

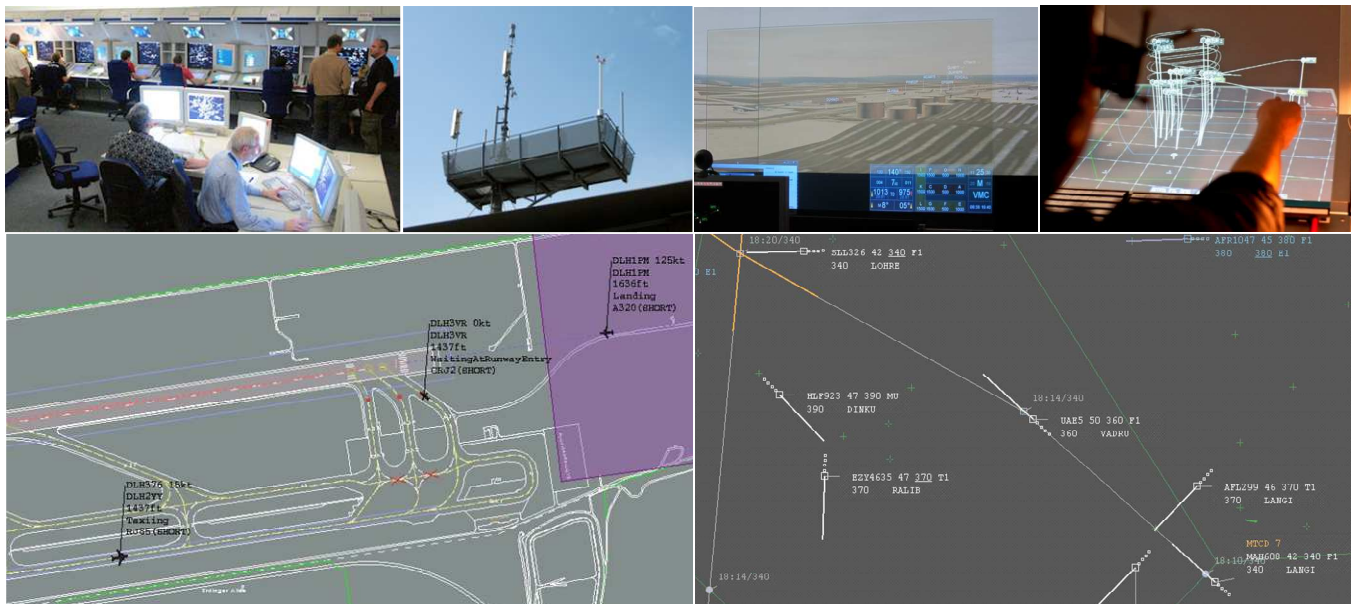
TE *im Fokus*

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



In dieser Ausgabe:

- Automation im Kontext von SESAR – die Entwicklung von Guidelines im Projekt 16.05.01
- Validierung des prätaktischen Planungstools CLOU: Erste CLOU-Validierung in München
- FIS-Trainer - Kleiner Simulator ganz groß
- SESAR P4.7.2: Konflikterkennung und -lösung für Radar- und Planungsloten
- Erweiterung in der Trajektorien-Optimierung mehrerer Flugzeuge mit Hilfe der optimalen Steuerung
- AMAN, DMAN, CMAN, SMAN, XMAN... ein Alphabet der ATM-Planungssysteme



DFS Deutsche Flugsicherung

Inhalt

Abstracts der Heftbeiträge	2
Stefan Tenoort	
Automation im Kontext von SESAR – die Entwicklung von Guidelines im Projekt 16.05.01.....	3
Katharina Schwentek	
Validierung des prätaktischen Planungstools CLOU: Erste CLOU-Validierung in München.....	12
Uwe Micksch	
FIS-Trainer - Kleiner Simulator ganz groß.....	19
Dr. Matthias Poppe, Stephan Herr, Dr. Andreas Herber	
SESAR P4.7.2: Konflikterkennung und –lösung für Radar- und Planungslotsen	25
Markus Hochstrasser (TU München), Dr. Matthias Poppe	
Erweiterung in der Trajektorien-Optimierung mehrerer Flugzeuge mit Hilfe der optimalen Steuerung.....	32
Dr. Jörg Bergner, Thomas Rüggeberg, Dr. Andreas Herber	
AMAN, DMAN, CMAN, SMAN, XMAN... ein Alphabet der ATM-Planungssysteme	41
Impressum.....	46

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

Abstracts der Heftbeiträge

Stefan Tenoort: **Automation im Kontext von SESAR – die Entwicklung von Guidelines im Projekt 16.05.01** - Automation wird eine entscheidende Rolle in der zukünftigen Entwicklung des Europäischen ATM-Systems spielen. Im Rahmen von SESAR sollen damit verschiedene Kenngrößen verbessert werden, insbesondere Sicherheit, Kapazität, Effizienz und Wirtschaftlichkeit. Das SESAR Projekt 16.05.01 (Good Practice for Addressing Automation in ATM) zielte darauf, die kritischen Aspekte der Automatisierung zu identifizieren, die ein mögliches KO-Kriterium für das SESAR ATM Target Concept darstellen und Guidelines zu entwickeln, um diese frühzeitig zu adressieren. Die Projektaktivitäten und Ergebnisse werden kurz vorgestellt. Ein Highlight stellte insbesondere die Entwicklung einer neuen Taxonomie der Automatisierung dar, die spezifisch für den Kontext ATM ist und daher ausführlicher beschrieben wird.

Katharina Schwentek: **Validierung des prätaktischen Planungstools CLOU - Erste CLOU Validierung in München** - Die Verkehrsabwicklung an Hub-Flughäfen bringt mit den wechselnden An- und Abflugspitzen einen hohen Koordinierungsaufwand mit sich. Die beteiligten Partner Flugsicherung, Airlines und Flughafen haben jeweils ihre spezifischen Planungsprozesse, die sich jedoch gegenseitig beeinflussen. Je besser daher die einzelnen Prozesse aufeinander abgestimmt sind, desto effizienter lässt sich der Verkehr abwickeln, um damit Durchsatz und Pünktlichkeit positiv zu beeinflussen. Der Bericht beschreibt die durchgeführten Feldversuche auf dem Tower München. Als Vorbereitung wurden im Rahmen regelmäßiger Workshops gemeinsam mit Kollegen aus Tower und Approach die konkreten Anforderungen des operativen Betriebs erfasst und prototypisch umgesetzt. Damit einhergehend musste die Anzeige des CLOU sowie die Berechnung der angezeigten Pünktlichkeit entsprechend geändert werden.

Uwe Micksch: **FIS-Trainer - Kleiner Simulator ganz groß** - Angeregt durch den Leiter des Fluginformationsdienstes Langen (FIS Langen) galt es Ende 2011 einen kompakten, robusten Trainingssimulator für z.B. Messen zu entwickeln. Als Ergebnis entstand ein System, das sich bereits auf einer Vielzahl von Veranstaltungen bewährt hat und das über ausreichend Potential zur Integration weiterer Funktionen und Dienste verfügt. Eine flexible Nutzung, verbunden mit einer einfachen Wartbarkeit des Systems stand im Vordergrund der Realisierung. Der Artikel beschreibt den aktuellen Stand und gibt einen Ausblick auf künftige Entwicklungen.

Dr. Matthias Poppe, Stephan Herr, Dr. Andreas Herber: **SESAR P4.7.2: Konflikterkennung und -lösung für Radar- und Planungsloten** - Das SESAR-Projekt 4.7.2 (Separation Management En-Route) hat das Ziel, Unterstützungstools für Loten zur Konflikterkennung und Konfliktlösung sowie zur Flugwegüberwachung zu entwickeln und in Simulationen zu validieren. Unter der Federführung der französischen Flugsicherung DSNA hat sich die DFS als Projektpartner zum Ziel gesetzt, die taktischen Konflikttools zu untersuchen. Eine Validierung dieser Tools ist von großer Bedeutung, da sie sowohl in einem P1/P2-ATCAS Umfeld eingesetzt als auch integraler Bestandteil des zukünftigen iCAS-Systems werden können.

Markus Hochstrasser (TU München), Dr. Matthias Poppe: **Erweiterung in der Trajektorien-Optimierung mehrerer Flugzeuge mit Hilfe der optimalen Steuerung** - Im Forschungsbereich der DFS wird seit 2011 an einem neuen Optimierungsansatz für Trajektorien gearbeitet. Ziel ist dabei die konfliktfreie Berechnung von optimalen Trajektorien. Dieser Artikel beschreibt die Weiterentwicklung des Algorithmus sowie dessen Implementierung in MATLAB. Anhand von Beispielen wird die Leistungsfähigkeit dieser Weiterentwicklung bei der Berechnung von optimalen Trajektorien demonstriert. Die Arbeiten erfolgten im Rahmen einer Diplomarbeit bei der DFS in enger Zusammenarbeit der TU München.

Dr. Jörg Bergner, Thomas Rüggeberg, Dr. Andreas Herber: **AMAN, DMAN, CMAN, SMAN, XMAN... Ein Alphabet der ATM-Planungssysteme** - Seit geraumer Zeit arbeitet der Bereich F&E der DFS am Bereich ATM-Planungssystemen für Center, Approach und Tower mit. Dazu werden zum Beispiel von Dritten entwickelte Prototypen in die Echtzeitsimulationsumgebung (AFS / NEWSIM) des Forschungszentrums integriert und mit Unterstützung von Loten kontinuierlich weiterentwickelt. Im Laufe der Zeit haben sich in diesem Kontext diverse Akronyme etabliert, die typischerweise für ein grundlegendes Konzept stehen, teilweise jedoch auch als Produktname operationeller Systeme verwendet werden. Das nachfolgende „Alphabet der ATM-Planungssysteme“ soll daher zu einem besseren Verständnis beitragen.

Automation im Kontext von SESAR – die Entwicklung von Guidelines im Projekt 16.05.01

Stefan Tenoort

Ausgangslage

Automation wird eine entscheidende Rolle in der zukünftigen Entwicklung des Europäischen ATM-Systems spielen. Im Rahmen von SESAR sollen damit verschiedene Kenngrößen verbessert werden, insbesondere Sicherheit, Kapazität, Effizienz und Wirtschaftlichkeit.

Die Wunschvorstellung ist u.a., dass die Arbeitsbelastung vermindert wird, potentiell kritische Situationen frühzeitig erkannt werden (z.B. Konflikterkennung), die Entscheidungsfähigkeit verbessert und schließlich menschliche Fehler vermieden werden. Gleichzeitig wird betont, dass die Rolle des Menschen weiterhin von großer Bedeutung ist. Im SESAR D3 - The ATM Target Concept steht: *„Humans will be central in the future European ATM system as managers and decision-makers. In the ATM Target Concept it is recognised that humans (with appropriate skills and competences, duly authorised) will constitute the core of the future European ATM System's operations. However, to accommodate the expected traffic increase, an advanced level of automation support for the humans will be required“*.

Das SESAR Projekt 16.05.01 *Good Practice for Addressing Automation in ATM* beschäftigte sich ausgiebig mit diesem Themenkomplex. Es zielte darauf, die kritischen Aspekte der Automatisierung zu identifizieren, die ein mögliches KO-Kriterium für das SESAR ATM Target Concept darstellen und Guidelines zu entwickeln, um diese frühzeitig zu adressieren.

In dem Projekt unter der Leitung von ENAV waren AENA, Airbus, DFS, Eurocontrol, NATMIG und Thales beteiligt und es dauerte von 12/2010 bis 04/2013.

Im Weiteren werden die Projektaktivitäten und Ergebnisse kurz vorgestellt. Ein Highlight stellte insbesondere die Entwicklung einer neuen Taxonomie der Automatisierung dar, die spezifisch für den Kontext ATM ist und daher ausführlicher beschrieben wird.

Was versteht man unter Automation?

Automation begegnet uns in vielen Formen und es gibt zahlreiche Eigenschaften und Merkmale eines technischen Systems, die als Automation klassifiziert werden können. Im Prinzip handelt es sich um einen Prozess der Umverteilung von Aktivitäten vom Menschen hin zu einem System, einer Maschine, einem Gerät oder einem Computer. Im Projekt 16.05.01 wurde sich auf eine Definition von Wickens et al. (1998) geeinigt: „Automation is referred to as a device or system that accomplishes (partially or fully) a function that was previously carried out (partially or fully) by a human operator“.

Gründe für Automation sind, dass Aufgaben gefährlich oder unmöglich für einen Menschen durchführbar sind, sie schwierig oder unangenehm sind, um das menschliche Leistungsvermögen und seine Fähigkeiten zu erweitern und weil es technisch möglich und günstig ist.

Die Vorteile von Automation sind zwar naheliegend und oftmals mit wirtschaftlichen Überlegungen verbunden, um das Gesamtsystem und die menschliche Leistung zu verbessern und die Arbeitsbelastung zu vermindern. Funktioniert die Automation ist alles gut, so gut, dass man dem System mehr vertraut als man sollte. In den seltenen Momenten jedoch, wenn die Automation ausfällt oder fehlerhaft ist, sind diese Ausfälle erst mal frustrierender, weniger verzeihend oder umkehrbar und möglicherweise sogar katastrophaler, als wenn es einem Mensch unter gleichen Umständen passiert wäre. Es zeigte sich eben immer wieder, dass mit zunehmender Automation auch zahlreiche Probleme einhergehen. Diese beruhen häufig darauf, dass bei Entwurf, Entwicklung und Einführung von Automation der menschliche Operateur mit seinen Fähigkeiten und Beschränkungen nicht adäquat berücksichtigt wurde.

Wird Automation unsystematisch eingeführt und alles automatisiert weil es technisch möglich ist, wird die Rolle des Menschen oftmals vernachlässigt. Aufgrund eines solchen technologieorientier-

ten Ansatzes werden dem automatisierten System so viel Verantwortung übertragen wie möglich, gleichzeitig aber die Fähigkeiten und Grenzen menschlichen Handels nicht angemessen berücksichtigt und dem Operateur letztendlich Aufgaben übertragen, für die er gar nicht geeignet ist, z.B. die kontinuierliche Überwachung von Anzeigen.

Heikel kann es werden, wenn Automation zu einem Verlust von Fähigkeiten und Fertigkeiten führt, diese aber genau dann benötigt werden, wenn sie am meisten gebraucht werden - in kritischen Situationen, z.B. bei Ausfall der Automation. Dies wird als „out-of-the-loop“ Problem bezeichnet, einer der schwerwiegendsten Folgen der Automation, bei der ein Operateur in seinen Möglichkeiten eingeschränkt ist, wieder die Kontrolle zu übernehmen oder adäquat zu reagieren. Die Ursachen dafür sind vielfältig und können in dem genannten Verlust von Fähigkeiten liegen, aber auch in der Verlagerung von aktiver Kontrolle zu passiver Informationsverarbeitung, ungenügender Rückmeldung über Systemzustände, einem unzureichenden Situationsbewusstsein, mangelnder Vigilanz, sowie einem Übervertrauen in die Automation.

Auch die Gestaltung der Mensch-Maschine Schnittstelle erhält im Rahmen von Automation eine hohe Bedeutung. Die veränderten Aufgaben und Rollen müssen durch geeignete Benutzeroberflächen, Interaktionslogik, Informationsdarstellung und Systemrückmeldung unterstützt werden, um die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems zu gewährleisten.

Dies sind nur einige der Stolpersteine, die mit Automation verbunden sein können. In einem Arbeitspaket des Projekts 16.05.01 wurde deshalb analysiert, welche potentielle Probleme durch die Einführung von Automation im Rahmen von SESAR auftreten können und die insbesondere von Relevanz für das SESAR *Target Concept of Operations* sind.

Die möglichen Gefahren der Automation wurden darin in einem dreistufigen Prozess beleuchtet. Zunächst wurde das SESAR *Concept of Operations (ConOps)* sowie weitere relevante SESAR-Dokumente gesichtet, um zu identifizieren, welche Unterstützungssysteme vorgesehen sind und welche Maßnahmen bzgl. Automation bisher durchgeführt wurden oder werden, die spezifisch

für SESAR sind. Des Weiteren wurden Literaturrecherchen sowohl im Bereich Luftfahrt als auch in anderen Fachgebieten durchgeführt, um weitere, allgemeingültige Automationsthemen aufzunehmen. Schließlich wurden Befragungen mit Experten aus dem Betrieb und mit SESAR-Projektleitern durchgeführt, um die vorher gefundenen Problemfelder zu validieren, zusätzliche zu finden und um ganz gezielt Beispiele von Automation im Bereich ATM zu sammeln. Diese Beispiele waren für die folgenden Projektschritte wichtige Quellen, um Automation anschaulich darzustellen, Fallstricke zu beschreiben und Empfehlungen für die Entwicklung von automatisierten Unterstützungssystemen zu generieren.

Als Ergebnis entstand das Deliverable 02: *Identification of Issues in Human Performance Automation Support*, in dem insgesamt 28 potentielle Automationsprobleme identifiziert wurden, die von Bedeutung für das SESAR ConOps sind. Diese lassen sich in fünf Kategorien einteilen: (1) Veränderung von Rollen und Zuständigkeiten, (2) Aufgaben und Arbeitsweisen, (3) Informationsverarbeitung und Mensch-Maschine Schnittstelle, (4) Vertrauen und Systemzuverlässigkeit sowie (5) Kommunikation.

Diese identifizierten Automationsprobleme sollten beim Entwurf, der Entwicklung und Implementierung von automatisierten Unterstützungssystemen innerhalb von SESAR berücksichtigt werden, um zu gewährleisten, dass die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems nicht beeinträchtigt wird.

Neben einer ausführlichen Beschreibung jedes potentiellen Problems wird dieses jeweils anhand eines Beispiels aus der Luft- und Bodenseite illustriert und der Bezug zu SESAR-Themen hergestellt. Somit gibt dieses Dokument einen anschaulichen Überblick über die Fallstricke, die mit Automation einhergehen. Auch wenn darin ein starker Bezug zu SESAR-Themen herrscht, so gelten viele der angesprochenen Problemfälle auch allgemein.

Auf der Suche nach gelungener Automatisierung

Ein wesentliches Ziel des Projekts war es, bewährte Methoden und erfolgreiche Praxisbeispiele von Automatisierung zu identifizieren und zu

beschreiben und eine Sammlung von guten Beispielen aufzubauen. Dazu sollte in einem Arbeitspaket eine Beschreibungsstruktur entwickelt werden. Diese sollte zum einen dazu dienen, um Konsistenz und Gleichartigkeit bei der Erfassung und Beschreibung von Musterlösungen zu gewährleisten, die von den verschiedenen Projektpartnern durchgeführt wurde. Zum anderen sollten letztendlich auch die Musterlösungen Teil der Guidelines werden und die Struktur sollte dazu dienen, den Nutzern eine Orientierung bei der Auswahl geeigneter Beispiele zu bieten.

Sind bewährte Vorgehensweisen und Praxiserfahrungen identifiziert, können sie nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifiziert und beschrieben werden. Diese können kontextbezogen sein, also z.B. in welcher ICAO-Flugphase unterstützt die Automation, welche jeweiligen Aufgaben, Funktionen und Tätigkeiten von Piloten und Fluglotsen werden automatisiert oder in welchem Reifegrad nach E-OCVM (s.a. Abb. 2) befindet sich die Entwicklung eines automatisierten Systems. Eine weitere Klassifikation bezieht sich schließlich auf den Grad der Automatisierung.

Dementsprechend wurde eine Vorlage zur Erfassung und Beschreibung der Musterlösungen erstellt, in dem die oben genannten Beschreibungskriterien aber auch weitere Kategorien enthalten sind. Als ein Sonderfall stellte sich die Beschreibung hinsichtlich des Automatisierungsgrades heraus, denn bestehende Taxonomien oder Klassifizierungsmuster stellten sich für die Projektziele als unzureichend heraus.

Eine neue Taxonomie der Automation

Automation kommt nicht als Alles-oder-Nichts daher, d.h. es geht nicht darum, entweder eine Tätigkeit komplett zu automatisieren oder gar nicht, sondern es gibt unterschiedliche Ausprägungen. Außerdem muss man unterscheiden zwischen einem automatisierten Gesamtsystem und den eigentlichen automatisierten Funktionen. Unter System wird hier ein Verbund unterschiedlicher Komponenten verstanden. Jede Komponente kann ihrerseits eine oder mehrere Funktionen ausführen.

Die Taxonomie, bzw. Klassifizierung, des Automatisierungsgrades ist aus mehreren Gründen

von Bedeutung, insbesondere in der Entwicklung von neuen Systemen.

Zunächst wird ein Systemdesigner damit gezwungen, sich Gedanken über Kosten der Automatisierung zu machen. Nicht weil etwas technisch möglich ist, muss es auch unbedingt automatisiert werden. Ein höherer Grad an Automatisierung erfordert tendenziell auch eine höhere Robustheit oder Ausfallsicherheit und damit zusätzlich notwendige Redundanzen, die damit einhergehen und Kostentreiber sein können.

Eine solche Taxonomie kann auch in der Systementwicklung helfen, zwischen verschiedenen möglichen Designalternativen die geeignetere auszuwählen. Viele automatisierte Systeme, die einen Operateur bei der Entscheidungsfindung unterstützen, können auf Funktionsstufe 2 (Informationsanalyse) vorliegen, z.B. Statusanzeigen oder auf Stufe 3 (Entscheidungsauswahl), z.B. Kommandoanzeigen. Beispiel: dem Piloten kann auf einem Monitor (Traffic display) das Verkehrsgeschehen dargestellt werden und er entscheidet ob und welches Ausweichmanöver notwendig ist. Dies entspräche Funktionsstufe 2. Dagegen entspricht die Funktionsstufe 3 einem TCAS Alarm bei dem eine Ausweichempfehlung („climb climb“) ausgegeben wird. Analoges Beispiel auf Bodenseite: Dem Fluglotsen wird ein potentieller Konflikt angezeigt, der sich aufgrund der Flugwegplanung ergeben könnte (Funktionsstufe 2) oder zusätzlich wird ein Lösungsvorschlag oder mehrere generiert und angezeigt (Funktionsstufe 3).

Ferner gilt es, einen möglichen Zielkonflikt zwischen Arbeitsbelastung und Situationsbewusstsein zu beachten. Je höher der Automatisierungsgrad, desto geringer wird in der Regel die Arbeitsbelastung sein, aber gleichzeitig besteht auch die Gefahr, dass das Situationsbewusstsein vermindert wird. Umgekehrt gilt, dass ein niedriger Automatisierungsgrad das Situationsbewusstsein eher verbessert, dafür aber eine tendenziell höhere Arbeitsbelastung zu erwarten ist.

Mit Hilfe des Automatisierungsgrades kann die optimale Aufgabenverteilung zwischen Operateur und Unterstützungssystem bestimmt werden, um zu gewährleisten, dass der Mensch aktiv im Arbeitslauf involviert ist.

Im Rahmen des Projektes kam der Automatisierungstaxonomie noch eine weitere Bedeutung

zu. Durch Analyse vorhandener erfolgreicher Automatisierungsbeispiele und durch einen Vergleich von deren Automatisierungsgraden sollten entsprechende Gestaltungsprinzipien abgeleitet werden. Ziel war es, für einen spezifischen Automatisierungsgrad jeweils Leitlinien für Design und Entwicklung vorzuschlagen.

Eine bekannte Beschreibung der verschiedenen Ausprägungen von Automation wurde von Sheridan & Verplanck (1978) vorgeschlagen, die auf 10 Stufen beruht. Diese reicht von der untersten, bei der der Mensch selbst entscheidet und alles manuell ausführt, und reicht bis zur höchsten, in der die Automation alles entscheidet und ausführt, also autonom ohne Eingriff durch den Menschen (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Levels of automation of Decision and Action Selection (Sheridan & Verplanck, 1978)

Low	1	The computer offers no assistance, human must take all decisions and actions
	2	The computer offers a complete set of decision/action alternatives, or
	3	Narrows the selection down to a few, or
	4	Suggests one alternative, and
	5	Executes that suggestion if the human approves, or
	6	Allows the human a restricted veto time before automatic execution
	7	Executes automatically, then necessarily informs the human, and
	8	Informs the human only if asked, or
	9	Informs the human only if it, the computer, decides to
High	10	The computer decides everything, acts autonomously, ignores the human

Die „Levels of Automation“, die Sheridan & Verplanck vorschlugen, erfreuten sich großer Beliebtheit und sind bis heute viel zitiert und weit verbreitet. Betrachtet man allerdings diese Stufen genauer und wie es auch aufgrund der Beschreibung „Decision and Action Selection“ erkennbar wird, wird deutlich, dass sich diese Automatisierungs-Taxonomie nur auf den ausführenden Schritt bezieht. Automation kann aber auch in weiteren Funktionen den Menschen unterstützen, lange bevor eine Entscheidung zu fällen und eine Handlung auszuführen ist. Daher ist es oftmals nicht möglich mit der Sheridan & Verplanck Automatisierungsskala ein Gesamtsystem zu bewerten. Teile eines Systems können sehr hoch

automatisiert sein, während andere eine geringe Ausprägung besitzen.

