-Fragebogens wurde nach jedem Simulationslauf zusätzlich eine umfangreiche Befragung zu „Situational Awareness“, „Workload“ sowie einigen allgemeinen Fragen (z.B. Realitätsnähe des Verkehrsszenarios) und Fragen zur Integrierbarkeit der QICE-Flugzeuge durchgeführt. Die subjektive Erhebung der „Situational Awareness“ erfolgte unter Einsatz des „Situational Awareness for SHAPE (SASHA)“-Fragebogens der EUROCONTROL [6]. Dieser besteht aus sechs unterschiedlichen Aussagen (z.B. „I was ahead of the traffic.“), die von jedem beteiligten Lotsen hinsichtlich des zutreffenden Wahrheitsgehalts von „nie“ bis „immer“ eingeschätzt wurden. Die Fragen zur Beanspruchung enthielten die Aspekte „Mental Demand“, „Temporal Demand“, „Own Performance“ und „Frustration“ aus dem NASA TLX [7]. Die Akzeptanz der Einführung von QICE-Luftfahrzeugen wurde in einem eigens von der DFS entworfenen Fragenteil abgefragt.

Methode	Zeitpunkt	Art der Erhebung
Demografischer Fragebogen	Zu Beginn der Untersuchung	Papierform
Angepasster Kurzfragebogen	Während des Simulationslaufs alle 5 Minuten	Elektronisch
Postrun-Fragebogen	Am Ende jedes Simulationslaufs	Elektronisch
Debriefing	Im Anschluss an jeden Simulationslauf	Strukturiertes Interview / Papier

Tab. 2: Überblick über die Erhebung der subjektiven Daten

Abschließend schloss sich jedem Simulationslauf ein strukturiertes Interview an, in dem Auffälligkeiten, Verbesserungsvorschläge sowie Vor- und Nachteile des jeweiligen Verfahrens bzw. der Verkehrszusammensetzung diskutiert und dokumentiert wurden. Tabelle 2 fasst die Erhebungsmethodik der subjektiven Daten zusammen.

5. Ergebnisse der Untersuchung

Aufgrund der Gegebenheit, dass alle bei der durchgeführten Simulation eingesetzten Lotsen im täglichen Betrieb in der An- und Abflugkontrolle für den Flughafen Frankfurt tätig sind, lässt sich allgemein formulieren, dass das simulierte Verkehrsaufkommen von 40 Flugbewegungen am „QICE-Port“ den Lotsen keine Probleme bereitete.

Für die Interpretation der Resultate aus der Realzeitsimulation ist es an dieser Stelle wichtig zu erwähnen, dass die im Folgenden erläuterten Ergebnisse nur einen repräsentativen Ausschnitt der gesamten Auswertung bilden [8], und angesichts der zum Teil geringen Anzahl der durchgeführten Simulationsläufe pro Szenariotyp (s. Tab.1) nur eine Tendenz aufzeigen können, aber umfangreiche statistisch belastbare Aussagen daraus nicht abgeleitet werden können.

5.1 Ergebnisse mit Bezug zur Integrierbarkeit und Arbeitbarkeit

Wie in Abbildung 4 gezeigt, stimmen die Fluglotsen im Wesentlichen zu, dass mit den verschiedenen Flugzeugentwürfen der Universitäten und

des DLR sicher gearbeitet werden kann, das Flugverhalten gut beherrschbar ist und sie problemlos in ein konventionelles Szenario integriert werden können. Besonders positiv war die Einschätzung bezüglich des Entwurfs der RWTH, einem viermotorigem Turbo-Prop-Entwurf (s. Abbildung 3), dessen Flugleistungen, v.a. Anfluggeschwindigkeit, Sink- und Steigleistungen, offensichtlich den heutigen gewohnten Konzepten wohl sehr nahe kommen.

