

VALIDIERUNG SPEZIFISCHER SITUATIONEN IM LUFTVERKEHRSMANAGEMENT DURCH EINSATZ EINER SEQUENZ VON KURZSZENARIEN

T. Mühlhausen, A. Tews,
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Flugführung
Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig, Deutschland

Zusammenfassung

Im Regelfall dauern ATM-Simulationen mit menschlichen Operateuren 30-90 Minuten. Die Luftlagen sind dabei nur zu Beginn der Simulation identisch. Bereits nach kurzer Zeit weichen sie, bedingt durch die individuelle Arbeitsweise eines jeden Lotsen, voneinander ab. Zur Untersuchung spezieller Situationen ist daher die Einführung von Kurzscenarien empfehlenswert. In Versuchen wurden so Situationen identifiziert, die ein hohes Potential für die Unterstützung durch Assistenzsysteme aufweisen.

1. EINLEITUNG

In vielen Bereichen der Luft- und Raumfahrt werden Forschung und Entwicklung durch Simulationen unterstützt oder sogar erst ermöglicht. Im Bereich des Luftverkehrsmanagements kommen dabei sowohl Schnellzeit- als auch Echtzeitsimulationen zum Einsatz. Erstere werden dabei primär für strategische Fragestellungen eingesetzt. So lassen sich zum Beispiel kapazitive Effekte von Ausbaumaßnahmen oder die Folgen geänderter Prozesse im Luftraum analysieren. Echtzeitsimulationen kommen dagegen mehr im taktischen Bereich zum Einsatz. Zumeist werden einer oder mehrere menschliche Operateure in die Simulation eingebunden. Die Ziele der Untersuchungen sind dabei vielfältig. So sind die Messung der Arbeitsbelastung oder die Analyse der Mensch-Maschine Schnittstelle neuer Anwendungen nur zwei Beispiele für die Anwendung von Echtzeitsimulationen im Luftverkehrsmanagement. Aber alle diese Anwendungen haben gemeinsam, dass sie ausgehend von einer fest definierten Verkehrssituation und einem dahinter liegenden Flugplan die Arbeitswelt eines Fluglotsen oder Piloten über eine seinem regulären Arbeitsleben entsprechenden Zeitspanne abbilden. Konkret bedeutet dies, dass ein Simulationslauf im Regelfall eine Dauer von 30 bis 90 Minuten hat. Diese Zeitspanne ermöglicht eine Einarbeitung in die Situation und die Umsetzung der eigenen Arbeitsweisen insbesondere für Fluglotsen. Diese Zeitspanne führt aber auch dazu, dass bereits nach einer kurzen Zeit die Luftlagen, die jeder einzelne Fluglotse zur Abarbeitung des Verkehrs erzeugt, von Lotse zu Lotse stark voneinander abweichen. Sollen aber spezifische Luftlagen, die durch die Position und Bewegung verschiedener Luftfahrzeuge zueinander gekennzeichnet sind, analysiert werden, ist dieses Simulationsverhalten kontraproduktiv. Hier können Kurzscenarien Abhilfe schaffen. Das Vorgehen hierbei und die dabei gewonnen Erkenntnisse werden im Folgenden beschrieben.

2. SITUATION

Fluglotsen haben in Abhängigkeit von ihrer Erfahrung, Ausbildung sowie persönlichen Stärken und Präferenzen eine individuelle Arbeitsweise, die sich untereinander stark unterscheidet.

BILD 1 und **BILD 2** zeigen beide eine Luftlage in einem Anflugsektor, der exakt der gleiche Flugplan zu Grunde liegt. Während sich der Lotse im ersten Fall an die im Luftfahrthandbuch [1] veröffentlichte Luftraumstruktur gehalten und die Flugzeuge auf den veröffentlichten Routen geführt hat, bevorzugte der zweite Lotse eine direkte Führung über Kursanweisungen.

Generell lässt sich dazu sagen, dass eine Führung über die Routen mit steigendem Verkehr bevorzugt wird, während direkte Routen eher bei weniger Verkehr zum Einsatz kommen. Da jeder Lotse hier aber eine andere Herangehensweise hat, kommt es zu den geschilderten unterschiedlichen Luftlagen. Dies führt dazu, dass die Flugzeuge eine andere Landereihenfolge (Sequenz) haben und somit auch eine andere Position zueinander einnehmen. Möchte man nun eine bestimmte Situation, die in der in **BILD 1** gezeigten Luftlage ein sofortiges Eingreifen des Lotsen erforderlich macht, initiieren, kann eine identische Aktion, sofern sie überhaupt möglich ist, in der in **BILD 2** gezeigten Luftlage eine völlig andere oder sogar gar keine Reaktion des Lotsen hervorrufen. Beispielhaft könnte in **BILD 1** ein Irrtum, Fehler oder die Anweisung eines unrechtmäßigen Teilnehmers im Funkkreis dazu führen, dass Flug AFL2536 den aktuellen Kurs von 142° beibehält und nicht dem vorgegebenen Flugweg folgt, was zu einem Konflikt mit der gerade eindrehenden Maschine BEE2HM zur Folge haben kann. Für die Luftlage in **BILD 2** ist es gar nicht möglich zum gezeigten Zeitpunkt, einen derartigen Konflikt mit diesen beiden Maschinen herzustellen, da sie sich beide schon im Endanflug befinden. Und ein Konflikt zwischen anderen Maschinen oder zu einem anderen Zeitpunkt würde den Vergleich zwischen den Lotsen erschweren.