In einem Ansatz von Parasuraman, Sheridan & Wickens (2000) wurden daher zwar die Stufen der Automatisierung aufgenommen aber dahingehend erweitert, dass unterschiedliche Funktionen automatisiert werden können.

Diese Funktionen basieren auf einem Stufenmodell der menschlichen Informationsverarbeitung (Entdecken – Erkennen – Entscheiden – Handeln) die analog zu Systemfunktionen betrachtet werden: (1) Informationsaufnahme, (2) Analyse, (3) Entscheidung und Handlungsauswahl, (4) Handlungsausführung. Auf jeder dieser Funktionsstufen kann die Automation jeweils unterschiedlich ausgeprägt sein. In Abb. 1 ist diese Taxonomie beispielhaft anhand zweier Systeme A und B dargestellt, wobei System B einen höheren Automatisierungsgrad auf jeder der Funktionen besitzt als System A.

Eine Schwierigkeit bestand nun allerdings hier, dass es keine klaren Bezeichnungen oder Definitionen für die einzelnen Automatisierungsgrade und deren Anzahl gab, wie bei Sheridan & Verplanck. Somit waren die Bezugspunkte unklar und damit eine eindeutige, konsistente Zuweisung nicht gegeben. Das selbe automatisierte System hätte somit von verschiedenen Gutachtern jeweils unterschiedlich eingeordnet werden können.

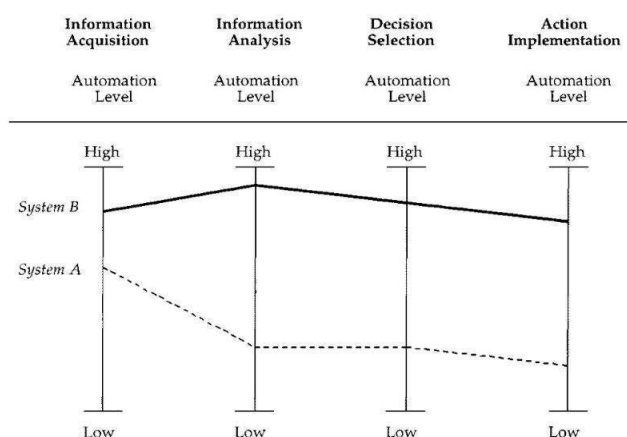


Abb. 1: A model for Types and Levels of Automation proposed by Parasuraman, Sheridan and Wickens (2000)

Zur gleichen Zeit entwarfen Endsley & Kaber (1999) eine 10-stufige Taxonomie, die ebenfalls vier Rollen, ähnlich zu den Funktionen von Parasuraman et al., beschreibt. Hierbei werden die Rollen/Funktionen als Überwachen (Monitoring),

Tab. 2: Levels of automation by Endsley and Kaber (1999) with the corresponding role played by the human and/or computer in each of the four functions

Level of automation	Roles			
	Monitoring	Generating	Selecting	Implementing
(1) Manual control	Human	Human	Human	Human
(2) Action support	Human/computer	Human	Human	Human/computer
(3) Batch processing	Human/computer	Human	Human	Computer
(4) Shared control	Human/computer	Human/computer	Human	Human/computer
(5) Decision support	Human/computer	Human/computer	Human	Computer
(6) Blended decision making	Human/computer	Human/computer	Human/computer	Computer
(7) Rigid system	Human/computer	Computer	Human	Computer
(8) Automated decision making	Human/computer	Human/computer	Computer	Computer
(9) Supervisory control	Human/computer	Computer	Computer	Computer
(10) Full automation	Computer	Computer	Computer	Computer

Erzeugen (Generating), Auswählen (Selecting) und Ausführen (Implementing) bezeichnet. Die entsprechenden Automatisierungsstufen beziehen sich dann darauf, ob die einzelnen Funktionen vom Menschen, einem Computer oder arbeitsteilig von beiden ausgeführt werden (siehe Tab. 2). Doch auch dieses Modell hat in der praktischen Anwendung gewisse Einschränkungen. Zum einen sind die Unterschiede zwischen Human/computer in den einzelnen Funktionen nicht klar definiert und wie diese Arbeitsteilung jeweils ausgeprägt ist. So gilt z.B. bei Monitoring die Aufgabenteilung Human/computer für 8 Automationsstufen aber es fehlen Hinweise wie stark jeweils Mensch oder Computer beteiligt sind.

Andererseits ist unklar, welche Stufe der Automatisierung gilt, wenn diese auf den einzelnen Funktionen unterschiedlich hoch sind. Wenn z.B. bei der Funktion Implementing der Mensch derjenige ist, der diese ausübt, kann dann die Automatisierungsstufe nur (1) Manual control entsprechen, unabhängig welche Stufen bei den anderen Funktionen gelten?

Aufgrund der identifizierten Einschränkungen wurde beschlossen eine eigene Taxonomie zu entwickeln, die außerdem kontextspezifisch für ATM ist. Diese beruht auf den Modellen von Parasuram et al. (2000) und Endsley & Kaber (1999), insbesondere deren Unterscheidung der verschiedenen Funktionen, die jeweils unterschiedliche Grade der Automatisierung annehmen können. Für jede Funktion wurden nun eigene Definitionen der Automatisierungsgrade entwickelt. Hilfreich waren u.a. die in einem anderen Arbeitspaket des Projekts 16.05.01 gesammelten Positivbeispiele von automatisierten Unterstützungssystemen, deren Einzelfunktionen gemäß den Funktionsstufen der Taxonomie analysiert wurden. Schließlich konnten die einzelnen

Automatisierungsgrade klar und trennscharf beschrieben werden.

Das neue Klassifizierungsschema ist in Tab. 3 bis Tab. 4 dargestellt. Im Prinzip handelt es sich um eine Matrix, in der die Spalten die jeweiligen Funktionen abdecken, die automatisiert werden können. Diese sind als Analogie zur kognitiven Funktionen des Menschen zu betrachten und stellen eine Vereinfachung der komplexen menschlichen Informationsverarbeitung dar. Diese Funktionen folgen nicht notwendigerweise einer strikten Abfolge, sondern können sich zeitlich überlappen, bzw. parallel ablaufen.

Jede Funktion hat jeweils unterschiedliche Grade der Automatisierung, die bei 0 beginnt, was bedeutet dass diese Funktion allein vom Menschen ausgeführt wird, ohne jegliche Unterstützung. Der Grad 1 entspricht dem Nutzen von Hilfsmitteln, die aber noch nicht einer Automatisierung zuzuordnen sind. Ab Grad 2 ist Automation im eigentlichen Sinne involviert.

Mit der neuen Taxonomie werden folgende Prinzipien verdeutlicht:

- Ein automatisiertes (Unterstützungs-) System kann keinen übergreifenden Gesamtwert des Automatisierungsgrades besitzen. Vielmehr muss unterschieden werden, welche Einzelfunktionen automatisiert werden.
- Ein automatisiertes System kann eine oder mehrere Funktionen unterstützen, die jeweils eine unterschiedliche Ausprägung des Automatisierungsgrades haben können.
- Die Beschreibung jedes Automationsgrades steht in Bezug zur menschlichen Leistung, d.h. die Automation wird nicht allein als technische Verbesserung betrachtet, sondern welchen Einfluss sie auf die Unterstützung des Menschen bei der Aufgabenbewältigung hat.

Diese Taxonomie wurde bei der Erfassung der Positivbeispiele gelungener automatisierter Unterstützungssysteme verwendet, um deren

Tab. 3: Levels of Automation Taxonomy (LOAT) des SESAR Projekts 16.05.01

A INFORMATION ACQUISITION	B INFORMATION ANALYSIS	C DECISION AND ACTION SELECTION	D ACTION IMPLEMENTATION
A0 Manual Info Acquisition	B0 Working Memory Based Info Analysis	C0 Human Decision Making	D0 Manual Action and Control
The human acquires relevant information on the process s/he is following without using any tool.	The human compares, combines and analyses different information items regarding the status of the process s/he is following by way of mental elaborations. S/he does not use any tool or support external to her/his working memory.	The human generates decision options, selects the appropriate ones and decides all actions to be performed.	The human executes and controls all actions manually.
A1 Artefact-Supported Info Acquisition	B1 Artefact-Supported Info Analysis	C1 Artefact-Supported Decision Making	D1 Artefact-Supported Action Implementation
The human acquires relevant information on the process s/he is following with the support of low-tech non-digital artefacts. <i>Ex. 1) Identification of aircraft positions on an aerodrome/airport according to Procedural Air Traffic Control rules and without use of radar support.</i>	The human compares, combines, and analyses different information items regarding the status of the process s/he is following utilising paper or other non-digital artefacts. <i>Ex. 1) Use of flight strips to compare altitudes/levels/pl. times of different aircraft and to pre-plan future traffic.</i>	The human generates decision options, selects the appropriate ones and decides all actions to be performed utilising paper or other non-digital artefacts.	The human executes and controls actions with the help of mechanical non-software based tools. <i>Ex. 1) Use of a hammer or leverage to increase the kinetic energy of human gesture. Ex. 2) Use of a mechanical or hydraulic rudder to achieve a change in direction.</i>
A2 Low-Level Automation Support of Info Acquisition	B2 Low-Level Automation Support of Info Analysis	C2 Automated <u>Decision Support</u>	D2 Step-by-step Action Support:
The system supports the human in acquiring information on the process s/he is following. Filtering and/or highlighting of the most relevant information are up to the human. <i>Ex. 1) Identification of aircraft positions in the airspace by way of Primary Radar working positions.</i>	<u>Based on user's request</u> , the system helps the human in comparing, combining and analysing different information items regarding the status of the process being followed. <i>Ex. 1) Activation by ATCOs of Speed Vectors for specific tracks on the CWP, in order to anticipate potential conflicts in a defined time frame.</i>	The system proposes one or more decision alternatives to the human, leaving freedom to the human to generate alternative options. The human can select one of the alternatives proposed by the system or her/his own one. <i>Ex.1) AMAN visualization of the proposed sequence of aircraft.</i>	The system <u>assists</u> the operator in performing actions by executing part of the action and/or by providing guidance for its execution. However, each action is executed based on <u>human initiative</u> and the human keeps full control of its execution. <i>Ex. 1) The aural and visual component of TCAS RA in current TCAS II version 7.0 (also LOA C5)</i>
A3 Medium-Level Automation Support of Info Acquisition	B3 Medium-Level Automation Support of Info Analysis	C3 Rigid Automated <u>Decision Support</u>	D3 Low-Level <u>Support</u> of Action Sequence Execution
The system supports the human in acquiring information on the process s/he is following. It helps the human in <u>integrating</u> data coming from different sources and in <u>filtering</u> and/or <u>highlighting</u> the most relevant information items, <u>based on user's settings</u> . <i>Ex. 1) CWP allowing ATCOs to set flight level filters to display only certain traffic on the screen.</i>	<u>Based on user's request</u> , the system helps the human in comparing, combining and analysing different information items regarding the status of the process being followed. The system <u>triggers visual and/or aural alerts</u> if the analysis produces results requiring attention by the user. <i>Ex. 1) ERATO Filtering and What-if function. Ex 2). VERA Tool to display the closest point of approach between two aircraft.</i>	The system proposes one or more decision alternatives to the human. The human can only select one of the alternatives or ask the system to generate new options.	The system performs automatically a sequence of actions <u>after activation by the human</u> . The human maintains full control of the sequence and can modify or interrupt the sequence during its execution. <i>Ex. 1) Explicit initiation of an electronic coordination with adjacent sector via digital input (replacing use of telephone).</i>

Automatisierungsgrad eindeutig zu beschreiben.

Tab. 4: Levels of Automation Taxonomy (LOAT) des SESAR Projekts 16.05.01 (Fortsetzung)

A INFORMATION ACQUISITION	B INFORMATION ANALYSIS	C DECISION AND ACTION SELECTION	D ACTION IMPLEMENTATION
A4 High-Level Automation Support of Info Acquisition The system supports the human in acquiring information on the process s/he is following. The system <u>integrates</u> data coming from different sources and <u>filters</u> and/or <u>highlights</u> the information items which are considered relevant for the user. The <u>criteria</u> for integrating, filtering and highlighting the relevant information are <u>predefined at design level</u> but <u>visible to the user</u>. <i>Ex.1) D-TAXI tool (including graphical route information)</i>	B4 High-Level Automation Support of Info Analysis The system helps the human in comparing, combining and analysing different information items regarding the status of the process being followed, based on parameters pre-defined by the user. The system <u>triggers visual and/or aural alerts</u> if the analysis produces results requiring attention by the user. <i>Ex. 1) MTCD visual alerts (allowing some tuning of parameters by the user)</i>	C4 Low-Level Automatic <u>Decision Making</u> The system generates options and decides autonomously on the actions to be performed. The human is informed of its decision. <i>Ex.1) Aural and visual component of TCAS RA in current TCAS II version 7.0 (also LOA D2)</i>	D4 High-Level <u>Support of Action Sequence Execution</u> The system performs automatically a sequence of actions <u>after activation by the human</u>. The human can <u>monitor</u> all the sequence and can <u>interrupt</u> it during its execution. <i>Ex.1) Acknowledgement by pilot of a clearance received through CPDLC (data-link) and automatically sent to FMS and autopilot.</i> <i>Ex. 2) Autopilot following the FMS trajectory.</i>
A5 Full Automation Support of Info Acquisition The system supports the human in acquiring info on the process s/he is following. The system <u>integrates</u> data coming from different sources and <u>filters</u> and/or <u>highlights</u> the information items considered relevant for the user. The <u>criteria</u> for integrating, filtering and highlighting are <u>predefined at design level</u> and <u>not visible to the user</u>.	B5 Full Automation Support of Info Analysis The system performs comparisons and analyses of data available on the status of the process being followed <u>based on parameters defined at design level</u>. The system <u>triggers visual and/or aural alerts</u> if the analysis produces results requiring attention by the user. <i>Ex. 1) STCA visual and aural alerts.</i>	C5 High-Level Automatic <u>Decision Making</u> The system generates options and decides autonomously on the action to be performed. The human is informed of its decision only on request. (Always connected to to an <i>Action Implementation</i> level not lower than D5.)	D5 Low-Level <u>Automation of Action Sequence Execution</u> The system <u>initiates and executes</u> automatically a sequence of actions. The human can <u>monitor</u> all the sequence and can <u>modify</u> or <u>interrupt</u> it during its execution. <i>Ex. 1) Implicit initiation of an electronic co-ordination with adjacent sector as agreed exit conditions (according to Letter of Agreement) cannot be met anymore after changes to the a/c trajectory have been made.</i>
		C6 Full Automatic <u>Decision Making</u>	D6 Medium-Level <u>Automation of Action Sequence Execution</u>
		The system generates options and decides autonomously on the action to be performed without informing the human. (Always connected to an <i>Action Implementation</i> level not lower than D5.)	The system <u>initiates and executes</u> automatically a sequence of actions. The human can <u>monitor</u> all the sequence and can <u>interrupt</u> it during its execution. <i>Ex.1) AP/FD connected to TCAS flying automatically a corrective RA.</i>
			D7 High-Level <u>Automation of Action Sequence Execution</u>
			The system <u>initiates and executes</u> a sequence of actions. The human can only <u>monitor part of it</u> and has limited opportunities to <u>interrupt it</u>.
			D8 Full <u>Automation of Action Sequence Execution</u>
			The system <u>initiates and executes</u> a sequence of actions. The human cannot monitor nor interrupt it until the sequence is terminated.

Guidelines für Automatisierung

Zum Projektabschluss wurde das Dokument D04 *Guidelines Material for Human Performance Automation Support* erstellt, in dem die gesamten Ergebnisse aus den verschiedenen Arbeitspaketen aufbereitet und zusammengefasst wurden. Dieses Dokument stellt Leitlinien und Anleitungen bereit, die in der Entwicklung und Gestaltung von Automatisierung in der Luft- und Bodenseite angewendet werden können.

Diese Leitlinien veranschaulichen eine am Menschen orientierten Technikgestaltung anhand von drei Hauptaktivitäten:

- Identifikation von potentiellen Problemen, die aufgrund der Einführung von automatisierten Unterstützungssystemen entstehen können, insbesondere im Kontext von SESAR.
- Bestimmen des Automatisierungsgrades von bestehenden oder geplanten Systemen mithilfe der neuen Taxonomie.
- Bereitstellen von Grundprinzipien und Methoden zur Anwendung bei Entwurf und Entwicklung von automatisierten Unterstützungssystemen

Ergänzt werden die Leitlinien durch eine kurze Darstellung von ausgewählten Methoden, die bei der Validierung von Automationslösungen zum Einsatz kommen können.

Die Orientierungshilfen und Anleitungen bestehen aus mehreren Teilen: einer Lang- und einer Kurzversion des Abschlussberichts D04 sowie einem Anhang in einem separaten Dokument mit allen Analysen der begutachteten Automatisierungsbeispiele.

Die Sammlung im Anhang enthält 26 Beispiele von automatisierten Unterstützungssystemen, bzw. deren Funktionen. Zusammengekommen werden dabei alle Phasen eines Fluges von Taxi-out bis Taxi-in abgedeckt. Dabei sind ganz unterschiedliche Automatisierungsgrade in den verschiedenen Funktionsstufen der vorgestellten Taxonomie vorhanden.

Mithilfe der gesammelten Beispiele gelungener Automation aus dem Flugzeug- und Flugsicherungsumfeld lassen sich Erfahrungen und Lehren ableiten, die in zukünftigen Entwicklungen, auch kontextübergreifend, berücksichtigt werden sollten. Daraus wurden wiederum allgemeine Leitsätze und Empfehlungen entwickelt. Diese sind

ganz spezifisch auf die jeweiligen Automatisierungsgrade der einzelnen Funktionsstufen abgestimmt.

Diese Leitsätze und Empfehlungen zielen auf die Entwicklung und Validierung von Automation in den E-OCVM Stufen V1-V3 (siehe Abb. 2). Grundsätzlich gilt jedoch, dass je früher das Material angewendet wird, desto effektiver und effizienter wird es sein, da grundlegende Designentscheidungen noch beeinflusst werden können. Je nach der in Frage kommenden Automatisierungslösung und dem Projektfortschritt können aus den vorgeschlagenen Empfehlungen dann die geeignetsten ausgewählt werden.

In Abb. 3 ist das Vorgehen nochmal schematisch anhand der Kapitelinhalte des Dokuments dargestellt.

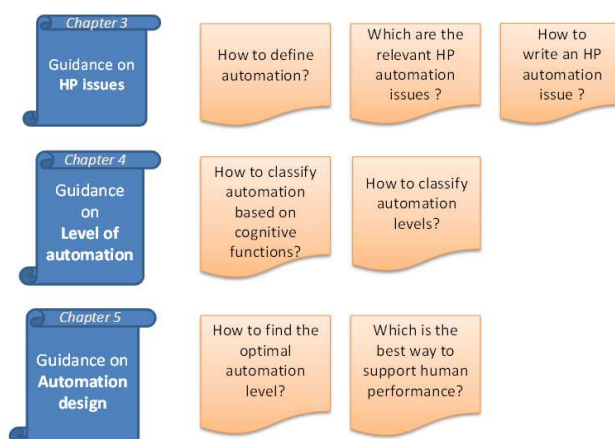


Abb. 3: Inhalte der Automation Guidelines

Fazit

Das SESAR Projekt 16.05.01 bietet mit seinen verschiedenen Projektdokumenten einen guten und verständlichen Überblick über die Fallstricke, die eine Automatisierung mit sich bringen kann, liefert anschauliche Beispiele von gelungenen automatisierten Unterstützungssystemen und was man daraus lernen kann und entwickelte Richtlinien und Empfehlungen, die bei Design und Entwicklung solcher Systeme berücksichtigt werden sollten.

Insbesondere die spezifisch für ATM entwickelte neue Taxonomie stellt einen innovativen Ansatz dar, bestehende oder neu zu entwickelnde Systeme hinsichtlich ihres Automatisierungsgrades

in Bezug ihrer unterschiedlichen Funktionen zu klassifizieren.

Auch wenn das vorgestellte Projekt spezifisch SESAR-relevante Aspekte berücksichtigt hat, so sind die Schlussfolgerungen und die entwickelten Leitsätze und Empfehlungen auch allgemein anwendbar

Die Guidelines betonen die Bedeutung einer menschenzentrierten Entwicklung von Unterstützungssystemen, gerade vor dem Hintergrund, dass Automation eine bedeutende Rolle in der Zukunft des ATM zukommt. Sie richten sich vornehmlich an alle, die sich mit dem Thema menschliche Faktoren und menschliches Leistungsvermögens im technischen Umfeld beschäftigen. Insbesondere aber auch an Projektmanager, die die Auswirkungen von Automatisierung bei der Entwicklung von neuen Systemen bewerten müssen, um Designentscheidungen zu treffen, und schließlich an technische und operative Fachkräfte, die bei Systemdesign und -entwicklung beteiligt sind.

Abkürzungen

AENA	Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea
ENAV	Società Nazionale per l'Assistenza al Volo
E-OCVM	European Operational Concept Validation Methodology
NATMIG	North European ATM Industry Group
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System

Literatur

Endsley, M.R. & Kaber, D.B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, Vol 42, No. 3, 462-492, Taylor & Francis.

EUROCONTROL (2010). European Operational Concept Validation Methodology. E-OCVM Version 3.0 Volume I.

Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, 30, 286–297.

Save, L. & Feuerberg, B. (2012). Designing Human-Automation Interaction: A New Level of Automation Taxonomy. In De Waard, D., Brookhuis, K., Dehais, F., Weikert, C., Röttger, S., Manzey, D., Biede, S., Reuzeau, F., and Terrier, P. (Eds.). *Human Factors of Systems and Technology. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting in Toulouse, France, October 2012*

SESAR Joint Undertaking (2007). SESAR ATM Target Concept D3. DLM-0612-001-02-00a.

SESAR Joint Undertaking (2011). Identification of Issues in HP Automation Support. WP 16.05.01 Deliverable 02.

SESAR Joint Undertaking (2011). Framework for HP Automation Related Good Practices. WP 16.05.01 Deliverable 03.

SESAR Joint Undertaking (2013). Guidelines for Addressing HP Automation Issues. WP 16.05.01 Deliverable 04.

Sheridan, T. B., & Verplank, W. (1978). *Human and Computer Control of Undersea Teleoperators*. Cambridge, MA: Man-Machine Systems Laboratory, Department of Mechanical Engineering, MIT.

Wickens, C.D., Mavor, A.S., Parasuraman, R. & McGee, J.P. (Eds) (1998). *The future of air traffic control: Human operators and automation*. Washington, DC: National Academy Press.

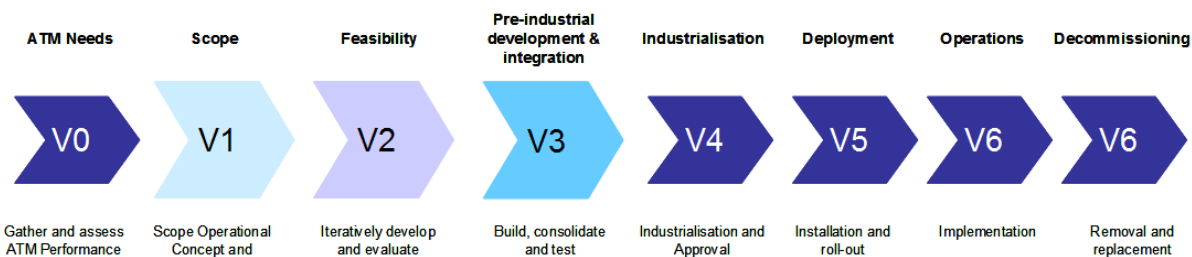


Abb. 2: Phasen des E-OCVM (EUROCONTROL, 2010)

Validierung des prätaktischen Planungstools CLOU

Erste CLOU Validierung in München

Katharina Schwentek

1. Einleitung

Die Verkehrsabwicklung an Hub-Flughäfen bringt mit den wechselnden An- und Abflugspitzen einen hohen Koordinierungsaufwand mit sich. Die beteiligten Partner Flugsicherung, Airlines und Flughafen haben jeweils ihre spezifischen Prozesse, die sich jedoch gegenseitig beeinflussen. Je besser daher die einzelnen Prozesse aufeinander abgestimmt sind, desto effizienter lässt sich der Verkehr abwickeln, um damit Durchsatz und Pünktlichkeit positiv zu beeinflussen.

