

# **BODENGESTÜTZTE ASSISTENZFUNKTIONEN ZUR INTEGRATION VON CONTINUOUS DESCENT APPROACHES IN DEN ANFLUGVERKEHR HOCH BELASTETER FLUGHÄFEN**

R. Hann, M. Uebbing-Rumke, M. Temme  
Institut für Flugführung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig, Deutschland

## **Zusammenfassung**

Im Rahmen des DLR-internen Projektes „Future Air Ground Integration“ (FAGI) wurde das Konzept eines Late Merging Points (LMP) implementiert und validiert. Dabei werden aufeinander folgende Flugzeuge auf disjunkten Routen erst spät am LMP zusammengeführt, so dass mit konventionellem FMS ausgerüstete Luftfahrzeuge in einen Strom mit hochgenauen 4D-fähigen Flight Management System (FMS) ausgestatteten Flugzeugen integriert werden können. Den ausgerüsteten 4D-fähigen Luftfahrzeugen mit einem entsprechenden Data Link zur Bord-Boden-Verhandlung wird die Möglichkeit geboten, eine sogenannte User-preferred Trajectory auch bei hohem Verkehrsaufkommen am Flughafen zu fliegen. Zur Integration der konventionell geführten Luftfahrzeuge in den Anflugstrom und als Ausweichlösung für ausgerüstete Luftfahrzeuge wird eine Path Stretching Area mit Trombones verwendet. Die geänderten Prozeduren aus dem FAGI-Konzept sind von Anfluglotsen ohne Unterstützung durch ein Bodensystem nicht abzuarbeiten. Ein Kernelement der Unterstützung ist die Umsetzung eines Protokolls zur Bord-Boden-Kommunikation. Es erfolgt automatisch eine Verhandlung über die Überflugzeit am LMP zwischen ausgerüsteten Luftfahrzeugen und dem Anflugplanungssystem 4-Dimensional Cooperative Arrival Manager (4D-CARMA) am Boden. Weitere Unterstützung erfährt der Lotse durch Assistenzfunktionen des Bodensystems und durch ein angepasstes Human Machine Interface (HMI). Das zeitbasierte Anflugplanungssystem wurde u. a. um eine Funktionalität erweitert, die die Zuweisung der Luftfahrzeuge auf die verschiedenen Anflugrouten ausgehend vom Entry Fix vornimmt. Des Weiteren wurde eine Möglichkeit für den Lotsen geschaffen, mittels Move- und Freeze-Funktionen aktiv in die Planung des Systems einzugreifen. Darüber hinaus kann sich der Lotse die Führungsanweisungen Descent, Reduce und Turn-to-Base mit zeitlichem Vorlauf von 4D-CARMA vorschlagen lassen. Die Anzeige der zeitlichen Separation als distanzbasierte und damit für den Lotsen intuitivere Separation wurde durch Abbildung beweglicher Icons auf der Anfluggrundlinie sowohl für ausgerüstete als auch nicht ausgerüstete Flugzeuge implementiert. Mit Hilfe dieser Unterstützungswerkzeuge wurde das FAGI-Konzept in Human-in-the-Loop-Simulationen mit internationalen Anfluglotsenteams validiert. Dabei konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, eine effiziente Zusammenführung der unterschiedlichen Verkehrsströme erst kurz vor der Landung zu erzielen. Der Einsatz der Bord-Boden-Verhandlung und weiterer bodengestützter Verfahren versetzt den Lotsen in die Lage, diese komplexe Aufgabe zu bewältigen unter Wahrung seines Situationsbewusstseins.

## **1. EINLEITUNG**

Da der Luftverkehr in den letzten Jahrzehnten immer weiter gewachsen ist und auch ein weiteres Wachstum vorhergesagt wird, werden die Kapazitätsgrenzen vieler Flughäfen, und dabei insbesondere die Grenzen großer Hubs, jetzt schon erreicht [1]. Außerdem nimmt die Sensibilität der Bevölkerung bei Problemen wie Lärm oder Landschaftsverbrauch stetig zu. Forschungsprojekte auf dem Gebiet des Luftverkehrsmanagement haben daher immer die Steigerung der Effizienz und eine Umsetzung von Verfahren unter Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit und Umweltschonung zum Ziel.

Eine messbare Leistungsverbesserung ist im Anflugbereich zu erzielen, indem man verstärkt Automatisierungstechniken wie Planungssysteme einsetzt und Gebrauch von der Leistungsfähigkeit moderner FMS macht. Mit ihrer Hilfe kann der Pilot schon heute leise, Treibstoff sparende, nach individuellen Flugleistungsdaten

ausgerichtete Anflugtrajektorien abfliegen, bei Einhaltung einer bemerkenswerten Genauigkeit von Zeit und Weg.

Die geringe Verwendung von Continuous Descent Approach (CDA) Prozeduren liegt in der Unkalkulierbarkeit und damit Unführbarkeit des gesamten Anfluges begründet, wenn der Lotse ihn ohne geeignete Unterstützung im Umfeld hoch belasteter Flughäfen mit einer zahlenmäßig stark genutzten Terminal Maneuvering Area (TMA) führen soll.

Im Institut für Flugführung des DLR wurde mit starker Unterstützung internationaler Lotsenteams ein operationelles Konzept für den Anflugverkehr entwickelt und validiert, das sowohl die Fähigkeiten des FMS nutzt als auch durch speziell bereitgestellte Funktionalitäten eines automatisierten Planungsunterstützungssystems die Lotsen in die Lage versetzt, dichten, aus CDAs und konventionellen Anflügen bestehenden, Anflugverkehr sicher und effizient zu führen. Dabei möchten wir uns an

dieser Stelle noch einmal bei allen beteiligten Lotsenteams bedanken, die das Projekt so engagiert begleitet haben [2].

Mit Einsatz der Schlüsseltechnologie „zeitbasierte Führung“ entspricht die Zielstellung des FAGI Projekts auch der des großen Air Traffic Management (ATM) Forschungs- und Entwicklungsprogramms der Europäischen Union, Single European Sky ATM Research (SESAR) [3]. Voraussetzung für das darin postulierte Konzept der Business Trajektorie ist die zeitbasierte Planung der gesamten Abläufe im Lebenszyklus eines Flugereignisses. Für eine solche Planung ist die Abstimmung und damit Kommunikation vieler beteiligter Partner im ATM notwendig. Aus diesem Grund müssen die Möglichkeiten der Bord-Boden-Kommunikation verbessert werden, um die Absichten und Wünsche aller Partner bei dem Planungsvorgang zu berücksichtigen. Ein Beispiel ist die Absicht von Fluglinien und Piloten, möglichst treibstoffarme Anflugprozeduren durchführen zu können.

## 2. DAS FAGI KONZEPT

Um den Problemen zu begegnen, die durch CDAs in stark genutzten TMAs entstehen, hat das Institut für Flugführung im Projekt FAGI ein operationelles Konzept entwickelt, das einerseits auf einer strikten Trennung von Anflugrouten bis zu einem Late Merging Point knapp sechs Meilen vor der Landebahnschwelle [4] und zum anderen auf einer (halb-) automatischen Bord-Boden-Trajektorienverhandlung basiert. Diese Verhandlung resultiert in einem sogenannten Negotiated-CDA (N-CDA).

Im Rahmen des Projektes FAGI wurde dieses Konzept in weiten Teilen implementiert und auf verschiedenen Ebenen validiert. Neben Flugversuchen zu hochpräzisen Anflügen mit dem DLR VFW614 Advanced Technologies Testing Aircraft System (ATTAS) wurden ausgedehnte Human-in-the-Loop-Simulationskampagnen unter möglichst realistischen Bedingungen durchgeführt. Dabei haben nationale wie internationale Teams aus Anfluglotsen mit dem unterstützenden Planungssystem 4D-CARMA und mit einem um entsprechende Funktionen erweiterten Lotsendisplay in einer aufwändigen Simulationsumgebung im Air Traffic Management and Operations Simulator (ATMOS) in Braunschweig gearbeitet.