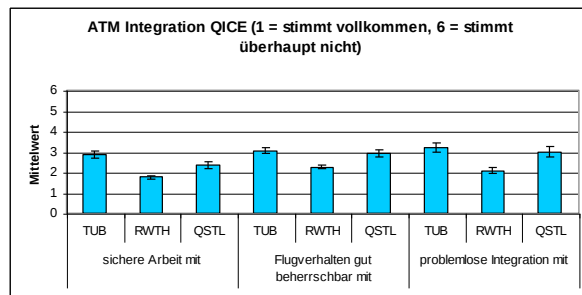


Abb. 4: Empfundene Bewertung des Integrationsverhaltens von QICE-Flugzeugen

Lediglich im zweiten Simulationslauf (R1Q1) kam es zu zwei sicherheitskritischen Staffellungsunterschreitungen zwischen hintereinander anfliegenden Flugzeugen. Allerdings konnten aufgrund dieser Vorfälle keine generellen Schlüsse bezüglich der negativen Auswirkung auf die Sicherheit bei der Integration von QICE-Flugzeugen geschlossen werden. Dies ist darin begründet, dass die Vorkommnisse nur in diesem Simulationslauf, der der zweite überhaupt war, zu verzeichnen waren. Laut der Lotsenaussagen aus den Debriefings mussten sie sich zunächst an die doch anderen Flugeigenschaften einstellen. Nachdem ihnen diese bewusst waren, konnten sie die QICE-Flugzeuge sicher kontrollieren und gut mit ihnen arbeiten. Die in Kapitel 3 formulierte Hypothese hinsichtlich Integrierbarkeit und Arbeitbarkeit kann also vollumfänglich bestätigt werden.

5.2 Ergebnisse mit Bezug zum Sicherheitsempfinden

Für die Analyse der zweiten Hypothese (s. Kap. 3) wurden verschiedene Fragebögen entworfen, welche das Situationsbewusstsein sowie die Beanspruchung der Lotsen erfassen sollten (s. Tabelle 2). Abbildung 5 zeigt als wesentliches Beispiel für die Thematik Sicherheit das subjektiv

empfundene Situationsbewusstsein, welches mit dem EUROCONTROL SASHA Fragebogentyp ermittelt wurde [6]. Die dargestellten Werte sind ein für beide Lotsenpositionen (Feeder und Pick-up) gebildeter Mittelwert, der sich aus den jeweiligen Simulationsläufen zusammensetzt und getrennt nach Szenario aufgetragen ist. Es ist erkennbar, dass das Referenzszenario (R3Q3) mit dem höchsten Wert belegt wird, da es auch der täglichen Arbeit der Lotsen am ehesten entspricht. Die Szenarien mit nur einem QICE-Flieger (Q1) werden hinsichtlich des Situationsbewusstseins von den Lotsen als am schwierigsten bewertet, während hingegen Route 1 und Route 2 relativ gleich beurteilt werden und folglich nur einen geringen Einfluss auf das Situationsbewusstsein zu haben scheinen. Als Erklärung kann an dieser Stelle die ungewohnt niedrige Anfluggeschwindigkeit des betreffenden QICE-Flugzeugs dienen, an die sich die Lotsen erst gewöhnen mussten (s. auch Kap. 5.1).

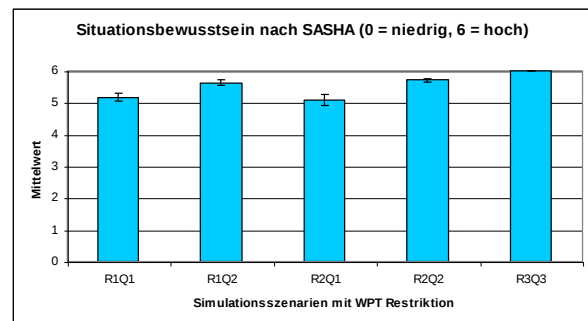


Abb. 5: Empfundenes Situationsbewusstsein der Lotsen für die verschiedenen Szenarien