Besonders wichtig ist eine einheitliche Informationsgrundlage für alle Beteiligten. In Europa hat vor einigen Jahren die Einführung des sogenannten A-CDM (Airport-Collaborative Decision Making) Prozesses begonnen, der die Abstimmung und Koordinierung durch eine zielgerichtete Zusammenführung einzelner Informations- und Datenquellen sowie deren konsolidierte Aufbereitung und Verteilung unterstützt. Mit Hilfe von A-CDM werden an die aktuelle Verkehrssituation stetig angepasste Target Startup Approval Times (TSAT) ermittelt und somit der Turn-around Prozess und die Abflugvorplanung präzisiert. An Flughäfen, die den A-CDM Prozess bereits eingeführt haben, konnte eine signifikante Verbesserung bei der Verkehrsabwicklung wie z.B. bei Rollzeiten oder Kerosinverbrauch festgestellt werden. [1]

Bei der Betrachtung der einzelnen beteiligten Partner ist zu erkennen, dass die unterstützende Systemlandschaft sehr groß ist und weiterhin viele Einzelsysteme zur Informationsgewinnung genutzt werden. Häufig werden unterschiedliche Systeme bzw. Anzeigen verwendet, um Entscheidungen mit anderen Partnern abzustimmen.

An dieser Stelle setzt die Grundidee des prätaktischen Planungstools CLOU (Cooperative Local Ressource Planner) ein, welches im Rahmen des im IV Luftfahrtforschungsprogramm durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Luftfahrtforschungsvorhabens iPort (innovativer Airport) entwickelt wurde. Mittlerweile wird die Entwicklung auch im Rahmen von SESAR gefördert. Der Fokus des

Systems liegt auf der Unterstützung der Abstimmung zwischen Tower (TWR) und Approach (APP, Anflugsektoren im Center), um frühzeitig potentielle Engpasssituationen zu erkennen und proaktive Maßnahmen einleiten zu können. Dies soll durch eine zielgerichtete und einheitliche Anzeige der voraussichtlichen Verkehrssituation am Flughafen für TWR und APP erreicht werden.

2. Zielstellung

Münchens Verkehrssteuerung ist durch die typische Nachfragestruktur eines Hub-Flughafens geprägt. Der Verkehr wird auf zwei voneinander unabhängigen Start- und Landebahnen abgewickelt. In der Regel starten alle Abflüge in Richtung Norden von der Nordbahn (26R/08L) und alle Abflüge Richtung Süden von der Südbahn (26L/08R). Bei den Anflügen gilt dies analog. Der Schwerpunkt der Verkehrssteuerung liegt demnach auf einem geeigneten Start-Lande-Verhältnis („ARR-DEP-Balancing“) auf den einzelnen Pisten.

Voraussetzung für eine effiziente Verkehrssteuerung ist zum einen das frühzeitige Erkennen von Kapazitätsengpässen, zum anderen ein gemeinsames Bild der voraussichtlichen Verkehrssituation für Tower und Approach. So können die heute schon stattfindenden proaktiv koordinierten Abstimmungen auf einer gemeinsamen Entscheidungsbasis optimiert werden.

Derzeit existieren auf dem Tower und im Center München viele Einzelsysteme, die die Lotsen dabei unterstützen, die aktuelle sowie voraussichtliche Verkehrssituation zu bewerten. Teilweise sind es dieselben Systeme (z.B. CFMU¹), zum großen Teil jedoch unterschiedliche Systeme (z.B. SEPL, AMAN), die sich entweder auf die Anflug- oder auf die Abflugseite konzentrieren. Hinzu kommt die unterschiedliche Betrachtungsweise der beiden Parteien, da auf Basis des jeweiligen Aufgabengebiets (Anflug- vs. Ab-

¹ Central Flow Management Unit, jetzt NMOC, Network Manager Operations Centre. Im weiteren wird jedoch noch der „alte“ Ausdruck verwendet

flugplanung) auch der Fokus bezüglich Engpass-situationen ein anderer ist.

Derzeit existiert keine Systemanzeige, die sowohl Tower und Approach ein einheitliches und von beiden Seiten identisch interpretiertes Bild über die Verkehrsprognose bietet und dabei gleichzeitig An- und Abflüge betrachtet. Mit CLOU wurde, nach den Arbeiten für Frankfurt [4], ein erster Versuch in München gestartet, um diese Systemlücke zu füllen.

Die Idee dahinter liegt in einer sogenannten „Balanced Demand“ Anzeige, welche Auskunft über die voraussichtliche Nachfragesituation für Anflüge und Abflüge gibt und dabei die vorhandene Kapazität als Grenze berücksichtigt. D.h. Flüge werden ggf. in das nächste Zeitintervall verschoben, wenn die Kapazitätsgrenze im eigentlichen Intervall bereits ausgeschöpft ist. Somit zeigt CLOU ein realistisches Bild über die tatsächlich zu erwartenden Verkehrsmengen.

Der Zeithorizont liegt aktuell bei zwei Stunden. Als quantitative Bewertungsgrundlage wird nicht die Kennzahl Delay, sondern die Pünktlichkeit genutzt und auf dem HMI zur Anzeige gebracht (siehe Kapitel 3.3). Sie soll sofort erkennbar machen, auf welcher Seite (An- oder Abflug) ein Engpass zu erwarten ist und eine kritischere Verspätungssituation vorherrscht.

Ein Optimierungsvorschlag ist im ersten Schritt nicht vorgesehen, da der Fokus zunächst auf einer verbesserten Demandanzeige liegt. Ziel des ersten Feldversuchs ist es, diese Balanced Demand Anzeige unter Berücksichtigung örtlicher Anforderungen erstmals zu erproben.

3. Umsetzung

Als Vorbereitung wurden im Rahmen regelmäßiger Workshops gemeinsam mit Kollegen aus Tower und Approach die konkreten Anforderungen des operativen Betriebs erfasst und prototypisch umgesetzt. Damit einhergehend musste die Anzeige des CLOU sowie die Berechnung der angezeigten Pünktlichkeit entsprechend geändert werden. Im Folgenden werden die erforderlichen Anpassungen beschrieben.

3.1 Technische Umsetzung

Das CLOU-HMI musste zum einen im Betriebsraum Center an der Arbeitsposition des Approach Supervisors zur Darstellung gebracht werden. Zum anderen musste das HMI in der Tower-

kanzel am Supervisor Arbeitsplatz zu sehen sein. Hierfür war eine geeignete technische Umsetzung notwendig, die im Zeitraum des Feldversuchs ausreichend Stabilität gewährleistet. Ausreichend bedeutet in diesem Fall, dass das HMI tagsüber zugänglich ist. In den Nachtstunden sowie Tagesrandzeiten, zu denen wenig Verkehr stattfindet, bestand keine Notwendigkeit.

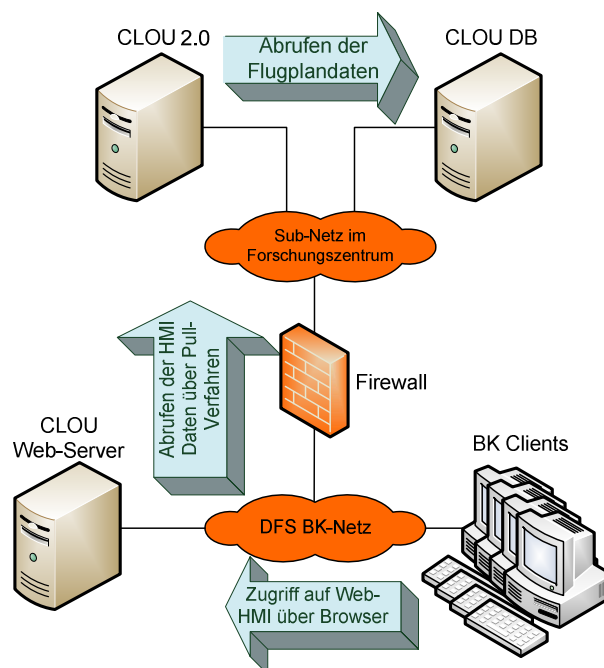


Abb. 1 Technische Anbindung des Web-HMIs

Die technische Umsetzung (vgl. Abb. 1) fand über das Bürokommunikationsnetz (BK) der DFS statt. Die Software läuft auf einem PC im Subnetz des F&E-Bereichs („CLOU 2.0“). Dieser ist mit dem CLOU-PC verbunden, welcher aus dem LIZ die benötigten Flugplandaten erhält („CLOU DB“). Die CLOU-Daten werden regelmäßig (jede Minute) von einem beim Systemhaus eingerichteten Web-Server abgerufen und entsprechend aufbereitet, sodass über folgenden Link von jedem DFS Büro-PC aus das HMI aufgerufen werden kann:

http://teclou.prod.bk.dfs/clou_2.0/

3.2 HMI Anpassungen

Das bisherige CLOU HMI konnte die betrieblichen Anforderungen für den Feldversuch nicht erfüllen. Die Anzeige wurde daher überarbeitet und während der Workshops zum Review vorgestellt, sodass mit Beginn des Feldversuchs folgendes HMI zur Verfügung stand (siehe Abbildung 2).

Der Großbereich zeigt die prognostizierte Menge an Starts und Landungen in 10min-Intervallen für die kommenden zwei Stunden an. Dabei gibt es zwei separate Anzeigen für die beiden Start- und Landebahnen. Rot steht für Abflüge, grün für Anflüge. Links oben steht der Zeitpunkt der Prognoseerstellung, unter dem Hauptbereich ist die Zeitleiter für die kommenden zwei Stunden (alles UTC) zu sehen.

Im Hauptfeld ist der Bereich [aktuelle Zeit + 20min] bis [aktuelle Zeit + 80min] dunkel hinterlegt. Dies ist der Zeitbereich, auf den sich die Prognose der Flugbewegungen (über dem Hauptfeld, „Balanced“) sowie der Pünktlichkeit bezieht. Grund hierfür ist zum einen die Argumentation, dass in den kommenden zwanzig Minuten keine maßgebenden Einflüsse mehr auf die Verkehrsabwicklung stattfinden können, zum anderen die Datenqualität für über eine Stunde in

die Zukunft unzureichend für eine verlässliche Pünktlichkeitsberechnung ist. Die Berechnung der Kenngröße Pünktlichkeit ist im folgenden Kapitel 3.3 näher erläutert.

Über den einzelnen 10min-Intervallen befindet sich ein Vorschlag für das ARR:DEP-Verhältnis, das sich automatisch aus den prognostizierten An- und Abflugmengen im entsprechenden Intervall ergibt. Intervalle mit gleichem Vorschlag werden zusammengefasst.

Die Pfeile im mittleren Bildfeld resultierten aus einem Wunsch des Towers und präsentieren den Vorschlag einer Verschiebung von Anflügen auf die alternative Landebahn. Dabei wird nach folgender Regel vorgegangen:

- wenn ARR auf RWY_X in das nächste Zeitintervall geschoben muss, prüfe, ob durch Verschiebung auf RWY_Y mehr als 1 min Verspätung gespart werden kann
 - ja: verschiebe ARR auf RWY_Y
 - nein: lasse ARR auf RWY_X und verschiebe ihn in das nächste Zeitintervall

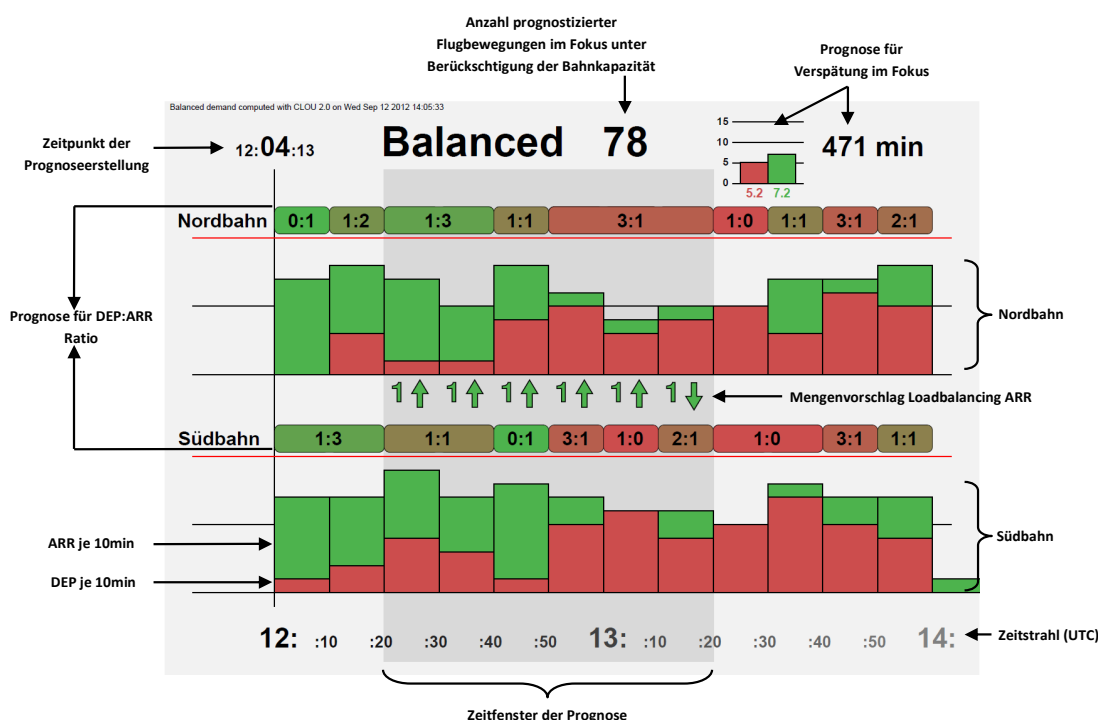


Abb. 2 Übersicht CLOU MUC HMI

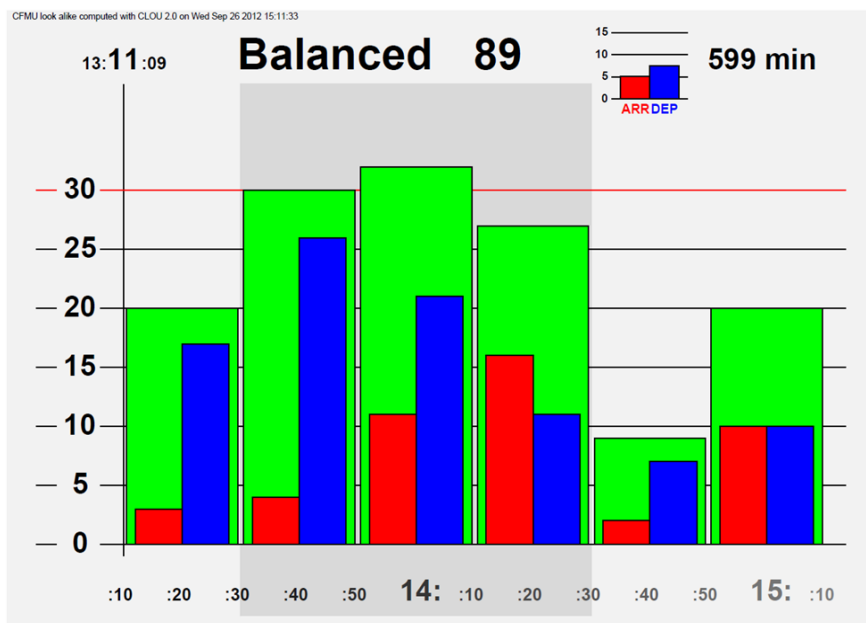


Abb. 3 Übersicht CFMU Look-alike

Zusätzlich zu diesem HMI wurde auf Wunsch des Betriebs kurzfristig eine weitere Darstellung der Demand Prognose ergänzt – das sogenannte „CFMU Look-alike“ (vgl. Abb. 3). Dieses HMI basiert auf derselben Datengrundlage, die Darstellung ist jedoch an das CFMU Fenster angelehnt und soll dem Betrieb helfen, die Informationen durch den bekannten Aufbau schneller zu erfassen.

3.3 Kennzahl Pünktlichkeit

Delay kann auf unterschiedliche Art und Weise ermittelt werden. Auf der Abflugseite ist in der Regel entscheidend, welche TSAT dem Abflug zugrunde liegt und ob ein Slot vorhanden ist. Auf der Anflugseite spielt die aktuelle ELDT (Estimated Landing Time) eine wichtige Rolle. In beiden Fällen kann nicht erkannt werden, was die ursprüngliche Planzeit (Schedule Time) aus dem Flugplan war.

TSAT oder ELDT sind aktuelle Planzeiten. Je nachdem, zu welchem Zeitpunkt der Delay ermittelt wird bzw. wie aktuell und genau die Informationen zum Betrachtungszeitpunkt sind, können die Ergebnisse hier qualitativ unterschiedlich ausfallen. Mit der Schedule Time bleibt die Referenz zu jedem Zeitpunkt statisch. Diese Zeit spielt in der Flugsicherung bisher kaum eine Rolle. Sie bietet jedoch eine objektive Bewertungsgrundlage dafür, wie viel Verspätung ein Flieger tatsächlich hat und unterstützt damit den Ideen-

ansatz von CLOU, eine Anzeige bereitzustellen, die von den beteiligten Partnern (TWR und APP) identisch interpretiert wird.

Für den Feldversuch wurde deshalb entschieden, als Kenngröße die Pünktlichkeit bzw. deren Gegenwert, die Verspätung, darzustellen. Folgende weitere Randbedingungen wurden im Rahmen der Workshops beschlossen und entsprechend umgesetzt:

- Referenzgröße zur Ermittlung der Verspätung: Schedule Time aus dem Flugplan

- ARR: TLDT – (SIBT + EXIT)
- DEP: TTOT – (SOBT – EXOT)

mit

TLDT ... CLOU interne Zielzeit für Landung

TTOT ... CLOU interne Zielzeit für Start

SIBT ... Planzeit aus dem Flugplan für ARR

SOBT ... Planzeit aus dem Flugplan für DEP

EXIT ... erwartete Rollzeit von der Landebahn zur Parkposition; standardmäßig 5 min

EXOT ... erwartete Rollzeit von der Parkposition zur Startbahn; parkpositionsabhängige Rollzeiten sind im System hinterlegt

- Berücksichtigung von ARR-Verschiebungen
- Flüge mit mehr als 1h Verspätung werden mit max. 1h Verspätung in der Berechnung be-

rücksichtigt, um das Ergebnis nicht durch einzelne Ausreißer zu verfälschen.

- Verspätung wird stets dem Intervall zugeordnet, in dem sie tatsächlich auftritt, nicht in dem die Schedule Zeit liegt.

Im HMI bezieht sich die Summe der Gesamtverspätung auf den Fokus von [aktuelle Zeit + 20min] bis [aktuelle Zeit + 60min]. Zusätzlich wird die durchschnittliche Verspätung je Landung und je Abflug grafisch dargestellt. Eine Differenzierung nach den beiden Start- und Landebahnen findet nicht statt.

4. Durchführung

Der Feldversuch fand in den beiden Wochen KW39 und KW40 des Jahres 2012 statt. Über die geplante Durchführung wurde vorab in regelmäßig stattfindenden Supervisor-Meetings informiert. Ein technischer Probelauf in der KW38 stellte sicher, dass ein problemloser Zugriff auf das HMI möglich war.

An den ersten beiden Tagen des Feldversuchs waren neben Vertretern aus dem Bereich Forschung und Entwicklung auch Vertreter aus dem Bereich TWR, welche die Ergebnisse im Rahmen des SESAR Projekts 6.5.3 verwenden können, vor Ort. Sowohl auf dem Tower als auch im Center wurde der CLOU nochmals praktisch vorgestellt und noch offene Fragen beantwortet. Des Weiteren konnten bereits erste Rückmeldungen vom Betrieb gewonnen werden.

Während der zwei Wochen fand jeden Tag ein kurzes Telefoninterview statt, in dem ein vorher abgestimmter und verteilter Fragebogen gemeinsam mit dem diensthabenden Supervisor auf dem Tower und im Center durchgegangen wurde. Die Rückmeldungen wurden protokolliert, um sie anschließend für die Gesamtauswertung des Feldversuchs zu verwenden.

Nach Abschluss der Auswertungen wurden die Ergebnisse des Feldversuchs in München vorgestellt und gemeinsam beurteilt.

5. Ergebnisse

5.1 Umsetzung

Technisch gesehen lief der Feldversuche störungsfrei. Das HMI ist auch weiterhin über das BK-Netz zugänglich.

Aus organisatorischer Sicht hätte vor dem Feldversuch ein aktiverer (beidseitiger) Informationsaustausch stattfinden können, so dass die Teilnehmer umfassender über die Durchführung und/oder Zielstellung des Feldversuchs nicht informiert gewesen wären.

Die täglichen Telefonate liefen wie vereinbart ab. Der jeweils diensthabende Supervisor hatten sich vorab, sofern es der Betriebsablauf zuließ, intensiv mit dem CLOU HMI auseinandergesetzt und konnten konstruktive Rückmeldungen geben.

5.2 Generelle Erkenntnisse

Der erste CLOU Feldversuch in München trug dazu bei, dass der Supervisor als potentieller Nutzer Vertrauen zum System gewinnen konnte. Die Anzeige der prognostizierten Verkehrssituation erschien allen Befragten plausibel.

Als ein großer Vorteil von CLOU wurde die Zusammenfassung relevanter Informationen gesehen, die das Sammeln der notwendigen Informationen aus verteilten Einzelsystemen für den Supervisor im Tower und im Center entbehrlich machen könnten. Durch die einheitliche Anzeige erhoffen sich beide Seiten mehr Transparenz und gegenseitiges Verständnis und damit konkret die Vermeidung von Gesprächen bezüglich erforderlicher Anflug- bzw. Abflugpriorisierung.

Folgende zwei Punkte sind aus Sicht von Tower und Approach für eine sinnvolle Nutzung des Systems notwendig:

- a) Tower und Approach müssen dieselben relevanten Informationen angezeigt bekommen.
- b) Tower und Approach müssen die angezeigten Informationen mit demselden Verständnis interpretieren.

5.3 Bewertung der HMI Anzeige

Aufbau und Inhalt des HMIs wurden grundsätzlich positiv angenommen. Einige Verbesserungs- bzw. Änderungsvorschläge wurden geäußert:

- Aus Sicht APP sollte die Prognose von 2h auf 3h ausgedehnt werden.

- Das Bild sollte analog zum AMAN mit der Zeit kontinuierlich mitlaufen.
- Die Intervalle sollten von 10min auf 20min gesetzt werden.
- Statt des DEP:ARR Verhältnisses sollte ein Flow-Wert (analog zum AMAN) dargestellt werden.
- Der Vorschlag der ARR Verschiebung (ARR Loadbalancing, vgl. Abb. 2) wird eher von TWR als von APP als nützlich angesehen. Er sollte jedoch erst ab einer Anzahl von mindestens vier zu verschiebenden ARR angezeigt werden.
- Die zusätzliche Anzeige des Balanced Demands analog zum CFMU Design (vgl. Abb. 3) wird sehr begrüßt, da ein schnelles Wiederfinden und Einordnen der Informationen möglich ist.

5.4 Bewertung der Kennzahl Pünktlichkeit

Die Objektivität der angezeigten Verspätungswerte wurde grundsätzlich begrüßt und als gute Diskussionsgrundlage bezeichnet. Allerdings herrschte bei einem Großteil der Befragten noch unzureichende Kenntnis über die Berechnung dieser Kenngröße. Auch wurde diese neue Herangehensweise als gewöhnungsbedürftig bezeichnet.