### 2.1. Die Luftraumstruktur

Die Durchführung von Lärm und Treibstoff sparenden Anflügen, wie dem CDA, ohne negativen Einfluss auf die Landekapazität setzt eine möglichst strikte räumliche Separation der Anflüge voraus [5]. Wegen der unbekannten Profile dieser Anflüge wäre die gemeinsame Nutzung einer Standard Arrival Route (STAR) mit erhöhter Separation verbunden. Aus diesem Grund ist ein zentrales Element des FAGI-Konzepts die Modifikation der heute üblichen Luftraum- und Routenstruktur. Die neu vorgeschlagene Struktur ist eine Extended Terminal Maneuvering Area (E-TMA) mit einem Durchmesser von ungefähr 200 Nautischen Meilen, die damit deutlich größer ist als heutige TMAs (BILD 1).

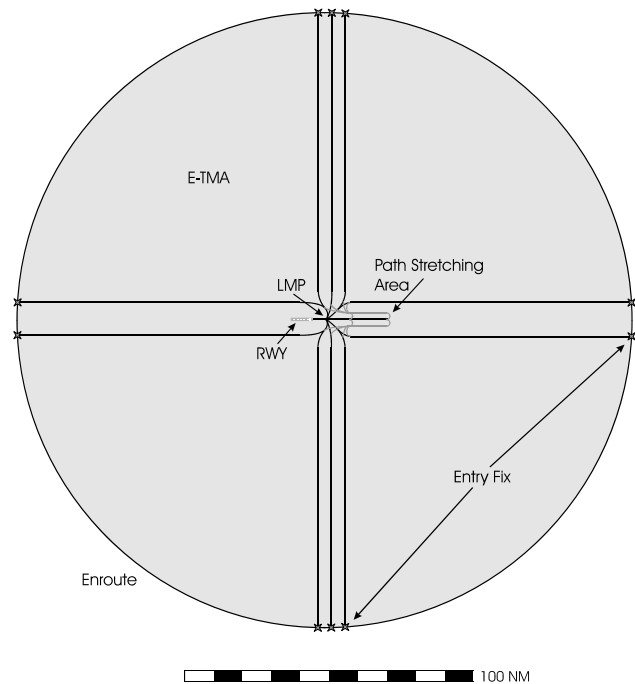


BILD 1. Schematische Darstellung einer FAGI E-TMA mit Entry Fixes aus vier Himmelsrichtungen, horizontal disjunkten Anflugrouten, einer Path Stretching Area (Trombons) und dem LMP kurz vor der Landebahnschwelle

Ausgehend von vier Anflugrichtungen stehen jeweils zwei bis drei horizontal separierte STARs zur Verfügung. Die Zuweisung muss in Abhängigkeit des Aufbaus der E-TMA-Grenzen bereits im Bereich des Area Control Centre (ACC) – jede STAR erhält also ein eigenes Entry Fix – oder erst nach dem Einflug in die E-TMA erfolgen. Diese Abschnitte der STARs werden von allen anfliegenden Luftfahrzeugen genutzt. Erst in einem Abstand von knapp sechs Meilen vor der Landebahnschwelle werden die STARs und wird damit auch der anfliegende Verkehr an einem zentralen LMP auf dem Final endgültig zusammengeführt. Endgültig deshalb, weil zum einen die Luftfahrzeuge aus den unterschiedlichen Anflugrichtungen dort zusammen treffen und zum anderen, weil erst am LMP die durch Trajektorienverhandlung abgestimmten Direktanflüge und die konventionell geführten Luftfahrzeuge auf dem Final zusammengeführt werden.

Um das operationelle und technische Potential dieses Late Merging Konzeptes zu nutzen und gleichzeitig den Anforderungen an Komplexitätsbegrenzung und Präzision gerecht zu werden, schlägt das Konzept eine Lösung vor, bei der nach ausgerüsteten und nicht ausgerüstete Luftfahrzeugen unterschieden wird. Ausgerüstet bedeutet in diesem Zusammenhang, dass das Luftfahrzeug über ein 4D-FMS verfügt, mit dessen Hilfe es ihm möglich ist, eine vorgegebene Route so abzufliegen, dass ein oder mehrere vereinbarte Zielzeiten an festen Wegpunkten mit wenigen Sekunden Abweichung überflogen werden können. Zusätzlich wird vom Vorhandensein einer Data Link Verbindung ausgegangen, die eine einfache Bord-Boden-Kommunikation erlaubt, mit der (halb-) automatisch vom Boden vorgegebene STARs und Zielzeiten übertragen und diese ins 4D-FMS übernommen werden können. Für die zeitgenaue Landung dieser Luftfahrzeuge werden keine Anweisungen des Lotsen benötigt. Nicht

ausgerüstet bedeutet entsprechend, dass an Bord kein 4D-FMS und kein Data Link vorhanden sind und die Luftfahrzeuge über die Trombones der Path Stretching Area konventionell über Sprechfunk geführt werden.

Entsprechend ihres Ausrüstungsgrades werden die Luftfahrzeuge während des Anfluges unterschiedlich behandelt.

1. Der Direktanflug für ausgerüstete Luftfahrzeuge sieht eine direkte laterale Route zum LMP vor (BILD 2, schwarze Linien). Entsprechend ausgerüstete Luftfahrzeuge erhalten bereits beim Einflug in die E-TMA eine Zielzeit für den LMP, welche vor dem Erreichen des Top of Descent (ToD) bestätigt wird. Für die Annäherung an den LMP ist standardmäßig kein weiterer Bereich für Path Stretching vorgesehen, über den größere Abweichungen von der Planzeit kompensiert werden könnten. In Flugfläche 100 wurde jedoch ein zwei bis drei nautische Meilen langer Levelflug integriert, der für letzte Geschwindigkeitsanpassungen durch das 4D-FMS genutzt werden kann. Dies erfordert eine hochgenaue bordseitige Navigations- und Steuerungstechnik, die durch ein 4D-FMS realisiert werden kann.

2. Das Verfahren für unausgerüstete Luftfahrzeuge sieht eine Annäherung an den LMP über einen klassischen Trombone-Anflug in der Path Stretching Area vor (BILD 2, graue Linien). Unausgerüstete Luftfahrzeuge sind nicht in der Lage, eine geplante Zielzeit mit ausreichender Genauigkeit am LMP einzuhalten. Aus diesem Grund erlaubt die Trombone dem Lotsen in einer späten Flugphase, die Ankunftszeit des Luftfahrzeugs entsprechend anzupassen.

Darüber hinaus können die verantwortlichen Lotsen in verkehrsarmen Zeiten auch die nicht ausgerüsteten Luftfahrzeuge direkt über den LMP zur Schwelle führen.

Die in FAGI vorgeschlagenen Late-Merging Struktur hat den Vorteil, dass sie Luftfahrzeugen ermöglicht, so lange wie möglich ihr präferiertes Anflugprofil (Geschwindigkeiten und Sinkraten) zu fliegen. Dabei variieren die optimalen Anflugprofile erheblich zwischen unterschiedlichen Luftfahrzeugmustern und Beladungen. Heute ist es dagegen üblich, den Verkehr frühzeitig auf standardisierte (und damit aus Sicht der Luftfahrzeuge suboptimale) Anflugprofile zu führen, um die Planungs- und Führungsaufgabe zu erleichtern. Damit verbundene Abweichungen vom User-preferred Profile führen jedoch zu erheblichen Nachteilen in Bezug auf Treibstoffverbrauch und Lärmbelastung. Vor allem neuere Luftfahrzeuge mit modernen 4D-FMS können deshalb von dem Konzept profitieren. Sie werden so in die Lage versetzt, aus großer Höhe hocheffiziente Continuous Descent Approaches bis hinunter zum Late Merging Point zu fliegen [6].