Als weiteres Kriterium zur Verifizierung der Hypothese wurde die subjektiv geäußerte Beanspruchung auf Basis des sogenannten „Instantaneous Self Assessment (ISA-Rating)“ während eines Simulationslaufs (s. Abbildung 6) herangezogen [7]. Wiederum ist erkennbar, dass sich das Referenzszenario durch eine niedrige Beanspruchung auszeichnet, die sogar bei Routenführung 2 für die QICE-Flugzeuge leicht geringer wird. Im Gegensatz zum vorher erwähnten Situationsbewusstsein scheint bei der Fragestellung nach der Belastung die Art und Weise der Routenführung im Vordergrund zu stehen und weniger der Flottenmix. Es ergeben sich für die anspruchsvollere Route R1 konsequenterweise die höchsten Beanspruchungswerte.

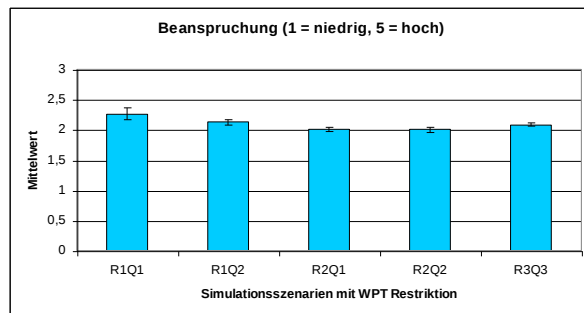


Abb. 6: Empfundene Beanspruchung der Lotsen für die verschiedenen Szenarien

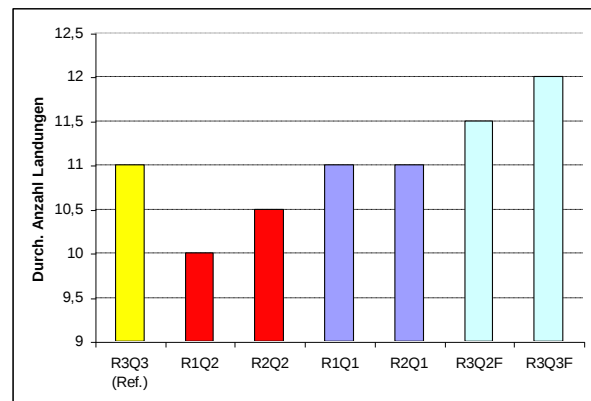


Abb. 7: Gemittelte Anzahl der Landungen pro Simulationslauf

5.3. Ergebnisse mit Bezug zur Effizienz und Kapazität

Die objektive Auswertungsmöglichkeit der aufgetragenen Simulationsdaten bezüglich der pro Szenariotyp gemittelten Anzahl an durchgeführten Landungen nach jeweils 40 Minuten Simulationslaufzeit ergab keine Erhöhung aufgrund der Einführung von QICE-Flugzeugen und deren Betrieb auf den ausgewiesenen (kürzeren) Strecken. Dies ist wohl auf die im Vergleich zum Referenzszenario unveränderten Stafflungswerte und die niedrigere Anfluggeschwindigkeiten der QICE-Flugzeuge zurückzuführen. Erst wenn es dem Feeder erlaubt ist, die Flugzeuge auf den kürzestmöglichen Wegen auf den Endanflug zu lotsen („direct transitions“, Index F in Abbildung 7), kann eine Steigerung der Landerate im Durchschnitt realisiert werden. Untersuchungen zur Pünktlichkeit der Landungen ergaben eine ähnliche Tendenz [8].

Eine Übersicht der Geschwindigkeitsverläufe in einem Bereich ab 50 NM vor der Landung zeigt niedrige Anfluggeschwindigkeiten der D228 und das starke Verzögern des QICE-Entwurfs TUB auf dem Endflug bis 85 kt TAS. Dieses Verhalten führte im Laufe der Simulation zu einer Erhöhung der horizontalen Stafflungswerte von 5 auf 8 NM. Auch das erklärt zum Teil, dass die Landraten in den Szenarien mit QICE-Flugzeugen nicht, wie in Abbildung 7 präsentiert, erhöht werden konnten.