Die Bedeutung der angezeigten Werte und ihre Interpretation im Zusammenhang mit der dargestellten Verkehrssituation bedarf dem Sammeln von Erfahrung, um die Kennzahl für eine Abstimmung und Entscheidungsfindung zielbringend nutzen zu können. Die während des Feldversuchs beobachteten Werte zeigten teilweise ein anderes Bild als das bekannte CFMU Terminal. Die Anflugverspätung war häufig höher als die Abflugverspätung. Typischerweise ist die Delay-Verteilung, wie sie bisher wahrgenommen und definiert wird, eher anders herum.

5.5 Potentielle Anwendungssituationen

CLOU wird als System gesehen, das nur in bestimmten Situationen zur Anwendung kommt. Potential sah der Betrieb insbesondere in Situationen mit sehr hoher Verkehrsnachfrage und gegebenenfalls auch bei Schlechtwettersituationen. Aufgrund der geringen Verkehrsnachfrage und des stetig guten Wetters während des Feldver-

suchs, gab es keine Situationen, in denen der CLOU sein Potential zeigen konnte, aktiv zur Entscheidungshilfe beizutragen. Damit ist auch keine Beurteilung möglich, in welchen Situationen der CLOU tatsächlich einen Nutzen für die Verkehrsabwicklung bringen kann.

Die mögliche Anwendung wird weniger darin gesehen, für den angezeigten Zeithorizont bereits konkrete Bahnnutzungsstrategien zu bestimmen, da sich die Situation stets unerwartet ändern kann. Vielmehr kann frühzeitig eine entsprechende Erwartungshaltung hergestellt werden, was die Entwicklung möglicher Engpässe auf der jeweils anderen Seite (TWR vs. APP) betrifft. Dies kann die Kommunikation und betriebliche Abstimmung erleichtern. Wichtig bleibt dabei, dass der jeweilige Supervisor für den Prozess verantwortlich bleibt und nicht das System.

6. Ausblick

Durch den ersten CLOU Feldversuch in München konnte der Bekanntheitsgrad des Systems und der dahintersteckenden Idee einer proaktiven Verkehrsmengenplanung gesteigert werden. Konkrete Anwendungssituationen konnten aufgrund der moderaten Verkehrslage und der im Versuchszeitraum guten Wetterlage nicht identifiziert werden.

Erst bei steigendem Verkehr ist ein nutzbringender Einsatz des Systems erkennbar. Insbesondere wenn die geplante dritte Bahn in München in Betrieb genommen werden sollte, wird das Potential von CLOU positiv bewertet. Hierbei wird vornehmlich das Thema Loadbalancing von Bedeutung sein.

Die weitere Entwicklung von CLOU sollte daher parallel zu einem möglichen Flughafenausbau erfolgen, um bei Inbetriebnahme einer dritten Bahn einsatzbereit zu sein.

Die Entscheidung über das weitere Vorgehen liegt beim Betrieb München. Bei dem Wunsch, die Entwicklung des CLOU weiter voranzutreiben, steht unser Bereich weiter zur Verfügung.

Abkürzungen

A-CDM	Airport-Collaborative Decision Making
CFMU	Central Flow Management Unit
CLOU	Cooperative Local Resource Planner
ELDT	Estimated Landing Time
ETXT	Estimated Taxi Time
EXIT	Estimated Taxi inbound time
EXOT	Estimated Taxi outbound time
HMI	Human Machine Interface
iPort	innovativer Airport
LIZ	Lage- und Informationszentrum
SEPL	Sequenzplaner
SIBT	Scheduled Inbound Time
SOBT	Scheduled Outbound Time
SV	Supervisor
TLDT	Target Landing Time
TSAT	Target Startup Approval Time
TTOT	Target Take-off Time
UTC	Universal Time Coordinated

Referenzen

[1]	www.euro-cdm.org
[2]	Schwentek, K.: Konzept zur Durchführung des CLOU Feldversuchs in München, iPort
[3]	Schwentek, K. u.a.: 20121105_ Auswertung_CLOU_Feldversuch_v1.1.pptx, Projekt iPort
[4]	Katharina Schwentek: Validierung des prätaktischen Systemverbundes CAPMAN/CLOU am Flughafen Frankfurt, TE im Fokus 2/10, 24.11.2010

FIS-Trainer - Kleiner Simulator ganz groß

Uwe Micksch

Einleitung

Angeregt durch den Leiter des Fluginformationsdienstes Langen (FIS Langen) galt es Ende 2011 einen Trainingssimulator zu entwickeln, der die folgenden Eigenschaften aufweist:

- Kompakte Bauweise (Transportabel im z.B. VW Transporter)
- Ausgestaltung als „Zweiplatz System“ ein Pilot – ein Controller
- Kostengünstige und robuste Hardware Ausstattung
- Nutzung des bei FIS eingesetzten Systems „PHOENIX-FIS“

Als Ergebnis entstand ein System, das sich bereits auf einer Vielzahl von Veranstaltungen bewährt hat und das über ausreichend Potential zur Integration weiterer Funktionen und Dienste verfügt. Eine flexible Nutzung, verbunden mit einer einfachen Wartbarkeit des Systems stand im Vordergrund der Realisierung.

Einsatzzweck

Der FIS-Simulator wird im Center Langen zur Ausbildung, Schulung von Sondersituationen und zur Präsentation auf Messen eingesetzt.

Anforderungen aus Sicht der Nutzer waren hier:

- Einsatz einer „NEWSIM kompatiblen“ Simulationsinfrastruktur mit der Möglichkeit, vorhandene Simulationsszenarien direkt einzusetzen.
- Ausgestaltung als Zweiplatzsystem mit den Plätzen „Simulationspilot“ und „FIS-Lotse“ inklusive einer einfachen Möglichkeit zur Sprachkommunikation (simulierte Funkverbindung) zwischen diesen Arbeitsplätzen.
- Möglichkeit zur Auskopplung des Videosignals auf einen Beamer oder zusätzlichen Monitor für Präsentations- und Prüfungszwecke.
- Möglichkeit zur Auskopplung der Sprachkommunikation auf externe Audiosysteme.
- Möglichkeit zur Aufzeichnung der Bildschirmaktivitäten auf dem „FIS Arbeitsplatz“.

- Darstellung von vorbereiteten Wetterdaten und Hintergrundinformationen im Display des „FIS Arbeitsplatzes“.
- Unproblematischer Standortwechsel des Gesamtsystems.

Im Besonderen war davon auszugehen, dass die Handhabung des Systems auch durch den Nutzer selbst ohne technisches Detailwissen möglich sein soll. Ein schneller Aufbau und eine Inbetriebnahme ohne die Beteiligung von Messebau und Technik war eines der grundlegenden Ziele.

„Das Gehäuse“

Durch den anfordernden Bereich wurden die Konstruktionsmerkmale der Konsole bereits im Vorfeld festgelegt und durch die DFS-eigene mechanische Fertigung hergestellt.



Abb. 1: Konstruktionszeichnung der Konsole

Die Form und Ausgestaltung dieser Konsole stellte einen wesentlichen Faktor für die Auswahl der Hardware dar.

Hardware

Auf Basis der umfangreichen Erfahrungen mit Simulationshardware wurde unter Berücksichtigung von vorhandenem Einbauplatz und Budget eine geeignete Hardware gewählt. Weitere Kriterien wie Robustheit, hohe Bildschirmauflösung und das Vermeiden von Sonderlösungen standen hier ebenfalls im Vordergrund. Zur Umset-

zung der Anforderungen zur Sprachkommunikation konnte auf ein handelsübliches Intercom System zurückgegriffen werden. Zur Auskopp- lung des Audiosignals (Anschlussmöglichkeit an Beschallungsanlagen) waren nur geringfügige Anpassungen erforderlich.

Komponente	Anzahl	Typ
Workstation	2+1	Dell Optiplex 990 i5 2500, 4GB RAM, 256 GB SSD
Monitor	2	Dell U3011, 30" 2560x1600
Funk	1	Intercom SL-400
Splitter	2	DVI Dual Link + DisplayPort auf DVI
Netzwerk	1	Netgear WLAN Router WNDR3700100 PES

Tab. 1: Eingesetzte Hardware "FIS Trainer"



Abb. 2: Systembetreuer Julien Buechs und der Leiter „Mechanische Fertigung“ bei der Einbaubesprechung.

System-Architektur

Aufgrund der Tatsache, dass sich der Zugriff auf ein mobiles System für das Wartungspersonal grundsätzlich schwierig gestaltet, wurde das System derart gestaltet, dass alle anwendungsbezo- genen Bestandteile wie der Simulator und das Radardarstellungssystem in „virtuellen Maschi- nen“ betrieben werden, s. Abb. 3. Die Beweg-

gründe für die Auswahl einer solchen Lösung sind:

- Beibehaltung der freigegebenen Betriebssystemplattform (innerhalb der VM) für die einge- setzten Produkte NEWSAS und PHOENIX-FIS.
- Einfache & risikolose Austauschbarkeit der Bestandteile z.B. bei Releasewechseln.
- Leichte Nachvollziehbarkeit von Problemen und Störungen im Laborumfeld. Hierbei entfällt wei- testgehend das Vorhalten von Referenzsystemen.
- Abgrenzung der Applikationen untereinander. Hier können der Simulator und die verwen- deten Systeme (z.B. PHOENIX-FIS) in einer un- abhängigen Umgebung betrieben werden.
- Einfache Handhabung bei Ausfall und Aus- tausch von Komponenten.

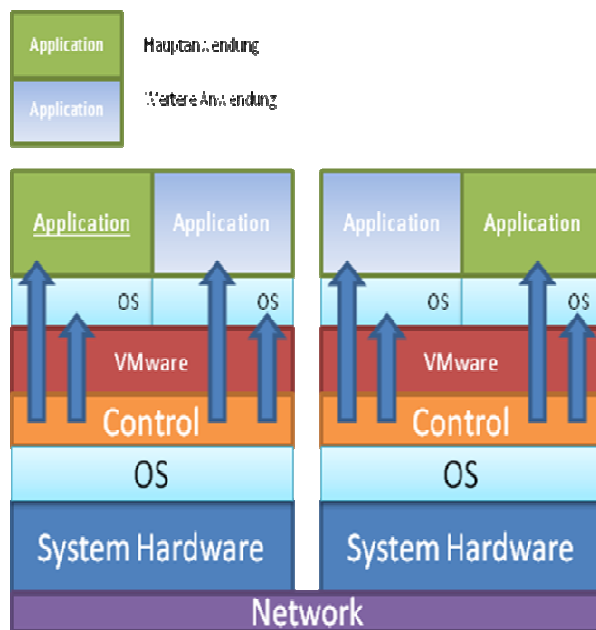


Abb. 3: Grobarchitektur

Betriebssystem und Virtualisierung

Die Auswahl der Hardware stand bei der Realsie- rung des Vorhabens stets im Vordergrund. Um die Wiederverwendbarkeit von vorhanden Bestandteilen zur Steuerung des Simulators und zum Start der Anwendungen gewährleisten zu können, wurde ein auf LINUX basierendes Be- triebssystem eingesetzt. Aus Gründen der Trei- berverfügbarkeit musste bei der Auswahl auf die üblichen Standards (SLES / RHEL) verzichtet werden. Zum Einsatz kam letztlich das Betriebs-

system OpenSuse 12.2_x64. Eine Anpassung der Treiber (z.B. Netzwerk und OnBoard-Grafik) war durch den Einsatz von OpenSuse 12.2_x64 nicht erforderlich, d.h. es konnte auf die in der Distribution verfügbaren Treiber zurückgegriffen werden.

Als Virtualisierungssoftware (diese stellt die virtuelle Hardware bereit und verwaltet die Zugriffe darauf) wurde das Produkt VMware Player verwendet. Für die Auswahl dieses Produktes sprechen folgende Punkte:

- Plattformunabhängigkeit,
- gute Integrationsfähigkeit in Linux- und Windowsbasierende Systeme und
- wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten.

Der Anwendungsbereich

Im Bereich der Anwendungen wurde für den Simulator-Teil das Produkt NEWSAS (NEWSIM Stand-alone Simulator) eingesetzt. NEWSAS verfügt über einen zum NEWSIM identischen

Simulationskern und ist in der Lage, Übungen, die für den NEWSIM erstellt wurden, zu verarbeiten.

Die spezielle Benutzeroberfläche verfügt über eine Radardarstellung und über eine interaktive Streifendarstellung (s. Abb. 4).

Über eine integrierte SIU (Simulator Interface Unit) wird die Schnittstelle zur FIS-Anwendung (PHOENIX-FIS) betrieben. Hier handelt es sich um Asterix Cat. 48 Radar Target Messages. Weiterhin besteht die Möglichkeit, Asterix Cat. 62 Track Messages zu verwenden.

Die Übertragung von Flugplaninformationen ist ebenfalls möglich, wird aber derzeit nicht benötigt. Die NEWSAS-Anwendung läuft als virtuelle Maschine unter SLES11.1 und ist auf jedem der in der Konsole eingesetzten Rechner vorkonfiguriert. Der Start von virtueller Maschine und Anwendung erfolgt über die Schicht „Control“.

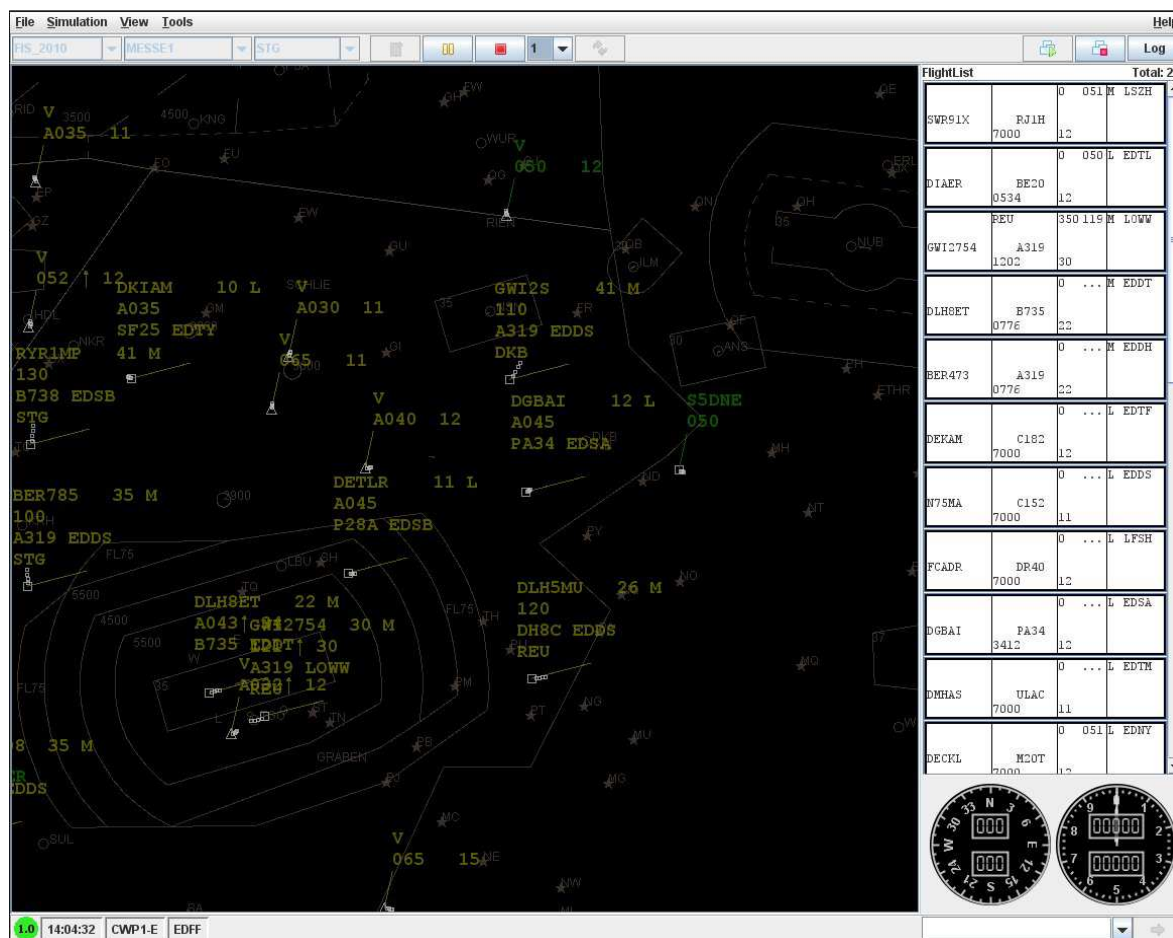


Abb. 4: NEWSAS Bedieneroberfläche mit vereinfachten Steuerelementen für Kurs und Flughöhe

Auf der Seite des FIS-Lotsen wird die Anwendung PHOENIX-FIS, ebenfalls innerhalb einer virtuellen Maschine, eingesetzt. Die Installation weicht nur geringfügig von der operationellen Umgebung ab. Die Abweichungen beschränken sich hier auf die Adaption des Arbeitsplatzes (z.B. durch den Betrieb eines eigenen Trackservers, der die durch NEWSAS gelieferten Radar Target Messages verarbeitet), s. Abb. 5.

Verteilung der Anwendungen

Insgesamt werden in der Konsole 3 Rechner verwendet, auf denen sich die folgenden Anwendungen verteilen (s. Abb. 6):

- Rechner 1: NEWSAS
- Rechner 2: PHOENIX-FIS
- Rechner 3: SPARE

Der Betrieb der Anwendungen NEWSAS und PHOENIX-FIS auf einem einzelnen Rechner wäre problemlos möglich. Aus diesem Grund kann der SPARE Rechner bei Bedarf auch beide Funktionen übernehmen.

Funktion zur Aufzeichnung

Es wurde von den Nutzern die Möglichkeit der Aufzeichnung der Simulations Runs auf der Seite des FIS-Arbeitsplatzes gewünscht.

Diese Aufzeichnungen dienen der Unterstützung von Schulungsmaßnahmen und Situationsanalysen. Auch in diesem Funktionsbereich wurde ein



Abb. 5: Phoenix-Darstellung an der Trainingskonsole

einfacher Ansatz umgesetzt. Bereits in früheren Projekten wurde das Programm *Xvidcap*, ein Tool zur Aufzeichnung von Bildschirmhalten, zum Einsatz gebracht. Diese Open Source Software ist problemlos auf der verwendeten Plattform lauffähig.

Auf die Nutzung der in *Xvidcap* enthaltenen Bedienoberfläche wurde verzichtet. Stattdessen wird die Steuerung und die Verwaltung der „Recordings“ durch eigene grafisch orientierte Steuerscripte realisiert. Neben der Aufzeichnung des PHOENIX Radarbildes ist es möglich, den „Sprechfunkverkehr“ zwischen den beteiligten Arbeitsplätzen aufzuzeichnen.

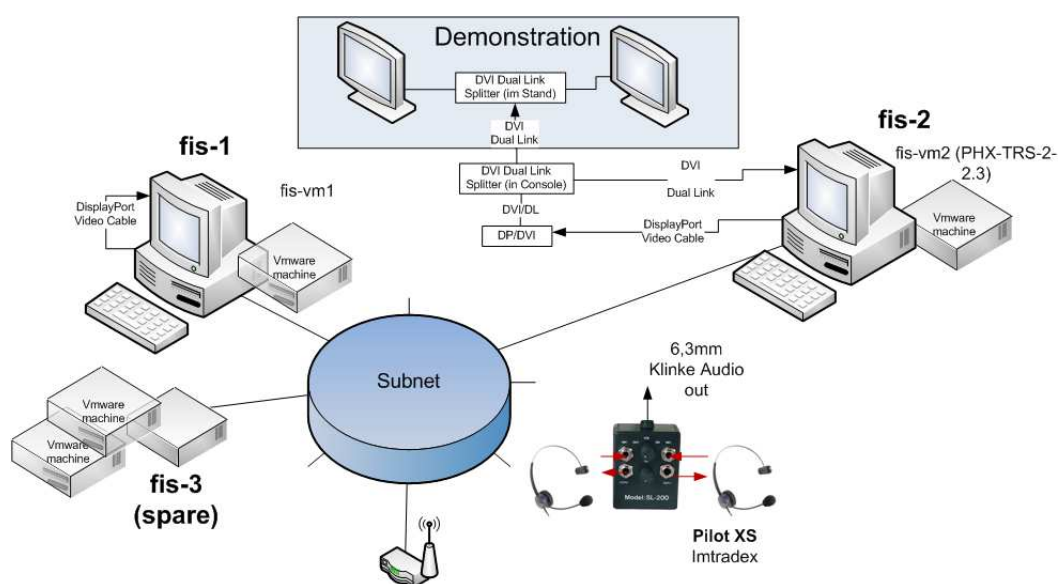


Abb. 6: Architektur der FIS Trainingskonsole

Wetter- und übungsbegleitende Daten

Die Darstellung von Wetter- und übungsbegleitenden Daten wie Anflugblätter, Notams etc. muss derzeit noch für jedes Szenario in Form von Webseiten vorbereitet sein. Das Einblenden der Informationen wird durch den Nutzer über Funktionstasten aktiviert.



Abb. 7: Einsatz des FIS-TRAINERS am DFS Pilotentag 2012

- Die Aufzeichnungsfunktion erlaubt ein detailliertes De-Briefing und kann Anschauungsmaterial für eine Situationsanalyse liefern.

Weitergehenden Anforderungen gibt es im Bereich der Darstellung auf der „Pilotenseite“. Filtermöglichkeiten, die Einfärbung des Labels nach bestimmten Kriterien und die Selektion der Ziele soll künftig verbessert werden.

Ausblick

Der FIS-Trainer unterliegt einer stetigen Weiterentwicklung und in den nächsten Monaten sind folgende Erweiterungen geplant:

- ATCISS Display: Eine Erweiterung um einen Informationsmonitor (ATCISS ähnlich) zur Darstellung von Wetter- und Übungsinformationen ist angedacht. Der derzeit eingesetzte Mechanismus zur Anzeige dieser Informationen wird um dynamische, aus dem Simulationsrun generierte, Informationen ergänzt und auf einem separaten Monitor dargestellt.
- Kopplung zur Flugsimulation: Zudem soll es eine Schnittstelle zu einem Flugsimulator geben. Dies ermöglicht eine parallele Darstellung von Radarbild und Cockpit-Sicht. In Schulungen lässt sich somit Arbeitsweise „im Cockpit“ näherungsweise nachvollziehen. Die entsprechenden Schnittstellen zum Flugsimulator „XPlane10“ sind bereits verfügbar, s. Abb. 8.

„Status quo“

Die unkomplizierte Handhabung macht die Bedienung auch für Coaches mit wenig „Simulatorerfahrung“ leicht. Die NEWSAS Steuerelemente für Kurs und Flughöhen Selektion lassen sich einfach mit der Maus bedienen und haben sich bei den bisher durchgeführten Simulationen bewährt. Insgesamt wurde so ein recht positives Feedback erzielt:

- Die Kopplung von NEWSAS mit PHOENIX ermöglicht ein Training, das dem operationellen System des FIS-Lotsen entspricht.
- Die kompakten Ausmaße erlauben einen flexiblen Einsatz.
- Die Möglichkeit, die Audio- und Videosignale zu exportieren, erlaubt auch den Einsatz vor größeren Gruppen und Publikum.



Abb. 8: NEWSAS - XPlane Kopplung: Anflug auf Stuttgart

- AMAN-Demonstrator: Bereits im Januar 2013 wurde für die ATC-World der modulare Sequencer (AMAN) in das System integriert und steht z.B. als Demonstrator für eine künftige Nutzung zur Verfügung.



Abb. 9: AMAN Demonstrator

Simulationslauf durchführen können. NEWSAS kann dann unter Nutzung der „Java Web Start“ Technologie über ein sogenanntes „Bring your own device“ Verfahren verwendet werden.