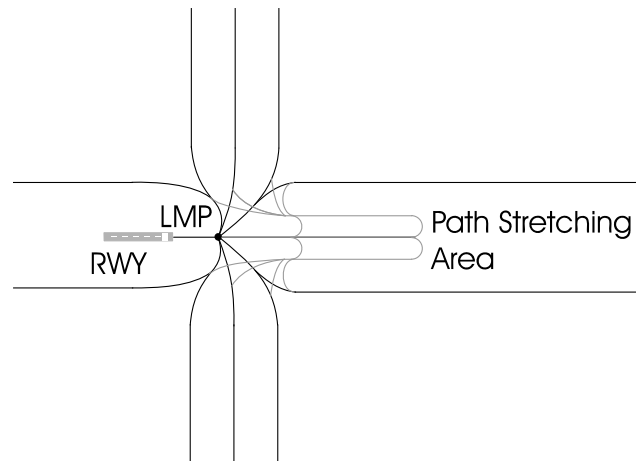


BILD 2. Schematische Darstellung der unterschiedlichen Anflugrouten für die Direktanflüge (schwarz) und der Path Stretching Area (grau)

## 2.2. Der FAGI-Lotsenarbeitsplatz

Der Air Traffic Control (ATC) Arbeitsplatz des Lotsen im Anflugbereich wird in seinen Anforderungen an Fähigkeiten und Kenntnisse der Informationsverarbeitung, seinen Aktionen, Ergebnissen und Einflussfaktoren durch das unten abgebildete Modell nach Oprins et al. [7] sehr gut beschrieben.

Bei den Validierungsläufen für FAGI waren Lotsen in zwei verschiedenen Rollen im Einsatz. Der Pickup-Lotse nimmt den initialen Kontakt zu den Flugzeugen auf, die in die E-TMA einfliegen. Er begleitet sie auf den STARs und etabliert durch seine Höhen- und Geschwindigkeitsanweisungen, bei Abweichung von den STARs auch Richtungsänderungsanweisungen, eine Sequenz, die den Feeder-Lotsen in die Lage versetzt, sich auf die Aufgabe der Einhaltung der Separation auf der Anfluggrundlinie zu konzentrieren. Bei dichtem Verkehr ist insbesondere der Feeder dazu gezwungen, während seiner Arbeitszeit ununterbrochen etwa gleichzeitig zu sprechen und zuzuhören. Er konzentriert sich dabei sehr auf das Radardisplay, das gleichzeitig sein Kommunikationsmedium mit der Außenwelt und mit eventuellen Unterstützungssystemen darstellt.

Der große Bereich der Situationserfassung (s. BILD 3) wird von den Prozeduren, die aus dem FAGI-Konzept resultieren, massiv beeinflusst. Insbesondere bei der Interpretation der Verkehrssituation auf dem Radardisplay sind die Bedingungen für den Lotsen erschwert, da er von ihm selbst nicht kontrollierte Flugzeuge in ihrer zukünftigen Verhaltensweise einschätzen muss.

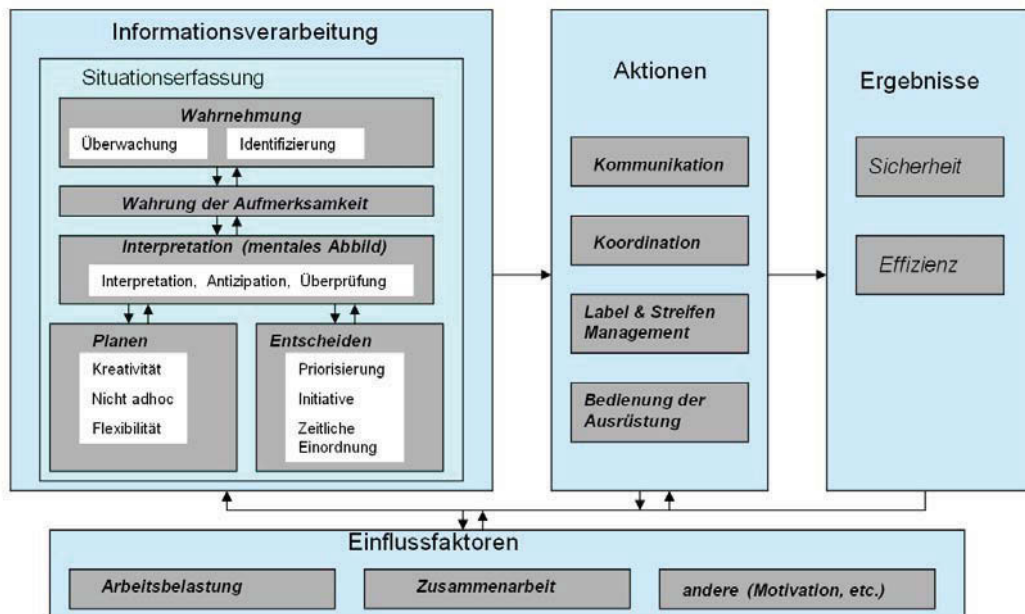


BILD 3. ATC Performance Model [7]

Der Lotse sieht sich vor allem mit folgenden für ihn neuen Herausforderungen konfrontiert.

- Er schätzt das Höhen- und Geschwindigkeitsprofil der ausgerüsteten Flugzeuge ab, da sie eine selbstgeplante und, bis auf die Routen und Zielzeiten am LMP, nicht kommunizierte Trajektorie abfliegen.
- Die geringe Kommunikation mit den ausgerüsteten Flugzeugen kann das Situationsbewusstsein des Lotsen für diese Flugzeugklasse verringern. Es ist sehr wahrscheinlich, dass er die Position und den Status der Flugzeuge am besten kennt, denen er vor kurzem Anweisungen gegeben hat.
- Die Endanflugrouten der ausgerüsteten und konventionellen Flugzeuge sind unterschiedlich.
- Er muss das Late Merging von konventionell geführten Flugzeugen mit solchen, die nie auf der Anfluggrundlinie waren, bewerkstelligen. Bei konventionellem Betrieb ist die Anfluggrundlinie wie eine Perlenschnur, auf der die landenden Flugzeuge aufgereiht werden.
- Das Konzept der zeitbasierten Führung entspricht nicht der gewohnten abstandsasierten Arbeitsweise des Lotsen. Sowohl die Positionsdarstellung auf dem Radardisplay samt Hilfsmitteln wie Milage-Anzeigen als auch die veröffentlichten Separationsvorschriften legen die abstandsasierte Arbeitsweise nahe.
- Der hohe Automatisierungsgrad, der durch die Bord-Boden-Trajektorienverhandlung und die Verarbeitung des Ergebnisses in dem Anflugplanungssystem entsteht, zwingt den

Lotsen zu starker Abstützung auf die Planungsvorschläge des Systems. Er hat Schwierigkeiten, seine eigene Planungsabsicht dem System mitzuteilen und das System hat Schwierigkeiten, diese rechtzeitig zu erkennen.

- Die Vorgaben der automatisierten Planung engen den Lotsen in seiner Kreativität und Flexibilität ein und wirken somit direkt auf seine Informationsverarbeitung (s. BILD 3).
- Das allgemeine Fairness-Prinzip im Luftverkehrsmanagement nach dem die Lotsen zumeist arbeiten, man könnte es als „First Come First Serve“ bezeichnen, wird durch kürzere Routen für ausgerüstete Flieger aufgehoben.