Im Hinblick auf die in Kap. 3 formulierte Hypothese kann die Behauptung folglich nicht bestätigt werden.

Betrachtet man das in den jeweiligen Szenarien umgesetzte Sitzvolumen wie in Abbildung 8 dargestellt, ist ein deutlicher flugroutenunabhängiger Effizienzgewinn in den Simulationsläufen mit QICE-Flugzeugen erkennbar. Dies liegt in der im Vergleich zu Flugzeugen mit ähnlichen Start- und Landebahnlängenanforderungen hohen Anzahl der maximal verfügbaren Sitzplätze⁵ begründet.

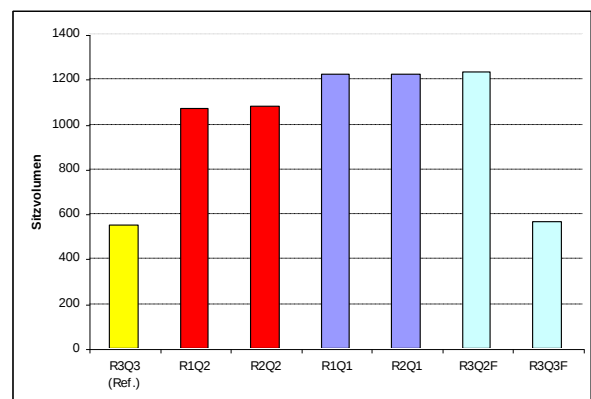


Abb. 8: Gemitteltes Sitzvolumen aus der Summe der Landungen pro Simulationslauf

5.4. Ergebnisse mit Bezug zu Umweltauswirkungen

Da derzeit keine fundierten Aussagen über Lärmkonturen und Schadstoffemissionsverteilungen auf die Flughafenbewohner getroffen werden können, lassen sich mit dem aktuellen Ausbauzustand der Realzeitsimulatoren nur indirekte Einschätzungen mittels Flughöhe, Flugzeit und Kraftstoffmenge ableiten. Abbildung 9 zeigt als

⁵ CRJ1: 50 Sitzplätze, D228: 19 Sitzplätze, RJ85: 85 Sitzplätze, QICE-Flugzeuge: 150 Sitzplätze.

Beispiel die gemittelte Flugzeit pro Szenariotyp aus Richtung des Wegpunktes RUDAK (s. Abbildung 3) vom Eintritt des Flugzeugs in die Simulation bis zur Landung. Es ist erkennbar, dass in den Szenarien ohne Wegpunktbeschränkung (Index F) die durchschnittliche Flugzeit für die dargestellten Flugzeugtypen gegenüber dem Referenzszenario aufgrund der kürzeren Flugstrecke abnimmt (beispielsweise D228 R3Q3, D228 R3Q3F). Weiterhin ist der erwartete Zeitvorteil für die direktere Route R1 im Vergleich zur Route R2 nachweisbar (s. RWTH R1Q2, RWTH R2Q2), sowie die relativ lange Flugzeit aufgrund der geringen Fluggeschwindigkeit der Dornier 228.

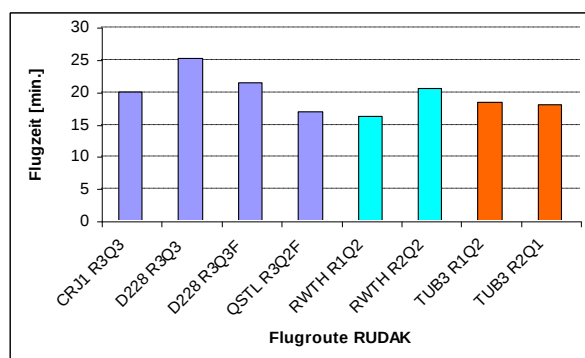


Abb. 9: Gemittelte Flugzeit für ausgewählte Flugzeugtypen auf der Flugroute RUDAK