Abkürzungen

ATCISS	Air Traffic Control Information Subsystem
FIS	Flight Information Service
GUI	Graphical User Interface
NEWSAS	NEWSIM Standalone Simulator
NEWSIM	Enroute Simulator der DFS
OS	Operating System
PHX	PHOENIX
RAM	Random Access Memory
RHEL	RedHat Enterprise Linux
SLES	SuSe Linux Enterprise Server
SSD	Solid State Drive

Referenzen

- | | |
|-----|--|
| [1] | Jan Fiegert, Ralph Kar, Peter Krauspe: NEWSIM-Weiterentwicklung - Vom großen Realzeitsimulator zum „Training in the Cloud“, TE im Fokus 1/12, 04.06.2012 |
|-----|--|

Spracherkennung und e-Learning:

Mit Integration der Spracherkennung (Herbst 2013) wird die erste Nutzung der NEWSAS Anwendung im Bereich e-Learning erfolgen. Derzeit stehen bereits 30 „Cloud Instanzen“, d.h. ein Verbund virtueller Maschinen, im Rahmen einer Evaluierung zur Verfügung. Das bedeutet, dass bis zu 30 Nutzer unabhängig voneinander einen

SESAR P4.7.2: Konflikterkennung und –lösung für Radar- und Planungsloten

Dr. Matthias Poppe, Stephan Herr, Dr. Andreas Herber

Einleitung

Das SESAR-Projekt 4.7.2 *Separation Management En-Route* hat das Ziel, Unterstützungstools für Lotsen zur Konflikterkennung und Konfliktlösung sowie zur Flugwegüberwachung zu entwickeln und in Simulationen zu validieren. Unter der Federführung der französischen Flugsicherung DSN haben wir uns als Projektpartner zum Ziel gesetzt, die taktischen Konflikttools zu untersuchen. Diese Untersuchungen bauen auf den Arbeiten im Innovationsprojekt CATO [1] (Controller Assistance Tools) auf. Dieser Artikel beschreibt das zugrundeliegende operationelle Konzept und stellt die Ergebnisse der V2-Validierungen vor, die in dem Projekt 4.7.2 im Juni 2012 und im April 2013 in der DFS stattfanden.

Eine Validierung dieser Tools ist von großer Bedeutung, da sie sowohl in einem P1/P2-ATCAS Umfeld eingesetzt als auch integraler Bestandteil des zukünftigen iCAS-Systems werden können.

Das grundlegende Konzept

Sofern in einem ATM-System Freigaben und Koordinationsergebnisse in elektronischer Form vorliegen, können Unterstützungs-Tools eingesetzt werden, die die Arbeit des Radarloten oder des Planungsloten wirksam unterstützen. Diese Tools sind im wesentlichen Konflikterkennung, Konfliktlösungsassistentz und Flugverlaufsüberwachung. Im Rahmen des SESAR-Vorhabens 4.7.2 (bzw. DFS-intern innerhalb des Projekts CATO) wurden Funktionalitäten, Betriebskonzept, operationelle und technische Anforderungen sowie ein entsprechender Prototyp entwickelt, mit dem schließlich Validierungsübungen durchgeführt werden können. Dies soll im folgenden näher erläutert werden.

Überblick über die Algorithmen

Entsprechende Tools zur Erkennung potentieller Konflikte (ECS, Executive Conflict Search, und PCS, Planner Conflict Search) wurden bei der DFS im Rahmen des Beitrags zum SESAR 4.7.2

Projekt entwickelt und zunächst für das betriebliche Umfeld des unteren Luftraums konfiguriert. Sie berechnen anhand der tatsächlichen Flug- und Freigabedaten, ob sich Flugziele innerhalb einer definierten Zeitspanne näher als ein lateraler und vertikaler Schwellwert kommen.

Dazu wird die aktuelle Position anhand verschiedener Daten extrapoliert; entsprechend wird zwischen folgenden Trajektorien unterschieden:

- **Tactical Trajectory:** Die taktische Trajektorie extrapoliert den Flugverlauf, sofern sich das Flugziel an seine lateralen und vertikalen Freigaben hält. Die Berechnung kann auf Bodendaten (Track-, Flugplan- und Freigabedaten) oder auch Borddaten (Enhanced Surveillance Daten, FMS-Daten per Data Link) beruhen. Alle Lotseneingaben ins System werden mit einer angemessenen Latenz (bord- und bodenseitige Reaktionszeit) in die neue Trajektorie übernommen. Die erste laterale Position auf der taktischen Trajektorie ist dabei immer die aktuelle Position, siehe Abb. 1. Die weitere Berechnung berücksichtigt laterale Freigaben und laterale Unsicherheiten (z.B. um Wegpunkte).

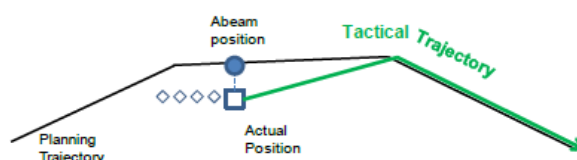


Abb. 1: Beispiel für eine taktische Trajektorie (Aufsicht)

Die vertikale Trajektorie wird durch Modellierung der Höhenänderung auf den freigegebenen Level inklusive höhenabhängiger Änderung der Ground Speed (bei konstanter *calibrated air speed*, CAS) und einem Puffer für die Vertikalrate bestimmt, der später bei der Konflikterkennung benötigt wird.

- **Deviation Trajectory:** Diese Trajektorie wird berechnet, wenn eine vertikale oder laterale Abweichung von der freigegebenen Trajektorie erkannt wird (Beispiel siehe Abb. 2).

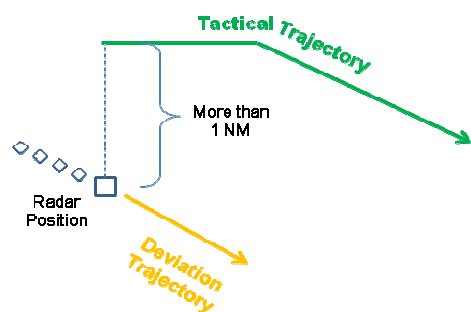


Abb. 2: Beispiel für eine *Deviation Trajectory* (Aufsicht)

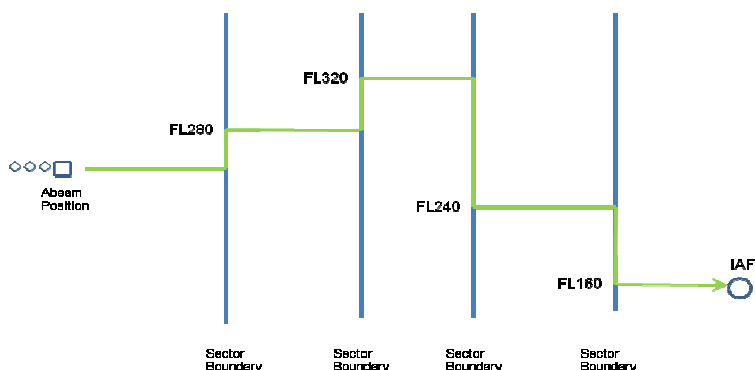


Abb. 3: Beispiel für eine *Entry Trajectory* (Vertikalsicht)

- **Entry Trajectory:** Die *Entry Trajectory* extrapoliert den Flugverlauf, sofern alle lateralen Freigaben und die Vorgaben für Sektoreintrittshöhen eingehalten werden. Die Trajektorie startet bei der aktuellen Flughöhe bei der aktuellen Position (s. Abb. 1). An den Sektorgrenzen werden die koordinierten Flughöhen oder Standardwerte angenommen, die Höhen bleiben also innerhalb des Sektors konstant. Die *Entry Trajectory* endet am Initial Approach Fix (IAF), siehe Beispiel in Abb. 3. Die Geschwindigkeit an den Sektoreintrittspunkten ergibt sich aus der Geschwindigkeit über Grund unter Berücksichtigung der Zunahme bei steigender Höhe. Davon abhängig wird auch die Sektoreintrittszeit berechnet. Die *Entry Trajectory* wird für die Konflikterkennung für den Planungslotsen (PCS) verwendet; dabei werden Konflikte, die bereits vom ECS erkannt wurden, ausgefiltert.

Eine Aktualisierung der Trajektorienberechnung erfolgt bei jedem Radarupdate und jeder Lotseneingabe.

Flugwegsüberwachung

Flugwegsüberwachung ist ein integraler Bestandteil der Konflikterkennungstools. System wie auch Lotse müssen auf eventuelle Abweichungen von Freigaben hingewiesen werden, und in diesem Fall kann die Vorhersage nur mit den aktuellen Flugparametern erfolgen. Folgende Abweichungen werden erkannt und dem Lotsen angezeigt:

- **Route Deviation:** Die Position eines Luftfahrzeugs weicht von der freigegebenen Route um mehr als einen Schwellwert ab.
 - **Cleared Flight Level Deviation:** Die aktuelle Flughöhe weicht von der freigegebenen Höhe um mehr als einen Schwellwert ab.
 - **Cleared vertical rate deviation:** Die aktuelle Steig- oder Sinkrate weicht von der freigegebenen um mehr als einen Schwellwert ab.
 - **No valid Flight Plan data:** Es existiert keine Flugplaninformation zu dem entsprechenden Flugziel (z.B. letzter Wegpunkt lt. Flugplan wurde überflogen).

Konflikterkennung für Radarlotsen

Die Konflikterkennung für den Radarlotsen basiert auf den beiden Trajektorien *Tactical Trajectory* und *Deviation Trajectory*. Für alle Kombinationen von Flugzielen wird für einen bestimmten Zeithorizont berechnet, ob es bei Einhaltung der prognostizierten Flugverläufe zu Staffelungsunterschreitungen kommen würde.

Konflikterkennung für Planungslotsen

In vergleichbarer Weise wie für den Radarlotsen arbeitet die Konflikterkennung für den Planungslotsen, nur basiert sie auf der *Entry Trajectory*. Auch hier wird berechnet, ob es bei Einhaltung der prognostizierten Flugverläufe zu Staffelungsunterschreitungen kommen würde.

Konfliktlösungsunterstützung

Im SESAR-Kontext wird bei Konfliktlösungsunterstützung unterschieden zwischen *what-if-probing* und *what-else-probing*.

- **What-if-probing** wird vom Lotsen initiiert und prüft, inwieweit eine einzelne Freigabe konfliktfrei wäre.
- **What-else-probing** überprüft kontinuierlich (im Hintergrund) alle möglichen Freigaben und inwieweit sie konfliktfrei (möglicherweise nur mit Einschränkungen) gegeben werden könnten. Dies wird im Falle einer geplanten Freigabe angezeigt.

Im Rahmen von SESAR 4.7.2 wurde das Prinzip *what-else-probing* angewandt und validiert.

Anzeige am Lotsenarbeitsplatz

Potentielle Konflikte werden zusammen mit einem Konflikt-Code und einer Kennzeichnung im Label angezeigt (siehe auch früherer Artikel zu CATO, [1]).

Mit dem *what-else-probing* kann nun überprüft werden, ob Freigaben auf Flugflächen, zu Wegpunkten oder auf ein Heading für eine bestimmte Zeit konfliktfrei wären. Das Ergebnis der kontinuierlichen Berechnungen (s.o.) des *what-else-probing* wird als Farbcodierung im jeweiligen Menu angezeigt.

Im CFL-Menü¹ sind z.B. grüne Flight Level konfliktfrei, blaue Flight Level sind nur dann konfliktfrei, falls auch eine grüne Rate angewiesen wird, und orange Level sind immer konfliktträchtig.

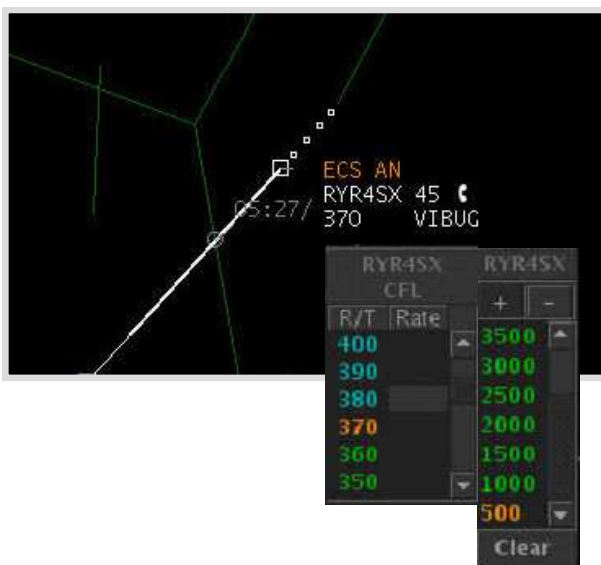


Abb. 4: Beispiel für ein *what-else-probing* für vertikale Freigaben

¹ CFL = Cleared Flight Level, Menu zur Eingabe einer verbalen Höhenfreigabe ins System

Abb. 4 zeigt ein Beispiel eines *what-else-probing*s für eine Höhenfreigabe: Eine Freigabe auf FL350 und FL360 wäre konfliktfrei, auf FL380 aber z.B. nur mit einer Rate von 1000 fpm oder mehr.

In vergleichbarer Weise wird das Ergebnis des *HEADING-what-else-probing* angezeigt: Orange Segmente zeigen an, dass eine Freigabe zu diesem Heading einen Konflikt zur Folge hätte, grüne wären hingegen konfliktfrei. Abb. 5 zeigt ein Beispiel eines *what-else-probing*s für eine Direct/Heading-Freigabe; für die folgenden Wegpunkte und alle Kurse zwischen 30° links und 10° rechts wäre eine Freigabe konfliktfrei, bei Kursen zwischen 15° und 30° rechts nicht.

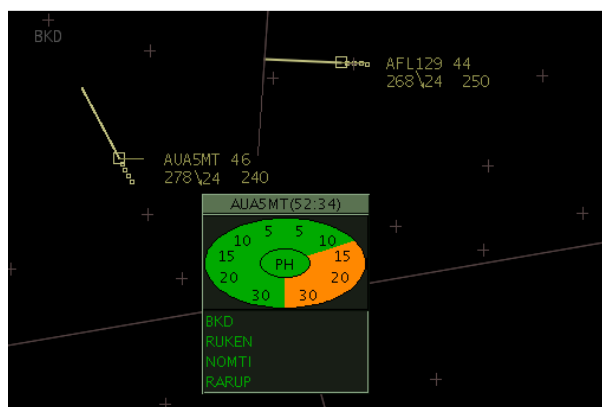


Abb. 5: Beispiel für ein *what-else-probing* für HEADING-Freigaben (PH=present heading)

Validierung

Im Juni 2012 und im April 2013 fanden umfangreiche Validierungen der oben beschriebenen Funktionalitäten statt. Die Untersuchungsziele der beiden jeweils 3 tägigen Simulationen mit dem SESAR-Reifegrad V2 waren:

- Nutzerakzeptanz der entwickelten Tools im operationellen Umfeld mit realistischen Verkehrsszenarien
- Einfluss auf die Human Performance (Arbeitsbelastung, Situationsbewusstsein)
- Einfluss auf die Sicherheit (Safety)
- Einfluss auf Kapazität und Flugeffizienz (nur Simulation April 2013)

Der simulierte Luftraum bestand aus vier Sektoren der Niederlassung Bremen wie in Abb. 6 dargestellt. Es handelt sich dabei um die Sektoren Deister/Ems, Harz, Aller und Heide, die für die Kontrolle im Wesentlichen von Flugfläche 105 bis

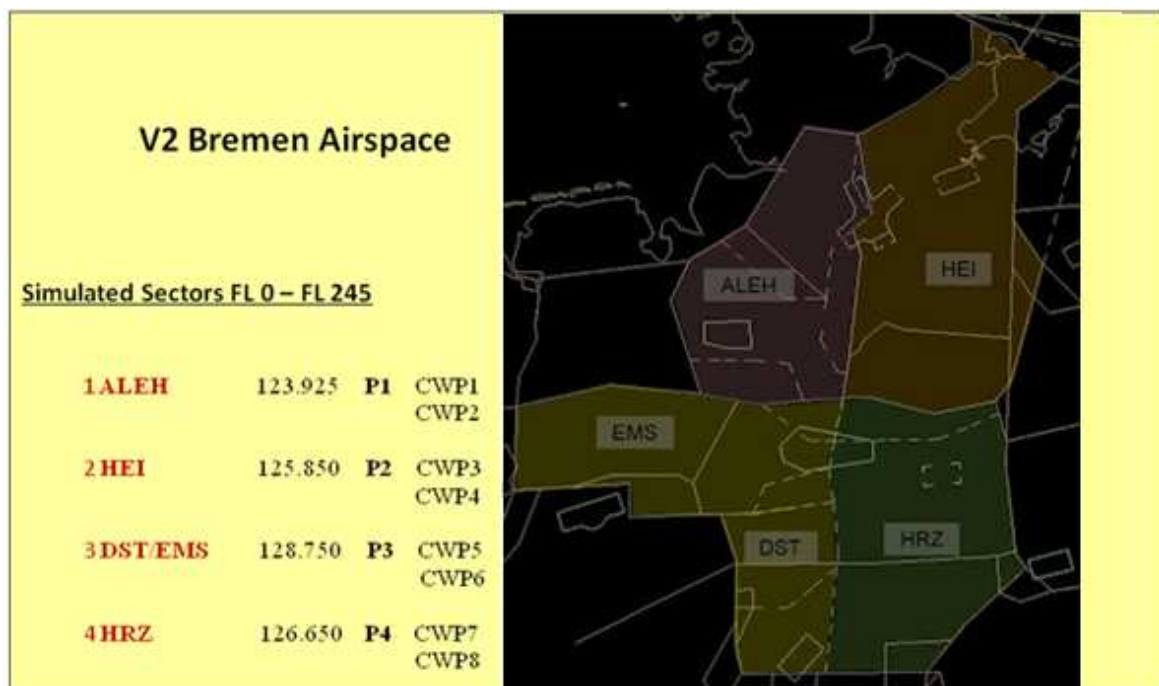


Abb. 6: Simulierter Luftraum der Niederlassung Bremen

Flugfläche 245 verantwortlich sind. In diesem Luftraum befinden sich internationale Verkehrsflughäfen (Hannover, Bremen und Hamburg) sowie diverse militärische Übungsgebiete. Er zeichnet sich durch eine hohe strukturelle Komplexität sowie einen hohen Anteil von vertikalen Flugbewegungen aus [2].

Insgesamt 8 Lotsen mit Zulassungen in den entsprechenden Sektoren nahmen an der Validierung teil. Sie hatten im Durchschnitt 15 Jahre Erfahrung im Kontrolldienst.

Sowohl der Realitätsgrad der Verkehrsszenarien als auch die Zusammensetzung des Verkehrs wurden in dieser Realzeitsimulation sehr positiv bewertet (s. Abb. 7). Die Reaktionszeiten der Piloten waren aufgrund der sehr hohen Verkehrsmenge (Simulation April 2013) etwas verzögert, was sich allerdings in der Realität bei einer sehr hohen Frequenzbelastung ähnlich darstellt.

Als Simulationsplattform diente die P1/ATCAS En-Route Industry Based Platform (IBP), die im wesentlichen aus drei Komponenten besteht: einem operationellen P1/ATCAS Hostsystem mit elektronischem Flugstreifensystem als Eingabemedium (PSS), dem Simulator NEWSIM als Treiber für das P1-System und dem im Rahm des Programms CATO entwickelten Prototypen mit den neuen Konflikterkennungs- und -lösungs-

algorithmen sowie der Flugwegüberwachung. Die für die Validierung benutzen Systemparameter sind in Tab. 1 aufgeführt. Zu beachten ist hierbei, dass das *What-else-Probing* eine längere Zeit voraus blickt, um keine Folgekonflikte zu erzeugen, wenn der Lotse der Empfehlung des Tools folgt.

Es wurden bei beiden Simulationen zu Beginn 2 Trainingsszenarien mit kleiner Verkehrslast simuliert, damit sich die Lotsen mit den neuen Funktionalitäten vertraut machen konnten. Die SESAR-Validierungsmethode schreibt vor, zuerst sogenannte Referenzszenarien ohne Tools zu bewerten, und diese dann mit den Lösungsszenarien zu vergleichen. Nur durch diesen vergleichenden Ansatz ist sichergestellt, dass die erzielten Er-

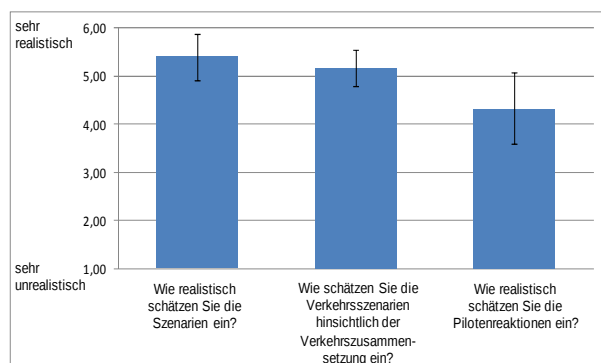


Abb. 7: Bewertung des Realitätsgrades der Simulation

Deviation	Abbr.	Parameter
Rate deviation	RATE	≥ 100 ft/min (cleared rate); Minimum rate (no cleared rate) ≥ 50 ft/min Latency time after clearance: 15 seconds
Cleared flight level deviation	CFL	≥ 200 ft/min
Route deviation	Route	≥ 1 NM; ≥ 3 NM around waypoints Latency time after clearance: 25 seconds Turntime: 1,5 degrees per second
Tactical Conflict Tool	TCT	< 7 NM; < 800 ft; 6min look ahead Ratebuffer (cleared rate): 100 ft/min Ratebuffer (no cleared rate): 100 ft/min – 6000 ft/min
What-else probing	WeP	Like TCT except 7min look ahead

Tab. 1: Benutzte Systemparameter der Tools

gebnisse auch valide sind und nicht auf anderen sekundären Effekten beruhen. Daher wurden jeweils drei Referenzszenarien -ohne Tools- mit 70% bis 130% (Simulation Juni 2012) bzw. mit 140% (Simulation April 2013) des heutigen Verkehrs verglichen mit den gleichen drei Szenarien mit Tools. Der Anteil des Vertikalverkehrs betrug dabei je nach Sektor und Szenario zwischen 70% und 95%.

Die Ergebnisse in den folgenden Abschnitten sind nach den Untersuchungszielen strukturiert.

a) Nutzerakzeptanz

Die Konflikterkennung für den Radarlotsen wurde sehr positiv bewertet und als große Hilfe angesehen. Sie erlaubt z.B. in Konfliktsituationen mit mehreren Flugzeugen den „Hauptverursacher“ schnell zu identifizieren und die Situation einfacher als heute zu lösen.

Auch die Flugwegüberwachung wurde durchweg positiv beurteilt. Sie erlaubt es z.B. unbeabsichtigte Fehleingaben

vom Lotsen in das PSS schnell zu erkennen und zu korrigieren. Es ist eine sinnvolle und notwendige Funktionalität, um die korrekte Erkennung von Konflikten zu gewährleisten.

Das *what-else-probing* beinhaltet nach Aussagen der Lotsen ein sehr hohes Potenzial sowohl zur Reduktion der Arbeitslast, als auch zu Erhöhung der Sicherheit und ist eine mehr als wünschenswerte Funktionalität gerade bei hoher Verkehrslast.

Diese hohen Bewertungen wurden erzielt, obwohl noch Verbesserungsbedarf bei der HMI Gestaltung besteht. Das *what-else-probing* stand in einem Labelfenster des Radardisplays zur Verfügung, während die Systemeingaben im PSS erfolgten. Eine Integration des *what-else-probings* ins PSS würde die Nutzerakzeptanz noch steigern.

Abb. 8 zeigt beispielhaft die Nutzerbewertung für das *What-else-probing* mit einer sehr hohen Zustimmung. Die Nutzerbewertung für die Konflikterkennung und die Flugwegüberwachung bewegt sich im gleichen Bereich.

b) Human Performance

Maßgebliche Indikatoren (Key Performance Indicators, KPI) für die menschliche Leistung sind die Arbeitsbelastung und das Situationsbewusstsein.