Neben den oben beschriebenen Änderungen der Situationserfassung der Lotsen ergaben sich in den FAGI-Validierungsläufen weitere Abweichungen von der üblichen Arbeitsweise. Zum einen hatte der FAGI-Pickup sehr lange Kontakt mit den Piloten wegen der außergewöhnlich großen Ausdehnung der E-TMA. Zum anderen wurde der übrige Verkehr (Abflüge, Überflüge, Verkehr durch andere nahegelegene Flughäfen) in unserem validierten Modell nicht betrachtet. Diese Aspekte sollen u. a. in einem FAGI-Nachfolgeprojekt berücksichtigt werden.

### 3. DIE BORD-BODEN-VERHANDLUNG

Die Aushandlung einer User-preferred Trajectory inklusive einer Zielzeit am LMP stellt einen der wesentlichen Punkte im vorgestellten Konzept dar. Die Verhandlungen zwischen den individuellen Luftfahrzeugen und dem am Boden für alle Luftfahrzeuge planenden Arrival Manager (AMAN) ermöglichen eine Vereinfachung der Anflugführung, da der Kommunikationsaufwand zwischen Lotsen und Piloten reduziert wird [8]. Zusätzlich kann durch die Verhandlung und Festlegung die Ankunftszeit

präziser vorhergesagt und der Turn-around-Prozess am Boden entsprechend besser abgestimmt werden [9].

### 3.1. Das Verhandlungsprinzip

Heutige 4D-FMS ermöglichen die Planung einer vollständigen Trajektorie für einen Anflug unter Berücksichtigung aktueller meteorologischer Daten zu berechnen. Aus den Daten einer hochgenauen Trajektorie können am Boden Parameter für die Bodentrajektorienrechnung extrahiert werden. Darüber hinaus kann die vom 4D-FMS gerechnete Trajektorie dem Lotsen visualisiert werden und damit sein Situationsbewusstsein für ausgerüstete Luftfahrzeuge verbessern. Außerdem kann sie zur Konflikterkennung und -lösung eingesetzt werden. Die Kommunikation des Ergebnisses der Konfliktlösung bedingt zusätzlichen Transfer von Randbedingungen vom Bodensystem an das FMS. Diese Transfers der genauen Trajektoriendaten müssten aufgrund der hohen Datenmenge über ein Breitband Data Link zwischen Luftfahrzeug und Boden ausgetauscht werden.

Im Projekt FAGI wurde deshalb eine Routenstruktur mit weitestgehend disjunkten Anflugwegen für die Luftfahrzeuge gewählt, durch die die Bord-Boden-Verhandlungen deutlich erleichtert werden. Jede STAR, vom Entry Fix an der E-TMA Grenze bis zum LMP beziehungsweise der Landebahn, hat einen eigenen eindeutigen Namen, über die sie identifiziert werden kann. Die Routen werden erst am LMP zusammengeführt, so dass es auch erst dort bei Einhaltung der Luftraumvorgaben zu Konflikten kommen kann. Für den LMP muss also eine Zielzeit ausgehandelt werden, die dann von den Planungssystemen am Boden von anderen Anflügen frei gehalten werden muss. Dies gilt sowohl für andere Direktanflüge von entsprechend ausgerüsteten Luftfahrzeugen als auch für alle konventionell geführten Anflüge. Mittels Höhenseparation wird Konflikten an Kreuzungspunkten von konventionellen und ausgerüsteten Luftfahrzeugen innerhalb der E-TMA vorgebeugt. Dabei trifft das ausgerüstete Luftfahrzeug mit einer vertikalen Staffelung von ca. 1500 Fuß auf das konventionell geführte. Aufgrund dieser Randbedingungen werden die Anflugverhandlungen relativ einfach und das Verhandlungsprotokoll damit schlank gehalten.

### 3.2. Das Verhandlungsprotokoll

Sobald ein Luftfahrzeug vom Bodensystem AMAN innerhalb eines definierten Radius um den Zielflughafen erfasst wird, nimmt der AMAN automatisch Kontakt zum 4D-FMS auf. Wo sich genau der Punkt für den Verhandlungsbeginn befindet, ist prinzipiell nicht entscheidend, doch sollte er für alle Luftfahrzeuge im gleichen Abstand zum Zielflughafen gewählt werden, um zu verhindern, dass einzelne Luftfahrzeuge bei den Trajektorienverhandlungen bevorzugt werden. Selbstverständlich müssen die Verhandlungen auch so rechtzeitig aufgenommen werden, dass der ToD für den Start eines CDA noch nicht überflogen wurde.

Indem der AMAN eine „Initial Handshake“ genannte Botschaft an das Luftfahrzeug sendet, wird der Kontakt hergestellt (BILD 4).

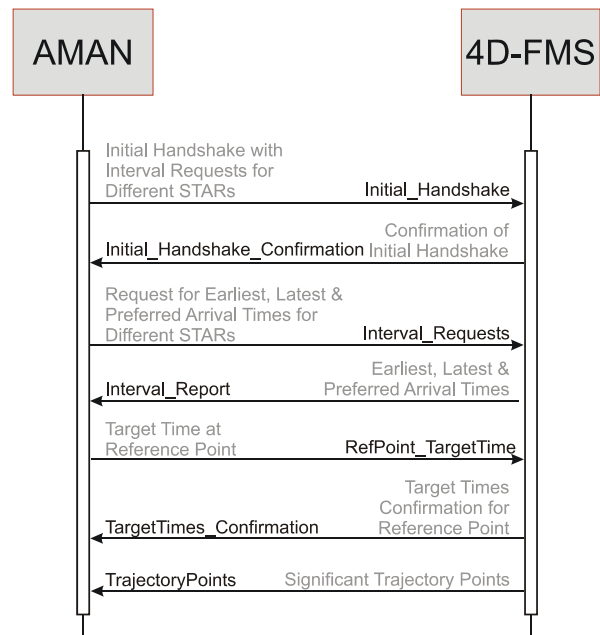


BILD 4. Vereinfachte Darstellung des Bord-Boden-Austauschprotokolls zur Trajektorienverhandlung

Darin enthalten sind sowohl aktuelle Daten über die Anflugbedingungen (QNH, Betriebsmodus mit Anflugrichtungen, Sichtweite, etc.) als auch eine Anfrage hinsichtlich einer frühesten und spätesten möglichen Ankunftszeit am LMP für eine bestimmte STAR. Alternativ steht auch eine „Init Ground“-Botschaft zur Verfügung, bei der zunächst nur die aktuellen Flughafendaten ohne Zeitanfragen gesendet werden, um die Möglichkeit vorzuhalten, nicht 4D-fähige Luftfahrzeuge mit Data Link über die Bodensituation zu informieren. Das Luftfahrzeug bestätigt die Ankunft der „Initial Handshake“-Botschaft entweder mit „Initial Handshake Confirmation“ oder bereits mit „Interval Report“, der für die genannte STAR das mögliche Zielzeitfenster am LMP enthält. Alle Botschaften des Bodens an das Luftfahrzeug können von der Crew manuell bestätigt werden, sie muss dies jedoch nicht.

Der AMAN hat nun die Möglichkeit, die angefragte STAR und das zeitliche Fenster für die weiteren Planungen zu verwenden, oder mit „Interval Request“ eine Anfrage für eine weitere STAR zu starten, die vom 4D-FMS wiederum durch eine „Interval Report“-Botschaft beantwortet wird. Liegen dem AMAN alle benötigten Zeiten vor, startet die Reihenfolgeplanung, bei der insbesondere die ausgerüsteten Luftfahrzeuge so geplant werden, dass ihre Ankunftszeit am LMP innerhalb der im „Interval Report“ genannten Zielzeiten liegt. Ist die Planung abgeschlossen beziehungsweise aktualisiert, wird mit der „RefPoint TargetTime“-Botschaft die ausgehandelte Zielzeit für einen Referenzpunkt – in diesem Fall der LMP – an das Luftfahrzeug gesendet und von diesem mit „TargetTimes Confirmation“ bestätigt. Prinzipiell sind damit die Bord-Boden-Verhandlungen abgeschlossen.