Im Hinblick auf die auf diesen Strecken verbrauchte Kraftstoffmenge lassen sich für den Anflug über den Wegpunkt RUDAK die niedrigen Verbrauchsmengen der D228 aufgrund des sparsamen Propellerantriebs, die in einem Szenario ohne Wegpunktbeschränkungen weiter gesenkt werden können, sowie die im Vergleich dazu höheren Kraftstoffverbrauchswerte der jetbetriebenen QICE-Flugzeuge mit hoher Schubbelastung erkennen [8]. Wegen der kürzeren Streckenlänge auf der Route R1 ergeben sich nicht nur Vorteile in der Flugzeit, sondern auch im dazu proportionalen Kraftstoffverbrauch. Vergleicht man in einem zweiten Schritt die passagierbezogenen Werte, so ergibt sich das in Abbildung 10 dargestellte Verhältnis. Aufgrund der hohen Transportleistung gegenüber den konventionellen Vergleichsflugzeugen ist der spezifische Kraftstoffverbrauch der QICE-Flugzeuge geringer. Im Hinblick auf die zuvor formulierte Hypothese im Leistungsbereich Umweltwirkungen (s. Kap. 3) kann zusammengefasst werden, dass es bei den relativ bezogenen gasförmigen Emissio-

nen aufgrund der kürzeren Flugstrecke und damit Flugzeit zu Einsparungen, vor allem im Bereich CO₂/PAX kommt (z.B. rund 35% Reduktion von TUB3 R2Q1 gegenüber CRJ1). Es sind keine Untersuchungen von Seiten der DFS unternommen worden, über weitere Triebwerksparameter (z.B. Schub) oder Emissionsindizes auf die überwiegend im Anflug relevanten Schadstoffe UHC und CO Aussagen zu treffen.

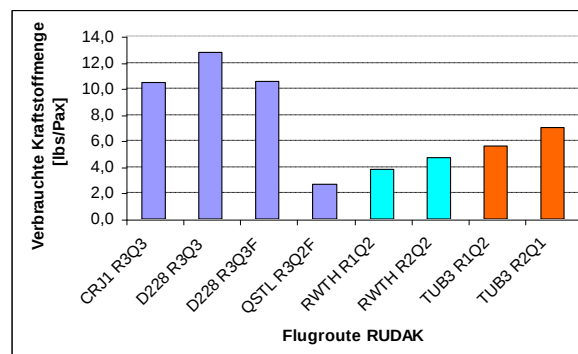


Abb. 10: Gemittelte Kraftstoffmenge für ausgewählte Flugzeugtypen per Sitz auf der Flugroute RUDAK

Abbildung 11 fasst für ein Beispiel, in diesem Fall Szenario R2Q2, die Flughöhenverläufe für alle Flugzeuge eines Simulationslaufs zusammen. Es ist erkennbar, dass sich die QICE-Flugzeuge im Anflug durchschnittlich in größeren Höhen bewegen und der Endanflug mit einem steileren Gleitwinkel durchgeführt wird. Beides wirkt sich hinsichtlich des Fluglärms möglicherweise positiv im Vergleich zum Referenzszenario aus, bedarf aber einer genaueren Untersuchung. Die Ergebnisse der Partner weisen aber auf eine deutliche Reduktion der Einzelschallpegelfläche im Vergleich zum definierten Referenzflugzeug hin [9]. Somit kann die Hypothese (s. Kap. 3) für die passagierbezogenen Indikatoren im Bereich Umwelt bestätigt werden.