Insgesamt bewegte sich die Arbeitsbelastung mit den CATO-Tools auf einem relativ niedrigen Niveau, obwohl durchschnittlich 140% der heutigen

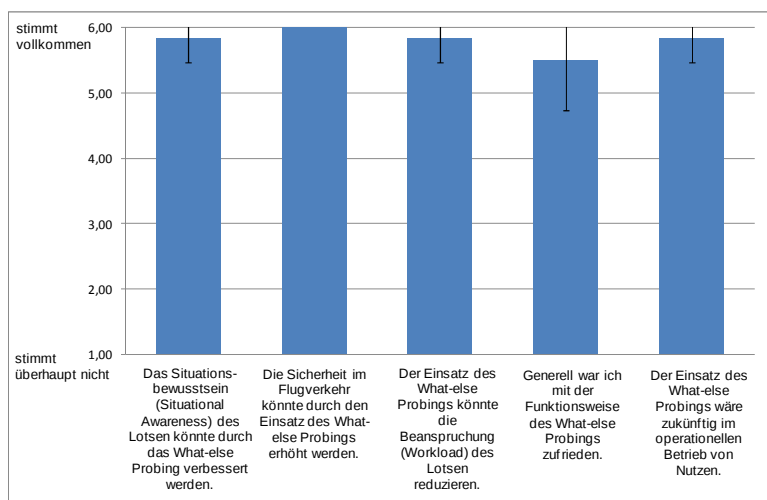


Abb. 8: Nutzerbewertung für das What-else-probing

Verkehrsbelastung von den Lotsen bearbeitet wurden. Ohne CATO-Tools bewegte sich die Durchschnittsbelastung am gerade noch zu tolerierenden Limit, während die Spitzenbelastung ohne Tools als klar nicht arbeitbar einzustufen ist.

Beim Situationsbewusstsein, welches über den standardisierten *China Lake*-Fragebogen erhoben wurde, ergibt sich ein ähnliches Bild. Auch hier konnte mit den neuen Tools eine signifikante Erhöhung festgestellt werden. Das Situationsbewusstsein ohne CATO-Tools ist als nicht ausreichend einzustufen, während es mit Tools in einem guten bis sehr guten Bereich liegt.

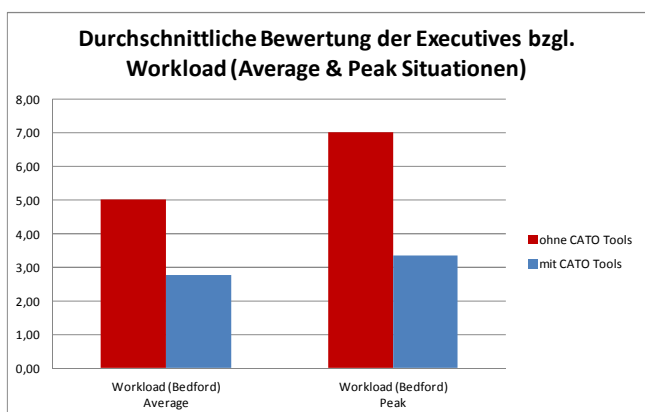


Abb. 9: Arbeitsbelastung mit und ohne Tools

c) Sicherheit

Für die Bewertung der Sicherheit wurden die Fragebögen für das subjektive Sicherheitsempfinden bezogen auf die Funktionalitäten und die Anzahl der nicht angezeigten Alarmer² (*missed alerts*) als auch der Falschalarme (*false alerts*, *nuisance alerts*) ausgewertet. Wie in Abb. 10 exemplarisch zu sehen ist, beurteilen die Lotsen den Zugewinn an Situationsbewusstsein sehr positiv, wobei die eigentliche Erkennung von Konflikten die höchste Zustimmungsrates erzielt.

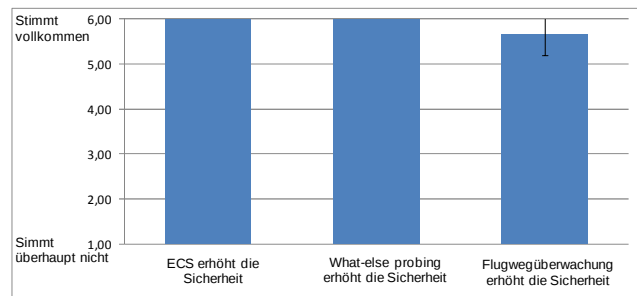


Abb. 10: Fragebogen zur Sicherheit

Abb. 11 zeigt die von den Lotsen beobachtete relative Anzahl der *Missed Alerts* und *False Alerts*. Diese Erhebung wurde zusätzlich bei der Simulation im April 2013 durch eine objektive Analyse der Trackdaten begleitet, die jedoch bei Redaktionsschluss noch nicht zur Verfügung stand.

Es wurden praktisch keine *Missed Alerts* gemeldet. Die Anzahl der *False Alerts* wurde auch gering, aber doch etwas höher als die der *Missed Alerts* eingeschätzt. Hier konnte im Zuge der Simulationen noch Optimierungsbedarf für einen gewählten Parameter für die Konflikterkennung identifiziert werden, da ein Ratenpuffer von den Lotsen als operationell zu groß eingeschätzt wurde.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die neu eingeführten Funktionalitäten einen Zuwachs an Sicherheit ermöglichen. Die Anzahl der *Missed and False Alerts* liegt in einem für den operationellen Betrieb akzeptablen Bereich.

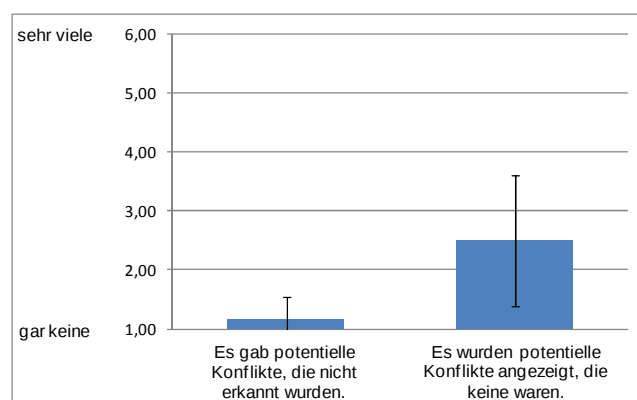


Abb. 11: Fragebogen zu Fehl- und Falschalarmen

² Es hätte aber aufgrund der Verkehrssituation ein Alarm angezeigt werden müssen, nur wurde dieser nicht richtig vom System erkannt.

Zusammenfassung und Ausblick

Der betriebliche Nutzen der CATO-Funktionalitäten konnte mit den bisherigen Validierungen nachgewiesen werden. Mit den Tools können deutliche Verbesserungen im Bereich der Sicherheit, aber auch in den Bereichen Effizienz und Kapazität erreicht werden. Die Tatsache, dass durchschnittlich 140% der heutigen Kapazitätseckwerte (in der Spitze deutlich darüber hinaus) im Simulationsumfeld sicher bearbeitet werden konnten, deuten auf eine Kapazitätssteigerung im Bereich von 30% hin. Diese Verbesserung im Bereich Kapazität kann bei Bedarf auch in eine entsprechende Verbesserung im Bereich Kosteneffizienz (z.B. durch frühere Zusammenlegung von Sektoren) gewandelt werden unter Beibehaltung des im Vergleich zur heutigen Situation erhöhten Sicherheitsniveaus..

Eine weitere Validierungsübung ist für Oktober 2013 geplant, mit weiteren Funktionalitäten (z.B. *what-else-probing* für den Planungslotsen). In dieser Simulation soll darüber hinaus der betriebliche Nutzen der Funktionalitäten noch stärker quantitativ erfasst werden.

Nach Abschluss der V2-Validierungsphase Ende 2013 (Validierung mit einem Forschungsprototyp) werden sog. industrielle Prototypen durch die an SESAR beteiligten Industriepartner gebaut und wiederum in mehreren Simulationen validiert.

Der industrielle CATO-Prototyp soll hierbei sowohl auf der P1/ATCAS IBP mit dem elektronischen Flugstreifensystem PSS validiert werden, als auch auf der IBP des streifenlosen Systems iCAS. Für beide Systeme wird ein signifikanter betrieblicher Nutzen durch die CATO-Funktionalitäten erwartet. Aufgrund der unterschiedlichen Philosophien zur Informationsaufnahme und Systemeingabe (streifenlos im Gegensatz zu elektronisch streifenbasiert) müssen insbesondere die Indikatoren zur Arbeitslast und zur Nutzerakzeptanz separat für beide Systeme erfasst werden.

Die V3-Validierungen mit dem industriellen CATO-Prototyp sind im Zeitraum Mitte bis Ende 2014 geplant.

Abkürzungen

ATCAS	Air Traffic Control Automation System: Das zur Zeit in der DFS für den unteren Luftraum eingesetzte System P1/ATCAS: DEC Alpha Hardware P2/ATCAS: Linux-basierte Hardware
CAS	Calibrated air speed (die um den Instrumentenfehler berichtigte Geschwindigkeit des Luftfahrzeugs)
CATO	Controller Assistance Tools
CFL	Cleared Flight Level
ECS	Executive Conflict Search
IBP	Industry Based Platform
iCAS	iTEC Center Automation System
iTEC	interoperability through european collaboration
KPI	Key Performance Indicators
PCS	Planner Conflict Search
PSS	Paperless Strip System
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme
WeP	What-else-probing
WiP	What-if-probing

Referenzen

[1]	Eliana Haugg, Dr. Andreas Herber, Stephan Herr: Vorhaben CATO – Controller-Tools für den unteren Luftraum, TE im Fokus 2/10, 24.11.2010
[2]	ACE 2010 Benchmarking Report with 2011-2015 outlook, Annex 3: Traffic complexity indicators at ANSP level

Erweiterung in der Trajektorien-Optimierung mehrerer Flugzeuge mit Hilfe der optimalen Steuerung

Markus Hochstrasser (TU München), Dr. Matthias Poppe

I. Einleitung

Im Forschungsbereich der DFS wird seit 2011 an einem neuen Optimierungsansatz für Trajektorien gearbeitet [1]. Ziel ist dabei die konfliktfreie Berechnung von optimalen Trajektorien, so dass die Abweichungen von dem kürzesten Flugweg in dem zu kontrollierenden Luftraum minimiert werden.

Der zu entwickelnde Algorithmus gliedert sich in mehrere Schritte: aus der Analyse der Verkehrssituation wird ein optimales Steuerungsproblem in Form eines Differentialgleichungssystems erzeugt. Dieses wird zuerst diskretisiert und dann in ein endlich-dimensionales nichtlineares Optimierungsproblem in Standardform mit Randbedingungen¹ transformiert. Die Lösung wird dann mit einem Standardverfahren (z.B. mit Sequential Quadratic Programming SQP) gefunden und in Form von Kontrollvariablen ausgegeben. Diese Kontrollvariablen wie die Änderung der Geschwindigkeit oder des Kurswinkels bewirken eine entsprechende Modifikation der Trajektorien und damit des gesamten Verkehrsszenarios und könnten später in der Praxis über Data Link an die Flugzeuge übertragen werden.

Dieser Artikel beschreibt die Weiterentwicklung des Algorithmus sowie dessen Implementierung in MATLAB. Anhand von Beispielen wird die Leistungsfähigkeit dieser Weiterentwicklung bei der Berechnung von optimalen Trajektorien demonstriert. Weitere Details sind der Diplomarbeit von Hochstrasser [9] zu entnehmen, die in enger Zusammenarbeit der TU München mit der DFS durchgeführt wurde.

Das allgemeine Optimierungsszenario umfasst einen beliebig geformten, zweidimensionalen Sektor, der von einer beliebigen Anzahl an Flugzeugen unterschiedlichen Typs und zu beliebigen Zeitpunkten durchflogen wird. Die Trajektorien der Flugzeuge sollen durch Vorgabe von Kurs- und Geschwindigkeitsänderungen so optimiert werden, dass zu jedem Zeitpunkt eine minimale

Separation von 7,5 NM gewährleistet ist². Die Abweichung vom nominalen Kurs und von der Reisegeschwindigkeit soll dabei so gering wie möglich gehalten werden.

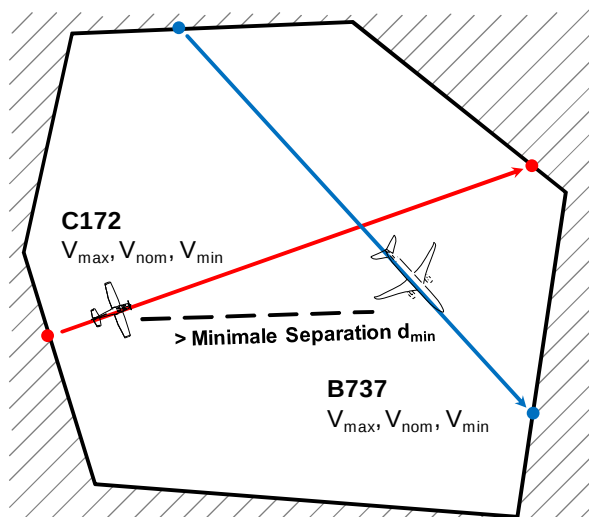


Abb. 1: Allgemeines Optimierungsproblem

Das erarbeitete MATLAB-Framework erweitert die bereits existierenden Ansätze (vgl. Walter [2] und Lepojevic [3]) durch

- Transkription des Problems mit der deutlich performanteren pseudospektralen Kollokation zur Diskretisierung und Parametrisierung des Gleichungssystems
- Integration von flexiblen Sektorein- und austrittszeitpunkten sowie beliebigen Sektorformen
- Methoden zur Generierung von schrittweisen Steuerungsanweisungen, die den Freigaben der Lotsen entsprechen
- einen Clustering-Algorithmus, der große Problemszenarien in kleinere, leichter optimierbare Sub-Szenarien zerlegen.

II. Optimale Steuerung

Die Dynamik eines Systems wird in der Systemtheorie vollständig über seinen Zustand $x(t)$, die

¹ Randbedingungen sind z.B. Sektorein- und austrittszeitpunkte oder auch Staffelungsparameter

² Dieser Wert ergibt sich aus dem Staffelungsminima (5 NM) plus einem „typischen“ Puffer von 2,5 NM

von außen einwirkenden Steuerungen $\mathbf{u}(t)$, konstante Parameter $\mathbf{q}$ und einen Satz das Systemverhalten repräsentierender Differentialgleichungen $\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{q})$ beschrieben. Sind beispielsweise die Zustände eines Flugzeuges wie Position und Lagewinkel sowie die Steuergrößen (Klappenstellung, Schub,...) und zeitkonstante Parameter (Flügelgröße,...) bekannt, so kann über gegebene Differentialgleichungen eine Aussage über die Änderung des Zustandes des Flugzeuges gemacht werden.

Die Optimalsteuerungstheorie sucht nun nach Steuerungen $\mathbf{u}(t)$ und/oder Parametern $\mathbf{q}$, die eine beliebig definierte Kostenfunktion $J(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{q})$ minimieren, unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen $\mathbf{R}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{q})$.

$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{u}(t), \mathbf{q}} J(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{q}) \\ & \text{mit } \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{q}) \\ & \text{und } \mathbf{R}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{q}) \leq 0 \end{aligned}$$

In gegebenem Flugzeug-Modell könnte beispielsweise die optimale Klappenstellung im Steigflug gesucht sein, um den Treibstoffverbrauch zu minimieren.

Im Allgemeinen werden solche Probleme mit Methoden der nichtlinearen Optimierung gelöst, da die involvierten Funktionen oft hochgradige Nichtlinearitäten aufweisen. All diese Verfahren stützen sich jedoch auf ein sogenanntes Parameteroptimierungsproblem. Dabei ist eine endliche Anzahl zeitunabhängiger Variablen $\mathbf{z} := (z_1, z_2, \dots, z_n)$ gesucht, die die Kostenfunktion unter Einhaltung diverser Randbedingungen $\mathbf{R}(\mathbf{z})$ minimieren:

$$\begin{aligned} & \min_{\mathbf{z}} J(\mathbf{z}) \\ & \text{mit } \mathbf{R}(\mathbf{z}) \leq 0 \end{aligned}$$

Ein wichtiger Bestandteil der Lösung von Problemen der Optimalsteuerung ist deshalb die Transformation (oder auch Transkription) des zeitabhängigen, und somit unendlich-dimensionalen Problems in ein endlich-dimensionalen Problem, das mit den gängigen MATLAB-Frameworks der nichtlinearen Optimierung aufgelöst werden kann.

Es existiert eine Vielzahl an Ansätzen, die sich mit dieser Transformation befassen. In dieser Arbeit wurde eine sogenannte direkte Methode gewählt, die die zeitabhängigen Funktionen in einem ersten Schritt zu den Zeitpunkten $t_0 <$

$t_1 < \dots < t_K = t_f$ diskretisiert und anschließend die diskreten Werte der Optimierung als Parameter hinzufügt.

$$\mathbf{z} := (\mathbf{u}_0^T, \dots, \mathbf{u}_{K-1}^T, \mathbf{x}_0^T, \dots, \mathbf{x}_K^T)$$

$$\text{mit } \mathbf{u}_k := \mathbf{u}(t_k) \text{ und } \mathbf{x}_k := \mathbf{x}(t_k), k = 0, \dots, K$$

Die Differentialgleichungen werden als sogenannte Kollokationsbedingungen geschrieben, deren Einhaltung zu jedem Zeitpunkt t_k sichergestellt wird.

$$\mathbf{x}_k + \int_{t_k}^{t_{k+1}} \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{q}) dt - \mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{0}$$

Zur Auflösung des Integrals müssen die diskreten Werte interpoliert werden. In der gegebenen Arbeit wird die Interpolation durch ein globales Polynom umgesetzt. Dazu müssen allerdings die Stützstellen t_k so gewählt werden, dass Polynome hoher Ordnung kein oszillierendes Verhalten aufweisen, sondern mit zunehmender Anzahl an Stützstellen der Interpolationsfehler vermindert wird. Aus mathematischer Sicht stellen Stützstellen, die den Nullstellen orthogonaler Polynome entsprechen, dieses Verhalten sicher [4]. Verwendet werden hier die sogenannten Legendre-Gauss-Radau-Punkte, die auf dem Legendre-Polynom basieren.

Die entstehenden Polynom-Funktionen können anschließend effizient mit der Gauss Quadratur integriert werden [4]. Die Anwendung dieses Verfahrens, kombiniert mit Kollokation an orthogonalen Stützstellen, definiert die Gruppe der pseudospektralen Transkriptionsmethoden, die in vielen Fällen exponentielle oder auch als spektral bezeichnete Konvergenz bei der Lösungsfindung zeigt [5].

Für die Transkription wird in dieser Arbeit die MATLAB-Erweiterung GPOPS [6] verwendet, die das skizzierte Verfahren implementiert. Die nichtlineare Optimierung wird mit dem Softwaretool SNOPT [7] durchgeführt.

III. Dynamik, Separationsbedingung und Kostenfunktionen

Als Steuergrößen für die beschriebene Situation werden der kommandierte Kurswinkel χ_{cmd} und die kommandierte Geschwindigkeit V_{cmd} für das n -te Flugzeug gewählt, hier dargestellt als die Abweichung vom nominalen Kurs χ_{nom} und der nominalen Geschwindigkeit V_{nom} :

$$\mathbf{u}^{(n)}(t) := (\Delta \chi_{cmd}^{(n)}, \Delta V_{cmd}^{(n)})$$

mit $\chi_{cmd}^{(n)} = \chi_{nom}^{(n)} + \Delta \chi_{cmd}^{(n)}$
und $V_{cmd}^{(n)} = V_{nom}^{(n)} + \Delta V_{cmd}^{(n)}$.

Die Dynamik jedes Flugzeuges n lässt sich dann durch ein vereinfachtes Punktmassenmodell wiedergeben

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} \ddot{\chi} \\ \ddot{V} \\ \dot{\chi} \\ \dot{V} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{T_\chi} (\chi_{cmd}^{(n)} - \chi^{(n)}) \\ \frac{1}{T_V} (V_{cmd}^{(n)} - V^{(n)}) \\ V^{(n)} \cdot \sin(\chi^{(n)}) \\ V^{(n)} \cdot \cos(\chi^{(n)}) \end{pmatrix}.$$

x und y beschreiben die Position des Flugzeuges, wohingegen χ und V die geglätteten Steuerkommandos sind. Letztere sind nötig, da die direkten Steuerfunktionen $\mathbf{u}^{(n)}(t)$ im Allgemeinen stark sprunghaftes oder oszillierendes Verhalten aufweisen. In der Differentialgleichung ist deshalb eine Verzögerung erster Ordnung implementiert (auch als PT1-Glied aus der Regelungstechnik bekannt), das hochfrequente Oszillationen dämpft und somit die Steuerungsfunktionen glättet. Über die Zeitkonstanten T_χ und T_V lässt sich die Glattheit der Steuerungsfunktionen regulieren.

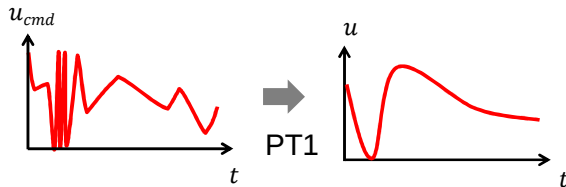


Abb. 2: Glättung der Steuerung durch PT-Element

Die Separationsbedingungen werden als sogenannte Pfadbeschränkungen geschrieben, deren Einhaltung an jedem Kollokationspunkt erzwungen wird. Der Abstand zwischen dem i -ten und j -ten Flugzeug muss größer als die minimal erlaubte Separation d_{min} sein, oder anders ausgedrückt

$$C_{i,j} = \sqrt{(x^{(i)} - x^{(j)})^2 + (y^{(i)} - y^{(j)})^2} - d_{min} \geq 0$$

$i = 1 \dots N, j = i + 1 \dots N.$

Die Kostenfunktion eines Optimalsteuerungsproblems wird mittels der sogenannten Bolza-Funktion definiert, bestehend aus einem von dem Anfangs- und Endzustand abhängendem Mayer-

Term ϕ und einem über alle Zeiten integrierten Lagrange-Term $\mathcal{L}$.

$$J := \phi(\mathbf{x}(t_0), \mathbf{x}(t_f), \mathbf{q}) + \int_{t_0}^{t_f} \mathcal{L}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{q}) dt$$

Für das gegebene Szenario wird die Abweichung von nominalem Kurswinkel χ_{nom} und die Abweichung von Reisegeschwindigkeit V_{nom} als Lagrange-Funktion implementiert, summiert über alle im Szenario eingeschlossenen N Luftfahrzeuge,

$$\mathcal{L}_\chi := \sum_{n=1}^N (\chi_{nom}^{(n)} - \chi^{(n)})^2,$$

$$\mathcal{L}_V := \sum_{n=1}^N (V_{nom}^{(n)} - V^{(n)})^2.$$

Die gesamte Kostenfunktion ergibt sich damit zu

$$J = \int_{t_0}^{t_f} w_\chi \cdot \mathcal{L}_\chi + w_V \cdot \mathcal{L}_V dt$$

mit den frei anpassbaren Gewichtungsfaktoren $w_\chi \geq 0$ und $w_V \geq 0$.

IV. Ein- und Ausblenden der Dynamiken und Randbedingungen

Durch die im vorherigen Absatz eingeführten Dynamiken, Pfadbeschränkungen und Kostenfunktionen lässt sich die Optimierung bereits programmieren, allerdings zeigt sich ein Hauptproblem. In der Optimierung wird für alle Flugzeuge das gleiche, globale Zeitintervall $t \in [t_0, t_f]$ angewandt, d.h. sie betreten alle den Sektor bei t_0 und verlassen ihn an ihrem Austrittspunkt zum Zeitpunkt t_f . Jedes Flugzeug ist somit zu jedem Zeitpunkt in die Optimierung involviert. Hinzu kommt die Problematik, dass alle Trajektorien folglich auf das gleiche Zeitfenster skaliert werden. Die Pfadbeschränkungen vergleichen deshalb Zustände zu unterschiedlichen Zeitpunkten, was bei abschließender Zurückskalierung zur Verletzung der Separationsbedingung führen kann. Die Näherung ist akzeptabel für den ausgewählten Fall sehr ähnlicher Durchgangszeiten und nahezu gleichzeitigem Sektoreintritt aller Flugzeuge.

Generell muss deshalb ein Verfahren gefunden werden, das einzelne Flugzeuge innerhalb der Optimierung zu verschiedenen Zeitpunkten akti-

vieren und deaktivieren kann. Eine Idee ist, die Dynamiken vor dem Eintrittszeitpunkt T_0 und nach Verlassen des Sektors auf null zu setzen. Die wirkungslose Dynamik $\dot{x} = 0$ lässt das Flugzeug am Eintrittspunkt bis zum gewünschten Zeitpunkt T_0 stehen, oder fixiert es am Austrittspunkt sobald dieser erreicht ist. Damit das Flugzeug für andere Verkehrsteilnehmer in seiner passiven Phase unsichtbar ist, werden auch die Pfadbeschränkungen auf gleiche Weise ein- und ausgeblendet.