Verkleinert sich das zeitliche Fenster eines Direktanfluges während der Planungszeit des AMAN so weit, dass sich die vom Lotsenunterstützungssystem geplante Zielzeit außerhalb eines idealen Anfluges befindet, kann das 4D-FMS auch eine negative „TargetTimes Confirmation“

schicken. Der AMAN beginnt dann die Zielzeitverhandlungen mit einem „Interval Request“ von neuem.

### 3.3. Störungen während der Bord-Boden-Kommunikation

Die Bord-Boden-Kommunikation erfolgt über einen Funk-„Data Link“, bei dem die Informationen digital zwischen AMAN und 4D-FMS übertragen werden. Neben ungünstigen meteorologischen Bedingungen kann diese Übertragung auch durch fehlerhafte Geräte am Boden oder an Bord gestört oder sogar unterbrochen werden, so dass keine Trajektorien- beziehungsweise Zielzeitverhandlung zustande kommt. Unter diesen Bedingungen wird auch ein mit einem 4D-FMS ausgerüstetes Luftfahrzeug konventionell per Sprechfunk entlang des Gegenanflugs und der Anfluggrundlinie geführt.

Das Protokoll für den Fall von Kommunikationsstörungen zwischen AMAN und 4D-FMS sieht dazu folgende Schritte vor: Reagiert die Bordseite nicht innerhalb von 10 Sekunden auf eine Anfrage vom AMAN, so werden vom AMAN noch zwei weitere Versuche unternommen, um die Data Link Kommunikation aufzubauen oder an entsprechender Stelle fortzusetzen. Dabei hat jeder einzelne Kommunikationsschritt wiederum drei Versuche, um erfolgreich durchgeführt zu werden. Nach dem dritten Versuch wird ein CDA-Anflug automatisch zu einem konventionellen Anflug über die Path Stretching Area umgewandelt und bei der nächsten AMAN-Sequenz- und Zielzeitenplanung entsprechend berücksichtigt.

## 4. DIE ANFLUGPLANUNG

Dieses Kapitel gibt einen Einblick, in welchem Umfang das Anflugplanungssystem 4D-CARMA und die Visualisierung in einem HMI den Lotsen bei der Umsetzung des FAGI Konzeptes unterstützen.

Einführend wird der Umfang des Unterstützungssystems auf der Momentaufnahme BILD 5 illustriert, auf die im Laufe dieses Kapitels mehrmals Bezug genommen wird.

4D-CARMA ist ein modular aufgebautes, zeitbasiertes Anflugplanungssystem ([10], [11]), das im Institut für Flugführung des DLR entwickelt wurde und als Prototyp zur Validierung verschiedener Konzepte im Bereich ATM erweitert wird.

Die Aufgaben der Kernmodule sind:

- Erkennung des zweidimensionalen Anflugweges
- Bestimmung frühester und spätester Ankunftszeitpunkte an signifikanten Wegpunkten, bspw. an der Landebahnschwelle
- Reihenfolgeplanung hinsichtlich einer optimierten Anflugsequenz inklusive Zielzeitenbestimmung am Planungspunkt
- Generierung von Trajektorien für jedes Luftfahrzeug
- Ableitung von Führungsanweisungen für den Lotsen aus den Trajektorien

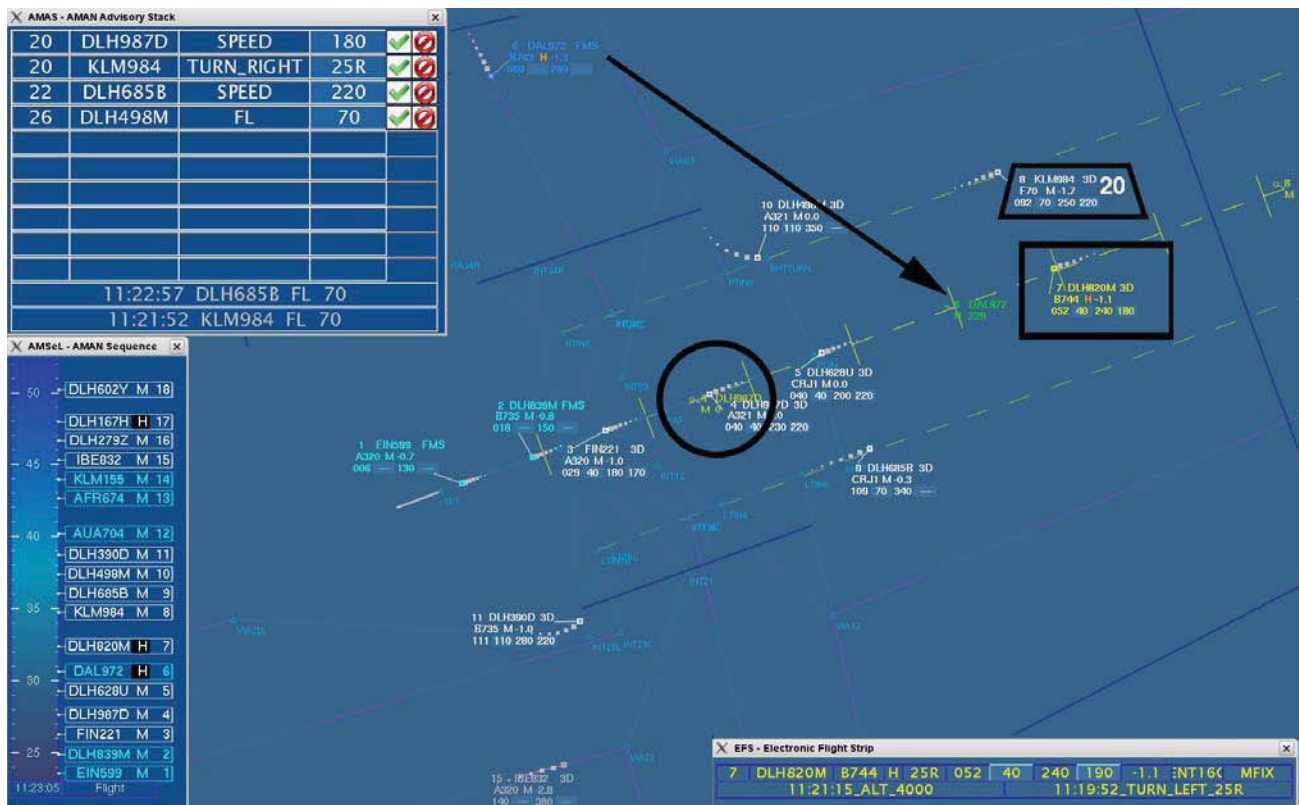


BILD 5. Visualisierung der Anflugplanung durch 4D-CARMA



Ein Baustein des FAGI Konzeptes sind die disjunkten STARs. Um deren Potential zur präventiven Konfliktvermeidung zu nutzen, wurde ein Modul zur Auswahl und Zuweisung der Routen konzipiert und implementiert [12]. In einem ersten Ansatz wurde als Konfliktvermeidungsstrategie das „Round Robin“-Verfahren implementiert, durch welches der Strom aus einer Anflugrichtung alternierend auf die von hieraus aufspaltenden STARs aufgeteilt wird.