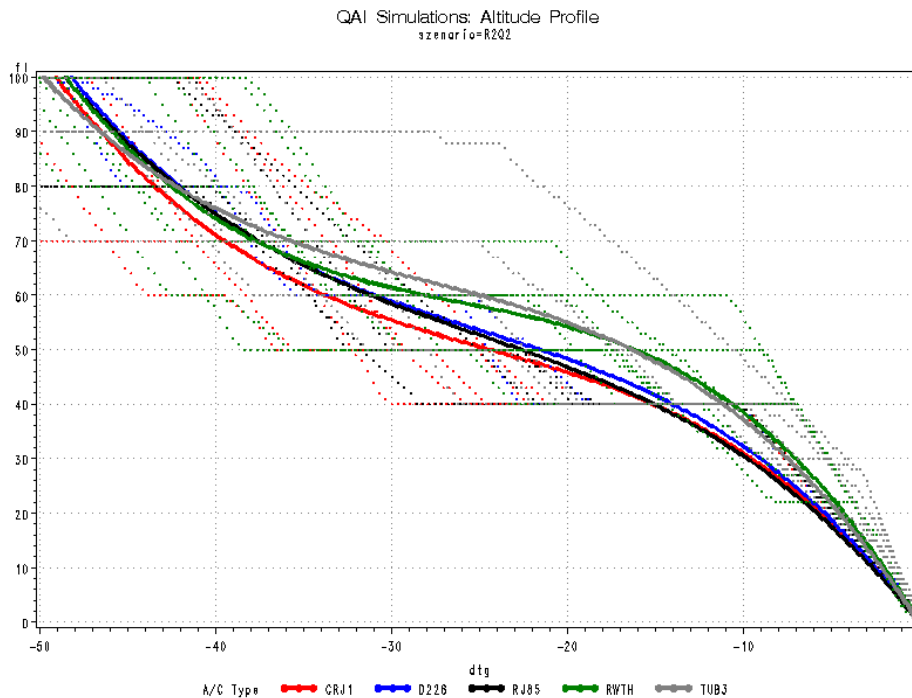


Abb. 11: Unterschiedliche Höhenprofile der Flugzeugtypen in einem Simulationslauf

6. Zusammenfassung / Fazit

Im Rahmen des national geförderten Eigenantrages „Quiet Innovative Commuter ATM Integration (QAI)“ der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH wurden zwei nach dem derzeitigen Stand der nationalen Forschung hinsichtlich Lärmemissionen vielversprechende Anflugverfahren für ein zukünftiges Luftverkehrskonzept (QICE), welches sowohl für innerstädtische Punkt-zu-Punkt-Verbindungen auf Kurzstrecken als auch für Zubringerverkehr an Verkehrsdrehkreuzen ab dem Jahr 2020 eingesetzt werden soll, entwickelt und anschließend in den Realzeitsimulator der DFS (Forschungszentrum) integriert. Die notwendigen Flugleistungsdaten für die Implementierung der drei verschiedenen, kurzstartfähigen Flugzeugentwürfe (bis zu 150 Passagiere) wurden von den von Airbus unterbeauftragten Universitäten TU Berlin und RWTH Aachen sowie dem DLR im Rahmen des LuFo-IV-1 Verbundprojektes HiT (Hochauftriebstechnologien der nächsten Generation) erarbeitet und über das sogenannte EUROCONTROL BADA („Base of Aircraft Data“)-Format nach diversen Tests in den „Advanced Function Simulator (AFS)“ der DFS eingelesen. Mit Hilfe einer einwöchigen Realzeitsimulation im November 2009 unter Beteiligung von mehreren Fluglotsen und Simulationspiloten

wurden die zuvor entwickelten und implementierten Steilanflugverfahren und das Flugverhalten der Konzepte an einem generischen Flughafen mit einer Start- und Landebahn und konventionell anfliegendem Mischverkehr bei insgesamt ca. 40 Flugbewegungen pro Stunde bewertet. Es ergab sich aufgrund der horizontal kürzer ausgelegten Flugrouten eine Reduktion der Flugzeit sowie des spezifischen Kraftstoffverbrauchs im Vergleich mit dem Referenzszenario.

Auch die Arbeitbarkeit und Integrierbarkeit der verschiedenen QICE-

Konzepte wurde von den Lotsen als problemlos bezeichnet. Es mussten zudem hinsichtlich des Situationsbewusstseins keine Abstriche gemacht werden. Das umgesetzte Passagiervolumen pro Stunde konnte aufgrund der hohen Sitzanzahl der QICE-Flugzeuge gegenüber dem Ausgangsszenario um 50% gesteigert werden.