Um die Schaltungs-Funktionen differenzierbar – und somit für nichtlineare, gradienten-basierte Optimierer lösbar zu halten, wird das Ein- und Ausschalten durch Tangens-Hyperbolicus-Funktionen umgesetzt, die mit den jeweiligen Dynamiken und Pfadbeschränkungen multipliziert werden.

Der allgemeine Tangens Hyperbolicus wird dabei durch Streckung und Verschiebung derart manipuliert, dass er den Sprung auf eine beliebige Amplitude an einem gewünschten Punkt imitiert.

Für das Einschalten des n -ten Flugzeuges zum Eintrittszeitpunkt gilt beispielsweise die Funktion

$$\delta_t^{(n)} = \frac{1}{2} \tanh \left(a \left(t^{(n)} - T_0^{(n)} \right) \right) + \frac{1}{2},$$

welche an der Stelle T_0 von 0 auf 1 übergeht.

Über den Parameter a kann die Steilheit des Sprunges geregelt werden. Je steiler die Steigung am Wendepunkt, desto schneller wird das Flugzeug aktiviert, aber desto größere numerische Schwierigkeiten bestimmen die Optimierung. Hier muss eine Abwägung zwischen Simulationsgenauigkeit und numerischer Stabilität gefunden werden. Äquivalent werden Funktionen $\delta_x^{(n)}$ und $\delta_y^{(n)}$ definiert, die von 1 auf 0 übergehen, sobald die jeweilige Endposition erreicht ist.

Die genannten Tangens Hyperbolicus Funktionen werden mit der Dynamik bzw. mit den Pfadbeschränkungen multipliziert.

$$\tilde{x}^{(n)} = \dot{x}^{(n)} \cdot \delta_x^{(n)} \cdot \delta_y^{(n)} \cdot \delta_t^{(n)}$$

$$\tilde{c}_{i,j} = d_{i,j}^2 - d_{min}^2 \cdot \delta_x^{(i)} \cdot \delta_x^{(j)} \cdot \delta_y^{(i)} \cdot \delta_y^{(j)} \cdot \delta_t^{(i)} \cdot \delta_t^{(j)}$$

V. Diskrete Steueranweisungen

Die Ergebnisse des letzten Abschnittes erlauben die Implementierung eines MATLAB-Frameworks, das Konflikte frühzeitig und durch besonders geringe Kurs- und Geschwindigkeitsabweichungen löst. Die optimierten, zu fliegenden Trajektorien allerdings stellen Kurven dar, die nur über eine direkte Einspeisung ins Flight Management System (FMS) umsetzbar wären. Verbale Kommunikation oder Umsetzung durch Piloten ist schwer bis unmöglich. Das vorgestellte Problem soll deshalb im Folgenden weiterentwickelt werden, um – neben den kontinuierlichen Steuerfunktionen – auch auf schrittweise Kommandos (entsprechend der Freigaben der Lotsen) optimieren zu können.

Damit rückt das Spezialgebiet der gemischt-ganzzahligen nichtlinearen Optimalsteuerung in den Fokus, deren Ziel zum einen die Darstellung der Steuerungsfunktionen aus einem Satz diskreter Werte, zum anderen die Minimierung der Anzahl der Steuerungsanweisungen ist. Der resultierende, nicht-zusammenhängende Definitionsbereich der Steuerungsfunktionen erlaubt im Allgemeinen jedoch keine Lösungsfindung mit gradienten-basierte Algorithmen mehr, da die Gradienten nicht mehr definiert sind.

Neben Verfahren, die hauptsächlich enumerativ die unterschiedlichen Steuerungsmöglichkeiten absuchen, existiert eine Reihe Umformulierungen, die durch gezieltes Umschreiben einem nicht-zusammenhängenden Definitionsbereich in der Optimierung umgehen. Im Folgenden werden zwei Ansätze vorgestellt, die sich in genau diese Gruppe einordnen lassen.

VI. Ansatz 1 - Binär- und Straffunktion

Der Ansatz sieht vor, zu Beginn alle Steuerungsfunktionen in sogenannte Binärfunktionen umzuschreiben, um deren einzigartige numerische Eigenschaften ausnutzen zu können. Im Weiteren wird der Definitionsbereich der Binärfunktionen auf ein zusammenhängendes Intervall erweitert. Um trotzdem auf den diskreten Definitionsbereich optimieren zu können, werden Straffunktionen implementiert, die die erweiterten Binärfunktionen wieder in ihre ursprünglichen Charakter überführen.

Binärfunktionen sind definiert als $w(t) \in \{0,1\}$, d.h. sie können den Wert 0 oder 1 annehmen.

Werden mehrere Binärfunktionen mit einer Basis multipliziert und anschließend aufsummiert, dann kann die resultierende Funktion Werte aus einer definierten, diskreten Menge annehmen.

Die Steuerungsfunktion des Kurswinkels $\Delta\chi_{cmd}(t)$ kann z.B. durch drei Binärfunktionen $w_1(t), w_2(t)$ und $w_3(t)$ ersetzt werden. Mit der Basis $\mathbf{v}_\chi$

$$\mathbf{v}_\chi = (5^\circ, 10^\circ, 20^\circ)^T$$

und

$$\Delta\chi_{cmd}^{(n)}(t) = \mathbf{w}_\chi^{(n)}(t) \cdot \mathbf{v}_\chi - 15^\circ.$$

kann die Abweichung vom nominalen Steuerkurs abhängig von der Schaltung der Binärfunktionen die Werte

$$\mathcal{F}_\chi := \{-15^\circ, -10^\circ, -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ\}$$

annehmen.

Äquivalent kann die Abweichung von der nominalen Geschwindigkeit umgeschrieben werden als

$$\mathbf{v}_V = (20 \text{ m/s}, 20 \text{ m/s})^T$$

$$\Delta V_{cmd}^{(n)} = \mathbf{w}_V^{(n)} \cdot \mathbf{v}_V - 20 \text{ m/s}$$

mit dem Wertebereich

$$\mathcal{F}_V := \{-20 \text{ m/s}, 0 \text{ m/s}, 20 \text{ m/s}\}.$$

Durch die binären Steuerungsfunktionen $w(t) \in \{0,1\}$ wurde der Definitionsbereich verkleinert – an seiner Zusammenhangslosigkeit hat sich allerdings noch nichts geändert. Abhilfe schafft eine Erweiterung des Definitionsbereichs auf $w(t) \in [0,1]$ („Relaxation“). Damit geht jedoch wiederum der diskrete Charakter der Steuerungsfunktion verloren. Allerdings können nun auf Basis dieser Formulierung Straffunktionen eingeführt werden, welche einerseits die binären Steuerungsfunktionen auf ihren ursprünglichen Wertebereich $\{0,1\}$ zwingen, andererseits die Anzahl der Schaltungen von 0 auf 1 und umgekehrt minimieren.

Eine kombinierte Kostenfunktion, die beide Aspekte zugleich berücksichtigt, ist in [8] gegeben und kann für die j -te binäre Steuerungsfunktion w_j wie folgt definiert werden:

$$\sigma_{j,k} = (2\alpha_{j,k} - 1)(w_{j,k} + w_{j,k+1} - 1) + 1$$

$$\alpha_{j,k} := \alpha_j(t_k), w_{j,k} := w_j(t_k), k = 0, \dots, K$$

Verglichen werden die Werte zu zwei Zeitpunkten $w_{j,k}$ und $w_{j,k+1}$. Ein zusätzlicher Freiheitsgrad

ist $\alpha_j \in [0,1]$, der die Stabilität und Lösbarkeit des Problems erhöht.

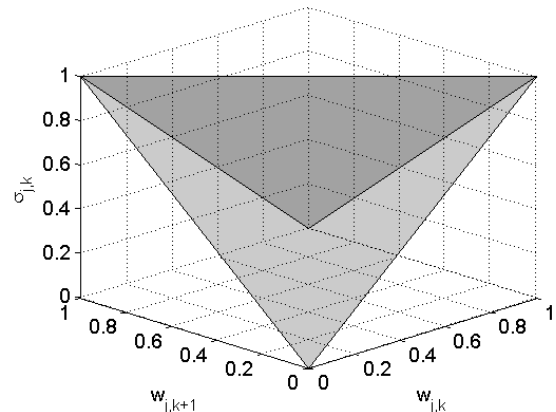


Abb. 3: Binäre Strafffunktion

$w_{j,k}$	$w_{j,k+1}$	$\alpha_{j,k}$	$\sigma_{j,k}$
0	0	1	0
0	1	free	1
1	0	free	1
1	1	0	0

Tab. 1: Binäre Strafffunktion (Werte)

Abbildung 3 und Tabelle 1 illustrieren die angegebene Strafffunktion und zeigen, dass nicht-binäre Werte und Sprünge in der relaxierten Binärfunktion mit zusätzlichen Kosten belegt werden. Die geringsten Kosten treten für zwei aufeinanderfolgende binäre Steuerungen auf, die entweder beide 0 oder beide 1 sind.

Die Ergebnisse der beschriebenen Umformulierung sind vielversprechend. Die Steuerungsfunktionen beschränken sich auf die Werte aus den definierten diskreten Mengen und die Anzahl der Anweisungen wird auf ein Minimum reduziert. Durch die Zunahme an Steuerungsfunktionen (jede ursprüngliche Steuerungsfunktion wird durch zwei bzw. drei Binärfunktionen und die gleiche Menge an Freiheitsgraden ersetzt) büßt das Problem an Stabilität ein, kann aber dennoch effizient in iterativen Schritten mit steigender Gewichtung der Strafffunktion gelöst werden.

VII. Ansatz 2 - Tangens Hyperbolicus Summe

Der zweite implementierte Ansatz verfolgt eine alternative Strategie, die in dem gegebenen speziellen Fall Potential erweist, allerdings von den

Zielen der gemischt-ganzzahligen Optimierung abweicht.

Die j -te Steuerungsfunktion wird dabei durch aufsummierte Tangens Hyperbolicus Funktionen ersetzt.

$$\Delta\chi_{j,cmd} = \sum_{i=1}^M K_{\chi,i} \cdot \left(\frac{1}{2} \tanh(a_{\chi}(t - t_{s,\chi,i})) + \frac{1}{2} \right)$$

$$\Delta V_{j,cmd} = \sum_{i=1}^M K_{V,i} \cdot \left(\frac{1}{2} \tanh(a_V(t - t_{s,V,i})) + \frac{1}{2} \right)$$

Jede der aufsummierten Komponenten ist dabei durch Amplitude K und den Zeitpunkt des Sprunges t_s parametrisiert. Anstatt der zeitabhängigen Steuerungsfunktionen wird jetzt ein Satz konstanter Parameter gesucht. Abb. 4 verdeutlicht dies für eine Steuerungsfunktion. Die gestrichelten roten Linien sind hierbei die einzelnen Komponenten, die summiert in der blauen Steuertrajektorie resultieren.

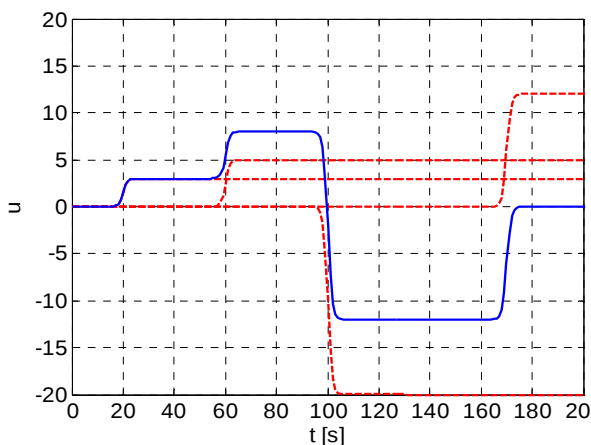


Abb. 4: Steuerungsfunktion als Summe von Tangens Hyperbolicus-Komponenten

Der Ansatz erlaubt keine direkte Beeinflussung der Amplitude – die erhaltenen Steuerungsfunktionen setzen sich deshalb nicht aus einer diskreten Definitionsmenge zusammen wie in Ansatz 1. Allerdings werden durch die kontinuierliche Steigung des Tangens Hyperbolicus Kurs- und Geschwindigkeitsänderungen mit einer festlegbaren Rate „realer“ durchgeführt.

Für die Formulierung des Problems muss die etwaige Anzahl an Anweisungen a-priori bekannt sein. Diese lässt sich allerdings aus der Lösung einer vorgelagerten Optimierung mit kontinuierlichen Steuergrößen ermitteln.

VIII. Beispieloptimierungen

Die Ergebnisse der einzelnen Ansätze werden an einem ausgesuchten Szenario gemäß Abb. 5 demonstriert. Die Flugzeuge 1, 3 und 5 vom Typ Cessna Citation und Dash 8 betreten den Sektor direkt zum Startzeitpunkt von $t = 0$ s. Die beiden Boeing-Flugzeuge 2 und 4 folgen mit einer Verzögerung von 250 s. Alle fünf Flugzeuge unterschreiten mindestens einmal die minimale Separation von hier 7.5 NM. Die Anordnung des Szenarios erlaubt keine Unterteilung in Subprobleme, es wird ein zusammenhängender Konflikt generiert.

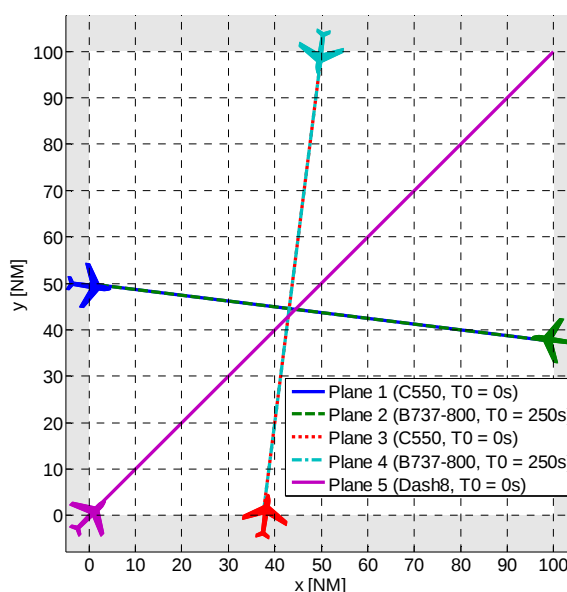


Abb. 5: Nominelle Trajektorien

Abb. 6 illustriert die Lösung mit kontinuierlichen Steuerfunktionen. Geschwindigkeitsanpassungen wurden durch Gewichtung der jeweiligen Kostenfunktion in diesem Beispiel unterdrückt, der Konflikt wird einzig durch laterale Manöver gelöst. Durch die gewählten Kostenterme wird, wie deutlich zu erkennen, eine frühzeitige Konfliktlösung forciert.

In Abb. 7 sind die Trajektorien, welche aus Ansatz 1 resultieren, dargestellt. Der Optimierer arbeitet nun mit diskreten Steueranweisung (vornehmlich 10° und 20° Schritte). Hervorzuheben ist, dass für Flugzeug 5 keine Steueranweisung erforderlich ist.

Abb. 8 verdeutlicht die Lösungstrajektorien von Ansatz zwei. Da keine diskreten Werte verwendet werden müssen, die Amplituden der Tangens Hyperbolicus Komponenten also frei wählbar sind, kann sich der Optimierer sehr gut der opti-

malen, kontinuierlichen Lösung nähern. Ein Hauptgrund für die Ähnlichkeit der Trajektorien in Abb. 6 und Abb. 8 liegt jedoch darin, dass die Startwerte für die Parametrisierung der Tangens Hyperbolicus Elemente aus der kontinuierlichen Lösung gewonnen wurden.

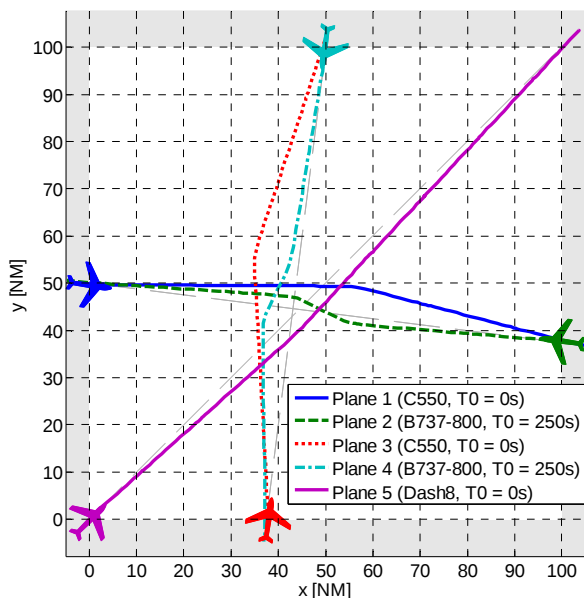


Abb. 6: Trajektorien mit kontinuierlichen Steuergrößen

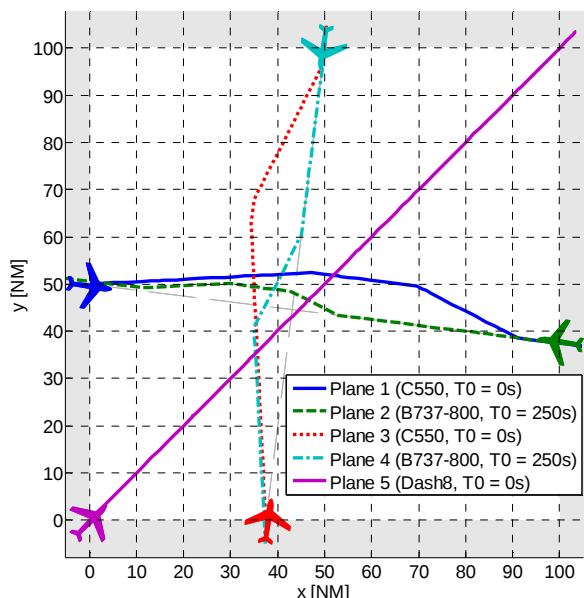


Abb. 7: Trajektorien mit diskreten Steuergrößen durch Ansatz 1

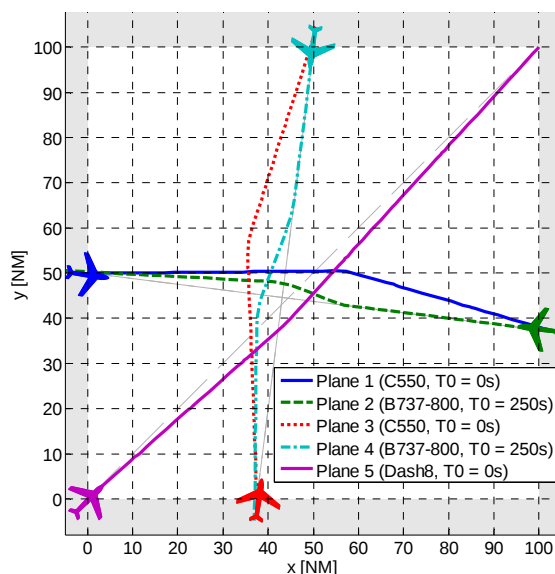


Abb. 8: Trajektorien mit diskreten Steuergrößen durch Ansatz 2

Abb. 9 illustriert die Kurswinkel-Steuerungen bei der eingeführter Ansätze. Während die Steuerungsfunktionen aus Ansatz 1 von Kollokations- zu Kollokationspunkt auf diskrete Werte springen, weisen die Steuerungen von Ansatz 2 einen sanfteren, realistischeren Übergang auf, wobei die Amplitude allerdings beliebig ist. Tab. 2 listet die Steuerungen für den ersten Ansatz tabellarisch auf.

Zeit [s]	$\chi^{(1)}$	$\chi^{(2)}$	$\chi^{(3)}$	$\chi^{(4)}$	$\chi^{(5)}$
Nominal	97°	277°	7°	187°	45°
0	87°		357°		45°
250		277°		187°	
520	97°				
580				207°	
630		297°			
690			7°		
720		277°			
750			27°	177°	
780	117°				
840		267°			
1000		277°			
1040	97°				
1100			7°		

Tab. 2: Steuerungsanweisungen aus Ansatz 1

Auswertungen für das gegebene Szenario zeigen, dass der für das Ausweichmanöver geflogene Umweg maximal 2,7 %, d.h. 2,9 NM beträgt (Flugzeug 3, Ansatz 1). In den meisten Fällen

liegt er jedoch deutlich unterhalb von 1 NM. Auch für andere, weitaus komplexere Konfliktsituationen zeigen die vorgestellten Ansätze Trajektorien auf, deren Abweichungen vom nominalen Flugpfad in ähnlicher Größenordnung liegen.

Stand in dem aufgezeigten Beispiel ein Minimalisieren der Abweichung vom nominalen Flugpfad und von der nominellen Geschwindigkeit im Mittelpunkt, so lässt sich durch geringfügige Anpassung des Kostenindexes auch eine Optimierung der Abweichung von der nominellen Durchflugzeit fokussieren.

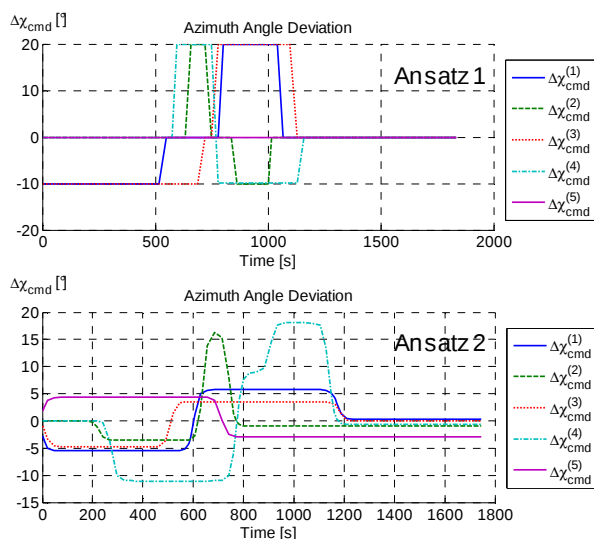


Abb. 9: Optimierte Azimut-Steuerungen nach Ansatz 1 (Binär- und Straffunktion) und Ansatz 2 (Tangentes Hyperbolicus Summe)

IX. Erweiterung für umfangreiche Szenarien

Die vorgestellten Problemformulierungen sind theoretisch für eine beliebige Anzahl an Flugzeugen über einen nicht festgelegten Zeithorizont gültig. Eine quadratisch ansteigende Anzahl an Pfadbeschränkungen und eine notwendigerweise linear mit der Länge des Zeitraums ansteigende Anzahl an Kollokationspunkten beeinträchtigen die Performance der Optimierung jedoch merklich.

Da im Allgemeinen nicht jedes Flugzeug mit jedem anderen in Konflikt steht, lässt sich die gesamte Konfliktsituation oft in einzelne, unabhängige Unterszenarien aufteilen, die sehr effizient gelöst werden können. Dafür wurde folgender Clustering-Algorithmus implementiert:

1. Berechnung der Abstände zwischen allen Flugzeugen zu jedem Zeitpunkt, wenn die Flugzeuge auf nominalen Trajektorien fliegen.
2. Gruppierung in räumlich unabhängige Konfliktszenarien.
3. Lösen aller Unterszenarien auf einem jeweils lokalen, abgeschnittenen Zeithorizont.
4. Zusammenfassen von Untergruppen, falls sich diese durch die neu optimierten Trajektorien beeinflussen.
5. Falls Zusammenfassungen stattgefunden haben, erneutes Lösen mit Schritt 3, andernfalls Beenden der Optimierung.

Durch dieses Vorgehen lassen sich Konfliktsituation mit mehreren hundert Fliegern und tausenden Pfadbeschränkungen lösen (vgl. Abb. 10).