Zur Visualisierung der geplanten Landezielzeiten wurde eine Zeitleiter eingesetzt. Diese ist in BILD 5 am unteren linken Rand dargestellt. Der Zeitstreifen verläuft kontinuierlich von oben nach unten, wobei sich am unteren Rand die aktuelle Uhrzeit befindet. Rechts neben dem Zeitstreifen sind in Form von Rechtecken die Luftfahrzeuge des aktuellen Planungshorizonts entsprechend ihrer Landezielzeit untereinander aufgeführt und an den Zeitstreifen geheftet. Die Identifikation der Luftfahrzeuge erfolgt über das Callsign, die Gewichtsklassenkategorie und die Position in der Sequenz. Darüber hinaus werden Ausrüstungsgrad und Gewichtsklassenkategorie Heavy farblich hervorgehoben. Neben der Zeitleiter wird der elektronische Flugstreifen in BILD 5 unten rechts illustriert.

In Kapitel 2.2 wurde die besondere Herausforderung des Lotsen durch die automatisierte Planung beschrieben. Um die Planungsabsichten des Lotsen dem System aktiv mitteilen zu können, wurden weitere Assistenzfunktionen in 4D-CARMA integriert. Sie ermöglichen dem System eine unmittelbare Adaption an die Intention des Lotsen, die sich sonst erst aus den Radarspuren mit zeitlicher Verzögerung ergibt. Diese Assistenzfunktionen erlauben das Verschieben des Luftfahrzeugs in der Sequenz (Move) und Fixieren einer partiellen Sequenz (Freeze). Das Freeze-Kommando kann über die Zeitleiter durch Auswählen des letzten Luftfahrzeugs der einzufrierenden Sequenz abgegeben werden; es wird immer bis zum ersten Luftfahrzeug der Sequenz eingefroren. Diese Eingabe wird zu einer Randbedingung in der Reihenfolgebildung von 4D-CARMA. Die Auflösung dieses Zustandes kann ebenfalls über die Zeitleiter erfolgen. Für die Ausführung des Move-Kommandos wird das Luftfahrzeug auf der Zeitleiter per Drag'n'Drop verschoben. Beim nächsten Planungszyklus wird dieses Kommando als Randbedingung berücksichtigt, bis das Luftfahrzeug gelandet bzw. eine Aufhebung lotsenseitig über die Zeitleiter erfolgt ist. Sowohl abgesetzte Move- wie auch Freeze-Kommandos ziehen eine farbliche Hervorhebung der Luftfahrzeuge in der Zeitleiter nach sich.

Führungsvorschläge werden für das Luftfahrzeug aus seiner Trajektorie abgeleitet. Sie werden in einer Anweisungsliste aufbereitet und in der Standardeinstellung 30 Sekunden vor dem anvisierten Einleitezeitpunkt dargestellt, siehe BILD 5 am linken, oberen Rand. Dem Lotsen wird überlassen, welche der 3 Führungshilfen (Reduce, Descent, Turn-to-Base) er wie viele Sekunden vor der Umsetzung angezeigt bekommen möchte.

Wie der Anweisungsliste in BILD 5 weiter entnommen werden kann, ist am Ende jeder Anweisung ein Haken. Dieser führt die Semantik „Anweisung wurde an den Lotsen übermittelt“. Das Drücken jenes Knopfes führt

synchron zu einer Übertragung des Soll-Wertes in das Label des Luftfahrzeugs auf dem Radarbildschirm und in das entsprechende Feld im elektronischen Flugstreifen. Der rote, durchgestrichene Kreis am Ende jeder Anweisung steht semantisch für „Anweisung wird oder wurde nicht übertragen“. Das Betätigen sowohl des einen als auch des anderen Knopfes hat zur Folge, dass die Anweisung aus der Liste entfernt wird. Neben den Führungshilfen in der Anweisungsliste wird der Counter des zeitkritischen Turn-to-Base-Kommandos zusätzlich in das Label des Luftfahrzeugs auf dem Radarbildschirm integriert, siehe trapezförmige Umrandung in BILD 5.

Eine Maßnahme, um die Aufmerksamkeit des Lotsen auf das kurz bevorstehende Eintreffen eines ausgerüsteten Luftfahrzeugs am LMP zu lenken, sind die sogenannten Reporting Lines. In BILD 5 werden diese als kurze, leuchtend blaue Linien parallel zum Gegenanflug dargestellt. Wird diese Linie vom ausgerüsteten Luftfahrzeug geschnitten, hat der Pilot die Anweisung, sich beim Lotsen zu melden.

Für die ausgerüsteten Luftfahrzeuge, die einen N-CDA fliegen, wird keine Trajektorie vom Bodensystem berechnet. Stattdessen wird eine Verhandlung der Zielzeit am Planungspunkt vorgenommen, siehe Kapitel 3. Gibt der Lotse dem Luftfahrzeug trotzdem eine Anweisung, wird dieses automatisch ‚degradiert‘, d. h., es wird wie ein konventionell anfliegendes behandelt. Eine erneute Behandlung als N-CDA ist nicht möglich. Wird eine Trajektorienverhandlung mit einem ausgerüsteten Luftfahrzeug nicht erfolgreich abgeschlossen, erhält der Lotse vom AMAN eine entsprechende Warnmeldung auf seinem Radardisplay. Dieses Luftfahrzeug ist nicht mehr als Direktanflug zu behandeln, sondern muss konventionell über Sprechfunk geführt werden.

Konzeptionelles Kernelement von 4D-CARMA ist die zeitbasierte Führung, welche essentiell zur Validierung des FAGI-Konzeptes ist. Da zeitliche Abstände auf einem Radardisplay jedoch nur schwer interpretierbar dargestellt werden können, haben wir uns im FAGI-Projekt bei der Abbildung der zeitlichen Staffelung für ein räumliches Pendant entschieden, sogenannte Targets und Ghosts. Targets sind Ziele auf der Anfluggrundlinie, die der Lotse durch eine geeignete Eindrehanweisung eines konventionell geführten Flugzeugs ‚treffen‘ soll. Die Berechnung der Position des Targets ergibt sich durch die Projektion des Luftfahrzeugs entsprechend seiner Trajektorienlänge auf die Centerline. Die Visualisierung der Targets erfolgt in einem konfigurierbaren Abstandsintervall der Trajektorien zur Landebahnschwelle. Des Weiteren erfolgt eine Deaktivierung, wenn das Luftfahrzeug sein Target ‚trifft‘. Diese Funktionalität der Targets unterstützt den Lotsen einerseits beim zeitgenauen Eindrehen auf das verlängerte Final und andererseits beim Justieren bereits eingedrehter Luftfahrzeuge. Targets sind in BILD 5 als gelbe Label entlang des verlängerten Finals dargestellt und zudem durch einen schwarzen kreisförmigen und einen schwarzen rechteckigen Rahmen nachträglich hervorgehoben. Eine weitere eingesetzte Art der Projektion eines Luftfahrzeugs auf die Anfluggrundlinie ist das Two-Segment-Ghosting [13]. Die Notwendigkeit der Einführung der Ghosting-Funktionalität für ausgerüstete Luftfahrzeuge liegt im Late Merging Konzept begründet.

Die damit einhergehende Herausforderung der Lotsen ist in Kapitel 2.2 beschrieben. Beim Two-Segment-Ghosting wird die Restflugzeit des ausgerüsteten Luftfahrzeugs auf das durchschnittliche Flugprofil eines konventionell geführten Luftfahrzeugs auf der Centerline bis zum LMP (erst eine Konstant-, dann eine Reduktionsphase) übertragen. Aus dieser Berechnung ergibt sich die Distanz des Ghost vom LMP entlang der Centerline. Der Ghost wird grafisch in BILD 5 durch einen dicken schwarzen Pfeil hervorgehoben. Am anderen Ende des Pfeils ist das korrespondierende ausgerüstete Luftfahrzeug gezeigt. Damit sich der Lotse der ausgerüsteten Luftfahrzeuge beim ‚Einfädeln‘ des konventionell geführten Verkehrs auf die Centerline bewusst ist, werden diese auf die Centerline projiziert. Da sich die Flugprofile der beiden Anflugverfahren erheblich unterscheiden, musste eine Transformation von CDA-Anflug auf den konventionellen „Low Drag Low Power“ (LDLP)-Anflug vorgenommen werden.