Referenzen

[1]	Haßa, O.: „Das Projekt Quiet Innovative Commuter ATM Integration – QAI“, TE im Fokus, Ausgabe 02/07, S.28-36, DFS, Langen
[2]	Advisory Council for Aeronautics Research in Europe: Strategic Research Agenda 2, ACARE, Oktober 2004, Brüssel
[3]	Haßa, O.: „Beschreibung zum Technologievorhaben QICE ATM Integration (QAI) im Rahmen des Verbundvorhabens Hochauftriebstechnologien der neuen Generation (HIT)“, Version 1.0, 11.08.2006, DFS, Langen
[4]	EUROCONTROL: „E-OCVM - European Operational Concept Validation Methodology“, Version 2, European Air Traffic Management Programme, April 2005, Brüssel
[5]	Master ATM European Validation Plan (MAEVA)-Validation Guidance Handbook (VGH) Version 3.0 Eurocontrol, April 2004
[6]	EUROCONTROL: „The new SHAPE questionnaires – A User Guide“, Brüssel, 2007
[7]	Hart, S.: „Development of NASA-TLX (Task Load Index). Results of Empirical and Theoretical Research“, NASA-Ames Research Center, veröffentlicht in P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.) Human Mental Workload. Amsterdam: North Holland Press, 1988
[8]	Gundermann, J. et al.: „QAI-QICE ATM Integration Validierungsreport“, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, V 0.1, Langen, März 2010
[9]	Schmid, M., Thorbeck, J.: „QICE Assessment Meeting“, Aircraft Design and Aero Structures Group, Technische Universität Berlin, 10.02.10.

Abkürzungsverzeichnis

AFS	Advanced Function Simulator
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
BADA	Base of Aircraft Data
CO	Kohlenmonoxid
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EBG	Einsatzberechtigungsgruppe
EDDI	ICAO-Flughafencode für den Flughafen Tempelhof
EDDQ	virtueller Flughafencode für den Flughafen QICE-Port
HiT	High-Lift Innovative Technologies (Hochauftriebstechnologien der neuen Generation)
ICAO	International Civil Aviation Organization
ILS	Instrument Landing System
LuFo	Luftfahrtforschung, Luftfahrtforschungsprogramm
NASA-TLX	Task Load Index Fragebogen der NASA
NM	Nautische Meilen
PAX	Passenger
QAI	QICE ATM Integration
QICE	Quiet Innovative Commuter
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Universität Aachen
SASHA	Situational Awareness for SHAPE (Fragebogen von EUROCONTROL)
SID	Standard Instrument Departure
STAR	Standard Terminal Arrival Route
STOL	Short Take-Off and Landing
TAS	True Airspeed
TID	Touch Input Device
TMA	Terminal Manoeuvring Area
TUB	Technische Universität Berlin
UHC	Unburnt Hydrocarbon
WPT	Wegpunkt

Impressum:

TE im Fokus - Informationen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

TE im Fokus erscheint in der Regel halbjährlich. Dieser Bericht ist elektronisch im Internet (www.dfs.de, Modul Forschung & Entwicklung → Forschungszeitschrift) sowie über das DFS Intranet, Dokumentationsbereich im F&E Portal (<http://forschungszentrum.lgn.dfs.local>) verfügbar. 70 Exemplare werden in gedruckter Form aufgelegt.

Herausgeber: Bereich Forschung und Entwicklung, TE
DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
Am DFS-Campus 5
63225 Langen

Redaktion: Dr. Andreas Herber (andreas.herber@dfs.de),
Oliver Haßa (oliver.hassa@dfs.de),
Stefan Tenoort (stefan.tenoort@dfs.de)

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

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

Printversion: ISSN 1861-6364

Internet-Version: ISSN 1861-6372

COPYRIGHT

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH unzulässig und wird zivil- und strafrechtlich verfolgt. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Copyright © 2010 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.