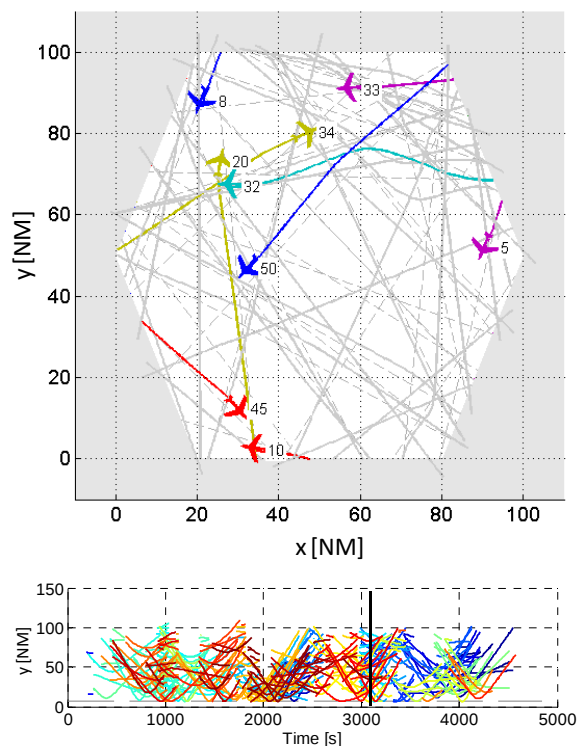


Abb. 10: Standbild einer Optimierung von 50 Flugzeugen über einen Zeithorizont von 5000 s mit zugehörigen 1225 einzuhaltenden Abstandsfunktionen

Zusammenfassung

In der Arbeit wurde ein MATLAB-Framework entwickelt, das die genannten Ansätze der optimalen Steuerungstheorie implementiert. Das Framework erlaubt die einfache Definition von beliebigen Szenarien und bereitet die notwendi-

gen Datenstrukturen gemäß gewünschtem Optimierungsziel selbstständig auf.

Die beschriebenen mathematischen Problemformulierungen erzielten durchweg gute Ergebnisse in einer Vielzahl untersuchter Szenarien.

Besser nachvollziehbar und kommunizierbar sind sicher die Lösungen der binären Umformulierung (Ansatz 1). Zudem stellt hier die Anzahl der Steueranweisungen ein direktes Optimierungsziel dar. Allerdings erwies sich der iterative Lösungsprozess gegenüber Ansatz 2 als deutlich langsamer. In Kombination mit den kontinuierlichen Steuerungen zeigte letzterer herausragende Stabilität und Performance. Nachteil ist, dass hier die Anzahl der notwendigen Steuerkommandos a-priori abgeschätzt werden muss und deren Reduktion kein direktes Optimierungsziel ist. Ansatz 2 erlaubt auch Konfliktlösungen mit geringen Kurs- oder Geschwindigkeitsänderungen, die durch einen Piloten manuell kaum umsetzbar sind.

Die Arbeit hat gezeigt, dass Lösungen der Optimalsteuerungstheorie nicht auf kontinuierliche Steuerung beschränkt sein müssen. Ebenso wurde mit dem Clustering-Algorithmus ein effizienter Weg zur Optimierung größerdimensionierter Szenarien beschritten.

Das bestehende Framework ist in vielerlei Hinsicht erweiterbar. Einen wichtigen nächsten Schritt bildet die Erweiterung auf den dreidimensionalen Raum und die Einbettung von ATC-Heuristiken durch vorgelagerte Algorithmen, die über berechnete Startwerte und die Anpassung von Optimierungsgewichten Einfluss auf die Lösung nehmen können. Ebenso ist eine Anbindung an den Forschungssimulator der DFS noch für 2013 projektiert, um weitere Validierungen des vorgestellten Ansatzes in einem „realistischen“ Umfeld durchzuführen.

Referenzen

[1]	Lepojevic, Milena und Poppe, Matthias. <i>Mehrkriterielle Optimierung: Ein Ansatz zur Automatisierung in der Flugsicherung.</i> TE im Fokus 01/2012, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
[2]	Walter, Leif. <i>Direct Optimal Control Method for a Centralized Approach to Separation Management.</i> Philipps-University of Marburg. Marburg : s.n., 2012. Diploma Thesis
[3]	Lepojevic, Milena. <i>Methoden der Vektoroptimierung für Steuerungsprobleme - Ein Ansatz zur Automatisierung in der Flugsicherung.</i> Philipps-University of Marburg. Marburg : s.n., 2012. Diploma Thesis.
[4]	Schwarz, Rudolf H. and Köckler, N. <i>Numerische Mathematik.</i> Wiesbaden : Springer-Verlag, 2011.
[5]	Huntington, Geoffrey Todd. <i>Advancement and Analysis of a Gauss Pseudospectral Transcription for Optimal Control Problems.</i> Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA : s.n., 2007. PhD Thesis.
[6]	Patterson, Michael A. and Rao, Anil V. <i>GPOPS-II: Next-Generation Optimal Control Software.</i> [Online] 2013. http://www.gpops.org .
[7]	Standford Business Software Inc. <i>Standford Business Software Inc. Distribution of SOL/UCSD optimization software.</i> [Online] 2011. http://www.sbsi-sol-optimize.com/asp/sol_product_snopt.htm .
[8]	Kirches, Christian. <i>Fast Numerical Methods for Mixed-Integer Nonlinear-Predictive Control.</i> Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Heidelberg : s.n., 2010. PhD Thesis.
[9]	Hochstrasser, Markus: <i>A Unified MATLAB-Framework for Nonlinear Optimization of Mixed Integer Optimal Control Problems in Air Traffic Separation Management.</i> TU München, Lehrstuhl für Flugsystemdynamik, 2013, Diplomarbeit

AMAN, DMAN, CMAN, SMAN, XMAN... Ein Alphabet der ATM-Planungssysteme

Dr. Jörg Bergner, Thomas Rüggeberg, Dr. Andreas Herber

Einleitung

Seit mehreren Jahren beteiligt sich der Bereich Forschung und Entwicklung der DFS im Rahmen verschiedener nationaler wie auch europäischer Förderprojekte an der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von ATM-Planungssystemen für Center, Approach und Tower. Dazu werden von Dritten entwickelte Prototypen in die Echtzeitsimulationsumgebung (AFS / NEWSIM) des Forschungszentrums integriert und mit Unterstützung von Lotsen kontinuierlich weiter entwickelt.

In Zusammenarbeit mit verschiedenen Bereichen der DFS, wie z.B. Anforderungsmanagement und Softwareentwicklung, und verschiedener externer Kooperationspartner wird so die Entwicklung von betrieblich nutzbaren Systemen vorbereitet.

Übergeordnetes Ziel dieser Aktivitäten es, den Lotsen einen besseren Überblick über die in der Zukunft zu erwartende Verkehrssituation sowie nach Möglichkeit eine einheitliche Planungssicht zu geben und sie von Routineaufgaben zu entlasten.

Im Laufe der Zeit haben sich in diesem Kontext diverse Akronyme etabliert, die typischerweise für ein grundlegendes Konzept stehen, teilweise jedoch auch als Produktname operationeller Systeme verwendet werden. Das nachfolgende „Alphabet der ATM-Planungssysteme“ soll daher zu einem besseren Verständnis beitragen. Eine umfassende Darstellung aller existierender Planungssysteme würde hier allerdings den Rahmen sprengen. Der Schwerpunkt wurde deshalb auf das Arrival-Management bei der DFS sowie direkt angrenzende Systeme gelegt.

Alphabet der ATM-Planungssysteme

■ 4... wie: 4D-Planer-Prototyp:

1996 entschied sich die DFS, ein Forschungsprojekt zur Entwicklung eines neuen Arrivalmanagers (Ablösung von COMPAS, s.u.) als gemeinsame Aktivität mit dem DLR durchzuführen. Die Hauptaufgabe dieses Arrivalmanagers ist die Planung einer Anflugreihenfolge für eine Landebahn, indem die An-

flugströme aus den verschiedenen Himmelsrichtungen integriert werden und die Berechnung von Landezeiten bzw. Übergabezeiten aus den vorgelagerten Center-Sektoren (ACC) an den Zuständigkeitsbereich der Anflugkontrolle (APP) erfolgt.

Zur Unterstützung der Center-Lotsen für die zeitgenaue Übergabe werden ihnen für jedes Luftfahrzeug sog. *Time-To-Lose* bzw. *Time-To-Gain* angezeigt, also Verzögerungs- oder Beschleunigungszeiten.

Der Koordinationsaufwand zwischen Center und Approach wird durch die Darstellung der jeweiligen Übergabehöhe verringert.

Durch die integrierte Arrival-Planung erhalten die Center- und Approachlotsen einen vollständigen Überblick über die Anflugsituation, rein informativ auch über den Verkehr aus den anderen Anflugrichtungen. Mit der Flow-Regulierung erfolgt die Zuflussteuerung in den Zuständigkeitsbereich für die Anflüge.

Der typische Planungshorizont liegt bei einem Radius von 80 NM um die Metering Fixe¹, die als Übergabepunkte zwischen den Bereichen Center und Approach dienen. Bei erweitertem Horizont kann dieser auf ca. 200 NM und mehr ausgedehnt werden. Im Oktober 2000 wurde der 4D-Planer-Forschungs-Prototyp am Tower Süd in Frankfurt installiert und getestet.

■ 4... wie: 4D-Planer

Auf der Basis des oben erläuterten Prototyps erfolgte bei der DFS eine Weiterentwicklung zu einem im Betrieb nutzbaren System für Frankfurt. Von Januar 2001 bis März 2003 wurde der DLR-Prototyp um neue Funktionalitäten erweitert. Der 4D-Planer ist die 2. Generation von Anflugplanungssystemen. Er erfasste Anflüge bereits in einer Entfernung von ca. 150 Kilometern vom Flughafen und wurde in Frankfurt im Jahre 2003

¹ Ein Fix an der Anflugroute eines Flughafens (aber noch vor dem Flughafennahbereich), ab dem der Zufluss in den APP gesteuert wird

eingeführt. Abb. 2 und Abb. 3 zeigen die unterschiedliche Darstellung der Planungs-
informationen für die vorgelagerten Center-
Sektoren (Area control centre, ACC, Zeitleiste
bis zum Metering Fix), und Anflugkontrolle
(Approach, APP, Zeitleiste bis zu den zwei
Schwellen).

Mit der Inbetriebnahme der 4. Bahn im Jahr
2011 wurde der 4D-Planer durch den AMAN-
Frankfurt abgelöst.

■ A... wie: AMAN

AMAN (Arrival Manager) ist die übergeordnete
Bezeichnung des Konzeptes eines Anflug-
planungssystems. In der DFS ist es zugleich
der Produktname für die 3. Generation eines
solchen Systems, das seit 2007 in München
und seit 2011 in Frankfurt mit dem gleichen
Planungskern wie der 4D-Planer operationell
genutzt wird (Abb. 4).

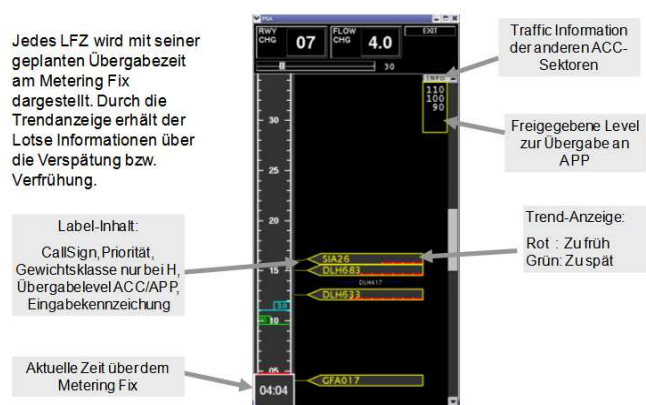


Abb. 2: 4D-Planer (ACC-Planungsanzeige)

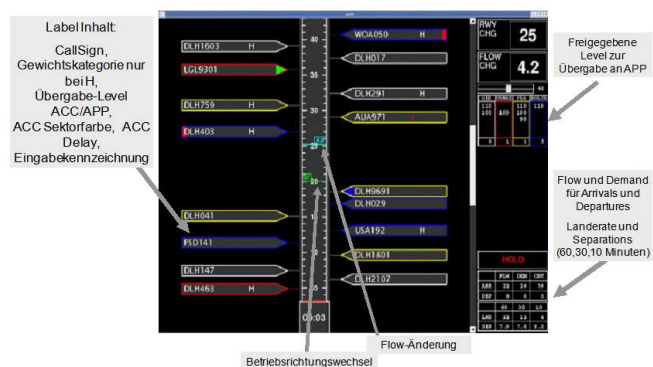


Abb. 3: 4D-Planer (APP-Planungsanzeige)



Abb. 4: Anflugkontrolle Frankfurt (2012) mit AMAN-Anzeigen (links und rechts oben)

▪ A... wie: **AMAN - DMAN Kopplung**

So wie der AMAN die Reihenfolge für die Anflüge plant, so übernimmt der DMAN (Departure Manager) die Planung der Abflug-Reihenfolge unter Berücksichtigung der Abflugintervalle und stellt den Vorfeld- und Towerlotsen die geplanten Pushback- bzw. Startzeiten für jedes Luftfahrzeug zur Verfügung.

Bei der Kopplung eines AMAN mit einem DMAN müssen die jeweils bereits geplanten Sequenzen integriert und dabei miteinander verhandelt werden. Dabei übernimmt einer der beiden Partner die Gesamtplanung und der andere arbeitet zu, nach dem Master-Slave-Prinzip:

Der AMAN integriert die vom DMAN angefragten Departure Slots in die geplante Arrival-Sequenz und sendet die verhandelte Departure-Zeit zur Umsetzung an den DMAN zurück [3].

▪ A... wie: **AMAN - DMAN - SMAN Kopplung**

Die Erweiterung der AMAN - DMAN Kopplung um einen SMAN (Surface Manager) soll die Vorfeldlotsen dabei unterstützen, die Luftfahrzeuge zur mit dem AMAN „verhandelten“ Departure-Zeit und in der geplanten Reihenfolge am Startbahnkopf bereit zu stellen.

▪ C... wie: **CAPMAN-CLOU-Kopplung**

CAPMAN steht für Capacity Manager und ist in Frankfurt bei Fraport im Einsatz. Er liefert zum einen Prognosen über die voraussichtliche Kapazität des Start-Landebahnsystems und schlägt eine Priorisierungsstrategie für das Parallelbahnsystem vor. CLOU (s.u.) ist ein prä-taktisches Planungssystem zur Optimierung der Bahnnutzungsstrategie. Der prototypische Systemverbund CAPMAN/CLOU wurde im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms und in Kooperation mit Fraport aufgebaut und getestet [1].

▪ C... wie: **CLOU**

Der CLOU (Cooperative Local Resource Planner) ist ein prä-taktisches Planungssystem zur Optimierung der Bahnnutzungsstrategie eines komplexen Airports. Mit einem Pla-

nungshorizont von ca. 2 Stunden erstellt es einen Vorschlag zur kapazitätsoptimalen Anflug- oder Abflug-Priorisierung. Das System wurde im Rahmen der LUFO Projekte WFF und iPort² am Beispiel der Landebahnsysteme Frankfurt und München untersucht.

▪ C... wie: **COMPAS**

COMPAS (Computer Oriented Metering Planning and Advisory System) war das erste Anflugplanungssystem der damaligen Bundesanstalt für Flugsicherung (BFS) für Frankfurt. Das in den frühen 1980iger Jahren vom DLR entwickelte System errechnete eine Anflugreihenfolge und stellte sie dem Lotsen auf einer Zeitleiter dar. Aus heutiger Sicht war die Planung jedoch wenig flexibel und führte z.B. den Planungsprozess für jedes Luftfahrzeug nur einmalig nach dem ersten Radarkontakt durch. Bis zu seiner Ablösung durch den 4D-Planer im Jahr 2003 wurde das System in Frankfurt eingesetzt.



Abb. 5: COMPAS (1985) Quelle "Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR"

▪ C... wie: **CMAN**

Die CMAN (Center Manager) -Entwicklung ist Gegenstand des DFS Beitrags zum SESAR Projekt 5.4.2. Auf der Grundlage der AMAN Basisfunktionalität werden die zusätzlichen Anforderungen an eine sektorübergreifende An-

² WFF und iPort wurden im Luftfahrtforschungsprogramm durch das BMWi gefördert

flugplanung für eine komplexe Multi-Airport-TMA entwickelt. Um den besonderen Bedingungen einer solchen Luftraumstruktur gerecht zu werden, sind hierfür z.B. folgende Funktionalitäten nötig:

- Planung der Anflüge auf einen Flughafenbereich mit mehreren Flughäfen (Multi-Airport AMAN)
- Berücksichtigung des übrigen Verkehrs in der Anflugplanung
- Erweiterung der Sequenzplanung auf Kreuzungspunkte zwischen An- und Abflügen oder Anflügen untereinander
- Zuflusssteuerung einzelner Sektoren über eine eigene Floweinstellung

Die Entwicklung und Validierung der prototypischen Funktionen erfolgt in Echtzeitsimulationen am AFS/NEWSIM am Beispiel Düsseldorf und Köln/Bonn mit Unterstützung durch Lotsen.

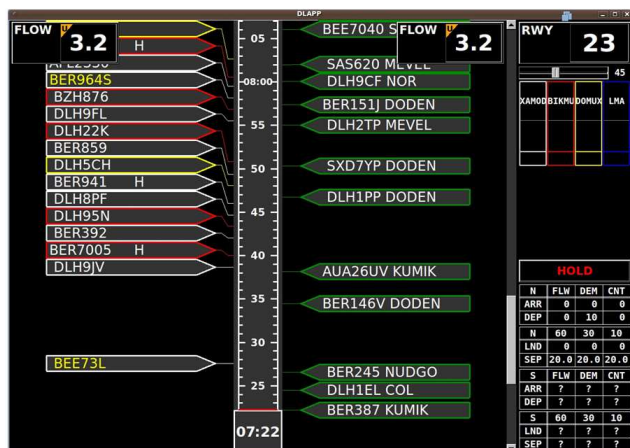


Abb. 6: CMAN-Prototyp „Düsseldorf Feeder“

■ D... wie: **DMAN**

Der DMAN (Departure Manager) hat die Aufgabe, einer Abflug-Sequenz zu planen, die die Bahnkapazität optimal ausnutzt. Hierbei werden verschiedenen Restriktionen wie z.B. Wirbelschleppenstaffelung und Abflugintervalle berücksichtigt. Ausgehend von der optimalen Sequenz am Bahnkopfende werden die entsprechenden Pushback Zeiten am Gate berechnet. Damit hilft das System auch, die Warteschlangen an der Startbahn zu reduzieren. Ein DMAN ist z.B. in Zürich im Einsatz. Im

Rahmen des Projekts K-ATM³ wurde eine prototypische Kopplung von AMAN der DFS und DMAN des Projektpartners delayr untersucht [3].

■ F... wie: **FMAN**

FMAN (Flow Manager) ist der Optimierungskern des CLOU (s.o.) und stammt von der TU Dresden [2].

■ S... wie: **SMAN**

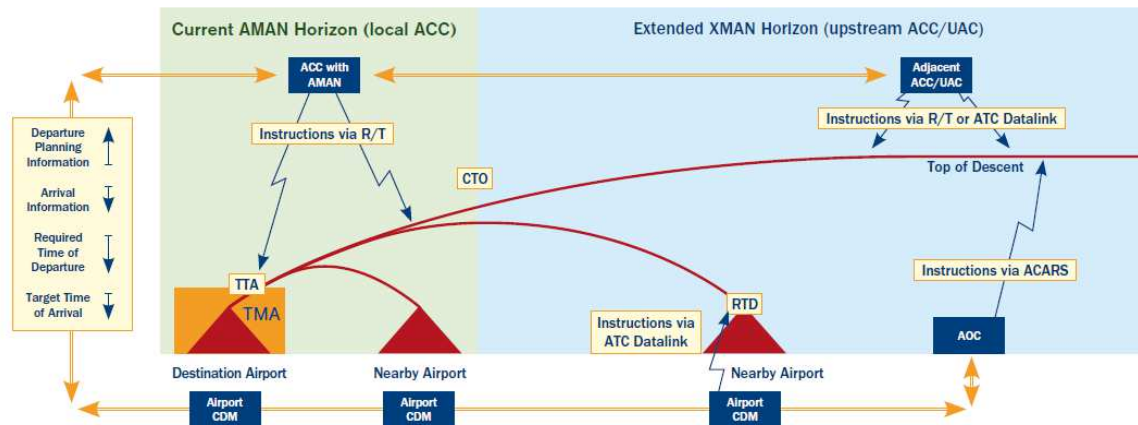
Der SMAN (Surface Manager) unterstützt die Vorfeldlotsen bei der Rollverkehrsführung, damit die „verhandelten“ Abflugzeiten und -Reihenfolge möglichst gut erreicht werden. Er hilft, die DMAN-Planung zu verbessern. Im Rahmen des Projekts iPort wurde der Systemverbund AMAN-DMAN-SMAN (Prototyp von Fraport bzw. ATRICS) untersucht.

■ X... wie: **XMAN**

XMAN (Cross Border Arrival Management) ist ein Projekt im Rahmen der FABEC-Initiative (Functional Airspace Block Europe Central). Dabei handelt es sich um die Erweiterung der Planungshorizonte der vorhandenen AMAN-Systeme an den fünf großen Hubs im und nahe dem FABEC (Paris, Frankfurt, Amsterdam, London und München), durch die Übermittlung der *Time-to-Lose* bzw. *Time-To-Gain* an die betroffenen Flugsicherungen. So ist es möglich, durch Vorsteuerung aufgrund der AMAN-Berechnung bereits außerhalb des eigenen Zuständigkeitsbereiches im benachbarten Ausland, geeignet auf die Luftfahrzeuge einzuwirken und u.a. einen teilweisen Abbau von Delays zu erreichen (Abb. 8).

Derzeit gibt es im Rahmen der FABEC-Initiative bereits drei Implementierungen des XMAN Basis-Konzeptes. (München/Wien ACC, Paris ACC, Amsterdam/Maastricht UAC). Die DFS hat im Jahr 2009 den AMAN-Datenaustausch mit Wien ACC aufgenommen.

³ K-ATM wurde im Luftfahrtforschungsprogramm durch das BMWi gefördert



TTA: Target Time of Arrival – CTO: Calculated Time Over a Route Point – RTD: Required Time of Departure

Abb. 8: XMAN Konzept (Quelle: FABEC Facts Sheet 02-2013)

Abkürzungen

ACARS	aircraft communications addressing and reporting system
ACC	Area control centre (Streckenkontrolle)
APP	Approch (Anflugkontrolle)
AFS	Advanced Funktion Simulator (Forschungssimulator der DFS)
AMAN	Arrival Manager
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
BFS	Bundesanstalt für Flugsicherung
CDM	Collaborative decision making
CLOU	Cooperative Local Resource Planner
CMAN	Center Manager
COMPAS	Computer Oriented Metering Planning and Advisory System
CTO	Calculated time over a route point
DMAN	Departure Manager
FABEC	Functional Airspaceblock Europe Central
FMAN	Flow Manager
iPort	LUFO Verbundvorhaben "Innovativer Airport"
K-ATM	LUFO Verbundvorhaben "Kooperatives ATM"
LUFO	Luftfahrtforschungsprogramm
NEWSIM	New Simulator (en-route Ausbildungssimulator der DFS)
R/T	Radio/Telephony (Sprechfunk)
RTD	Required time of departure
SMAN	Surface Manager
TMA	Terminal Area
TTA	Target time of arrival
UAC	Upper Area Control
WFF	LUFO Verbundvorhaben "Wettbewerbsfähiger Flughafen"
XMAN	Cross Border Arrival Management

Referenzen

- [1] Katharina Schwentek: Validierung des prätaktischen Systemverbundes CAPMAN/CLOU am Flughafen Frankfurt, TE im Fokus 2/10, 24.11.2010
- [2] Flow-Optimierung mit FMAN, TU Dresden, Institut für Luftfahrt und Logistik, 10.5.2007
- [3] Daniel Seidel, Dr. Rainer Kaufhold: Kopplung von Arrival- und Departure-Manager im Rahmen des Projektes K-ATM, TE im Fokus 2/06, 1.12.2006

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, Flugsicherung » Forschung & Entwicklung » Servicebereich » Forschungszeitschrift „TE im Fokus“) sowie über das DFS Intranet, Dokumentationsbereich im F&E Portal (<http://forschungszentrum.lgn.dfs.local>) verfügbar. 70 Exemplare werden in gedruckter Form aufgelegt.



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

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

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

Dieser Zeitschrift ist folgende ISSN (International Standard Serial Number) zugeteilt:

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

DISCLAIMER

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

COPYRIGHT

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

Copyright © 2013 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.