## 5. VALIDIERUNG DES FAGI-KONZEPTS

Die Validierung des FAGI-Konzepts erfolgte in ausgedehnten Validierungsläufen mit internationalen Lotsenteams aus Frankreich, Deutschland und Luxemburg. Einige Teilnehmer der Teams waren über den 3-jährigen Verlauf des Projekts schon in der Konzeptionsphase und immer wieder zu zwischenzeitlichen kritischen Betrachtungen an der Ausarbeitung des Konzepts und der operationellen Umsetzung beteiligt. Aus dem Verlauf der Entwicklungsphase können folgende Ergebnisse aus ersten Bewertungen der Lotsen während der Testläufe und Nachbesprechungen festgehalten werden:

- Eine Führung von gemischtem, starkem Anflugverkehr ist ohne Assistenzfunktionen für den Lotsen nicht möglich. Für die abschließenden Validierungsläufe wurde daher das Base Line Szenario ausschließlich mit konventionellen Anflügen durchgeführt.
- Das Anzeigen aller Anweisungsvorschläge, die das System für die Führung des Verkehrs generieren kann (Reduce, Descent, Turn-to-Base) empfindet der Lotse als Degradierung seiner Tätigkeit. Er beklagt den Verlust des Situationsbewusstseins. Daher wurde in den Validierungsläufen ausschließlich die Turn-to-Base-Anweisung eingeblendet.

Bei den abschließenden Validierungsläufen im November 2009 war bei allen Szenarien ein Verkehrsmix von 30 Prozent ausgerüsteten und 70 Prozent nicht ausgerüsteten Luftfahrzeugen gegeben. Die Reihenfolgeplanung von 4D-CARMA wurde immer in Form einer Zeitleiter im Radardisplay eingeblendet. Folgende unterschiedliche Unterstützungsvarianten sind in einem verkehrsarmen und einem verkehrsreichen Szenario getestet worden:

- Base Line: Ohne Unterstützung und alle Luftfahrzeuge konventionell geführt
- Late Merging mit Unterstützung durch Turn-Anweisungen und Ghosts

- Late Merging mit Unterstützung durch Turn-Anweisungen, Ghosts und Targets

Im verkehrsarmen Szenario hatten die Assistenzfunktionen kaum Auswirkungen auf Effizienz und Sicherheit und werden daher im Folgenden nicht weiter betrachtet. Während der Simulationsläufe wurden bei den beteiligten Lotsen systematische Erhebungen zu Situationsbewusstsein mit Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) Messungen und zur Arbeitsbelastung mit NASA-TLX Befragungen durchgeführt. Die Grundlagen der Bewertung und die genauen Zahlen sind im FAGI Ergebnisbericht [8] dokumentiert.

Herauszustellen ist, dass die Arbeitsbelastung der Lotsen am höchsten beurteilt wird, wenn keine Assistenzfunktion aktiv ist. Im „Base Line“-Szenario ist ihre Belastung durch hohen Sprechfunkverkehr gekennzeichnet. Die Zeitleiter ist als Kommunikationsanzeige zwischen den beiden Lotsenpositionen unverzichtbar.

Die Zusammenführung der Anflugströme aus konventionell geführten und ausgerüsteten Luftfahrzeugen am LMP wird von den Lotsen als große Herausforderung am FAGI-Konzept betont. Es ist plausibel, dass von einigen Lotsen das Display als mit beweglichen Icons überladen empfunden wird, wenn beide Assistenzfunktionen, Targets und Ghosts, eingeschaltet sind. Das Anzeigen des Countdowns für die Turn-Anweisung am Label wird als hilfreich beurteilt. Die Lotsen beurteilen das Verfahren, dass sich die Piloten an der Reporting Line melden, als positiv. Sie beurteilen die Möglichkeit des Degradierens der ausgerüsteten Flugzeuge unter Sicherheitsgesichtspunkten als unverzichtbar.

Aus den Validierungsläufen können die nachfolgenden markanten Ergebnisse festgehalten werden. In einem Luftraum, der speziell für die Anforderung „Führung von N-CDA und konventionellen Anflügen bei hoher Verkehrsdichte“ ausgelegt ist, kann ohne Einbußen in der Kapazitätsauslastung eine sichere und effiziente Führung beider Anflugarten erfolgen.

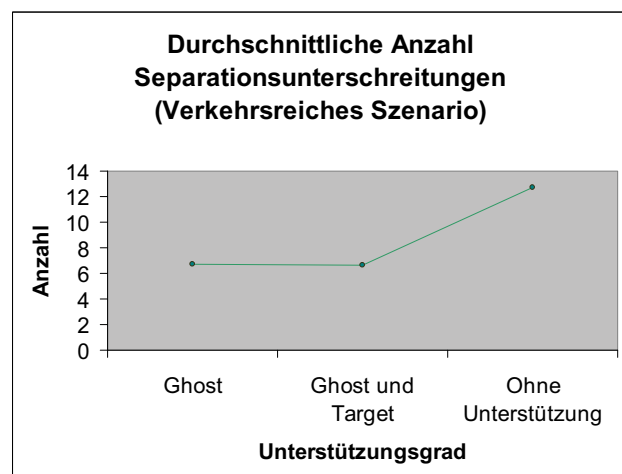


BILD 6. Separationsunterschreitungen im verkehrsreichen Szenario



Nimmt man die Anzahl der Separationsunterschreitungen als Maß für die Sicherheit, so haben die Validierungsläufe gezeigt (siehe BILD 6), dass sich ihre Anzahl durch Assistenzfunktionen des Unterstützungssystems 4D-CARMA in etwa halbiert hat.

Die Effizienz der Anflüge im gleichen verkehrsreichen Szenario, gemessen in Flugdistanz und -dauer pro Luftfahrzeug, hat sich um ca. 3 NM (BILD 8) bzw. 150 Sekunden (BILD 7) erhöht.

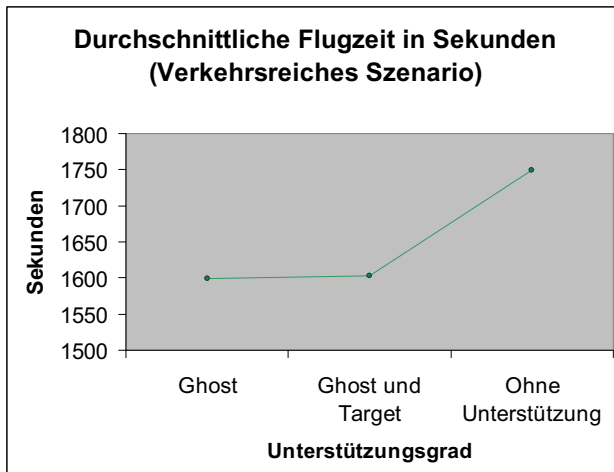


BILD 7. Durchschnittliche Flugdauer im verkehrsreichen Szenario

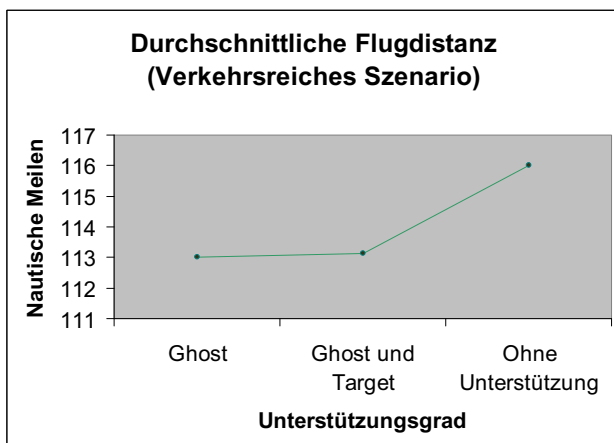


BILD 8. Durchschnittliche Flugdistanz im verkehrsreichen Szenario

Die herausragende Verkürzung der durchschnittlichen Flugdauer, ist auf die geflogenen N-CDA-Flugprofile zurückzuführen, bei denen die Luftfahrzeuge länger hoch und schnell fliegen.

## 6. FAZIT

Die Integration von CDAs in den Verkehr in hoch belasteten TMAs bedeutet für den Lotsen einen erheblicher Eingriff in sein Tätigkeitsfeld „Planen und Führen von anfliegenden Luftfahrzeugen“. Der hohe mentale Aufwand, den der Anfluglotse in dieser Situation treiben muss, ist ohne Unterstützungssystem nicht zu bewältigen. Sein mentales Abbild des Verkehrs kann bei der Situationsanalyse, der Vorhersagbarkeit und Überprüfung seiner Handlungen, durch Assistenzfunktionen präzisiert werden. Dazu gehören Projektionen von Luftfahrzeugen auf die Centerline und zeitgenaue Hinweise zum Absetzen von Eindrehanweisungen. Unstimmigkeiten seiner eigenen Planungsabsicht mit der des Systems kann er durch manuelle Eingaben korrigieren. Das stärkt sein Empfinden, sich weiterhin in der ‚Loop‘ zu befinden und die Aufmerksamkeit für die Gesamtsituation nicht zu verlieren.

Eine weitere wichtige Assistenzfunktion ist die automatisierte Bord-Boden-Verhandlung der Anflugtrajektorien von Flugzeugen, die mit 4D-fähigem FMS und einem Data Link ausgestattet sind. Die zeitliche Unsicherheit, die durch einen CDA ohne Zielzeitverabredung entsteht, macht eine stabile Sequenzbildung über einen größeren Zeithorizont (ca. 20 Minuten vor der Landung) unmöglich und erschwert dadurch eine effiziente Nutzung der Ressource Landebahn. Die Bord-Boden-Trajektorienverhandlung erlaubt die zeitbasierte Führung aller Anflüge im Verkehrsszenario.

Die Auswertung der FAGI-Validierungsläufe hat gezeigt, dass die Arbeitslast des Lotsen nicht durch Hinzunehmen von CDAs erhöht wird. Außerdem nehmen durchschnittliche Flugstrecke und Flugzeit ab, ebenso die Separationsunterschreitungen.

Sowohl die Fortschritte bei der Entwicklung moderner 4D-FMS als auch bei der Auslegung innovativer Assistenzsysteme machen es daher möglich, bord-boden gestützte Konzepte aus dem SESAR Programm in die reale ATM Welt umzusetzen.

## 7. LITERATUR

- [1] H. Keimel. Luftverkehrsbericht 2007 - Daten und Kommentierungen des deutschen und weltweiten Luftverkehrs, Verkehrsbericht DLR IB 326-2007/2, Flughafenwesen und Luftverkehr, 2007
- [2] Sandra Ciupka. Theorie trifft Praxis, Artikel in der Zeitung „Aus der DFS“, Ausgabe 6/2009
- [3] SESAR Consortium. The ATM Target Concept, DLM-0612-001-02-00a, September 2007
- [4] H. Oberheid, M.-M. Temme, A. Kuenz, V. Mollwitz and H. Helmke. Fuel Efficient and Noise-Reduced Approach Procedures Using Late Merging of Arrival Routes. German Aerospace Congress, Darmstadt, Germany, German Aerospace Center (DLR): 10 p., 2008
- [5] L. J. J. Erkelens. Development of noise abatement procedures in the Netherlands. Report NLR-TP-99386, National Aerospace Laboratory NLR, Amsterdam, The Netherlands: 13 pages., 1999
- [6] A. Kuenz, V. Mollwitz, B. Korn. Green Trajectories in High Traffic TMAs. 26<sup>th</sup> Digital Avionics Systems Conference, Dallas, TX (USA), 2007
- [7] Esther Oprins, Ernst Burggraaff, Hans van Weerdenburg. Design of a Competence-Based Assessment of Air Traffic Control Training, The International Journal of Aviation Psychology, 16(3), 2006
- [8] B. Weber, H. Oberheid. FAGI Ergebnisbericht, DLR IB-Nummer 112-2010/05, Institut für Flugführung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), 2009
- [9] B. Czerlitzki, M. Uebbing-Rumke, H. Helmke, C. Edinger, R. Stump, M. Temme und J. Strohmeier. Kooperatives Air Traffic Management (K-ATM) - KOPIM Aircraft: Konzept und Spezifikation der Bord-Boden Kooperation D5310.1\_DLR\_050429, Airbus, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, TU-Darmstadt, 63 S., 2005
- [10] R. Hann, L. Christoffels, K. Muth, M.-M. Temme, M. Uebbing-Rumke. Zeitbasiertes Anflugmanagement mit 4D-CARMA zur Unterstützung von Dual Threshold Operations, Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt Konferenz 2008, 2008
- [11] H. Helmke, R. Hann, M. Uebbing-Rumke, D. Müller, D. Wittkowski. Time-Based Arrival Management for Dual Threshold Operation and Continuous Descent Approaches, Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2009), 2009
- [12] F. Arndt. 4D-CARMA Modul Route Assignment, Funktionalität und Implementierung, DLR IB-Nummer 112-2009/07, Institut für Flugführung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), 2009
- [13] L. Christoffels, M.-M. Temme, H. Oberheid. Integration von konventionellen und CDA-Anflügen mithilfe einer zeitbasierten Ghosting-Funktionalität, Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt Konferenz 2009, 2009

## 8. ABKÜRZUNGEN

4D-CARMA	4 Dimensional Cooperative Arrival Manager
4D-FMS	4 Dimensional Flight Management System
ACC	Area Control Centre
AMAN	Arrival Manager
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
ATMOS	Air Traffic Management and Operations Simulator
ATTAS	Advanced Technologies Testing Aircraft System
CDA	Continuous Descent Approach
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
E-TMA	Extended Terminal Maneuvering Area
FAGI	Future Air Ground Integration
FMS	Flight Management System
HMI	Human Machine Interface
LDLP	Low Drag Low Power
LMP	Late Merging Point
NASA-TLX	NASA Task Load Index
N-CDA	Negotiated Continuous Descent Approach
RWY	Runway
SAGAT	Situation Awareness Global Assessment Technique
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme
STAR	Standard Arrival Route
TMA	Terminal Maneuvering Area
ToD	Top of Descent

## 9. AUTOREN

Ronny Hann (M. Sc. in Computer Science) arbeitete bereits seit 2003 während seines Studiums am Institut für Flugführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Abteilung Lotsenassistenz, und ist dort auch seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Den Arbeitsschwerpunkt bildet die Konzeption und Implementierung des Anflugplanungssystems 4D-CARMA.

Dipl.-Inform. Maria Uebbing-Rumke begann 1981 ihre wissenschaftliche Tätigkeit beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) in der zentralen Datenverarbeitung. Sie wechselte 1999 zum Institut für Flugführung in die Abteilung Lotsenassistenz. Ihr Arbeitsschwerpunkt liegt auf dem Gebiet Bord-Boden-Kooperation im Anflugbereich.

Dr. Marco Temme, Dipl.-Geoöko., seit 1999 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Flugführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V., beschäftigte sich in den vergangenen Jahren mit der Berechnung und Simulation von Fluglärm und verschiedenen Aspekten der softwaregestützten Anflugplanung.