BILD 1: Luftlage nach 20 min bei Nutzung der Transition

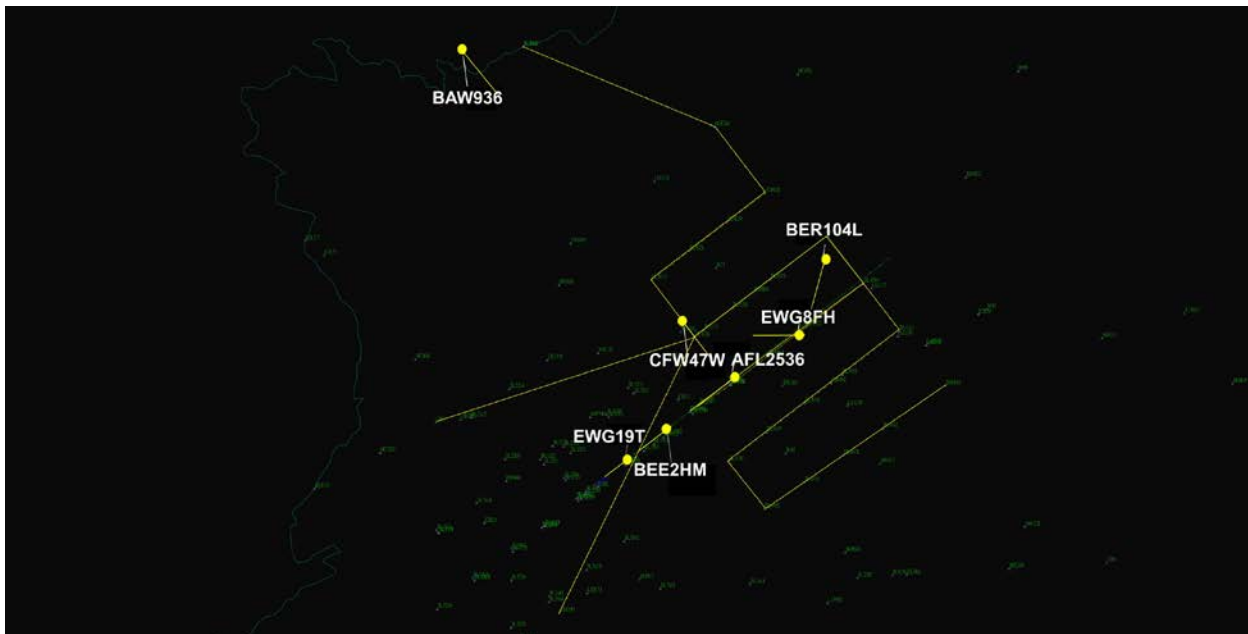


BILD 2: Luftlage nach 20 min bei direkter Routenführung

3. LÖSUNG

Die oben geschilderte Limitierung von Echtzeitsimulationen auf nicht situationsbezogene Analysen lässt sich durch die Einführung von Kurzscenarien aufheben. Hierbei wird die spezifische Luftlage, das heißt, die Position der Luftfahrzeuge zueinander sowie ihr individuelles Bewegungsprofil in der Simulation gesetzt und dem Lotsen ähnlich einer Übergabe beim Schichtwechsel mitgeteilt. **BILD 3** zeigt eine typische Situation bei der Übergabe. Bereits nach kurzer Zeit wird dann das gewünschte zu analysierende Ereignis eintreten.

In diesem fiktiven Fall ist eine Situation im Anflugsektor eines Flughafens dargestellt. Sämtliche Flugzeuge sind durch Dreiecke symbolisiert und fliegen auf den im Luftfahrthandbuch publizierten Routen. Die beiden roten Flüge (BER526X und BER315J) sind bereits in einer Flughöhe von 3000ft im Endanflug und haben eine Freigabe für das ILS erhalten. Die drei grünen Flüge (BAW957, GWI28Y und BER7497) befinden sich auf Flugfläche 70 und folgen der vorgegebenen Route. Der blaue Flug (IBS2821) hat eine Freigabe für Flugfläche 80 und folgt der Route, die im Punkt DL426 mit der aus Norden kommenden Route zusammentrifft. Das Szenario sieht nun vor, dass Flug IBS2821 nach 30 Sekunden beginnt ohne Freigabe auf Flugfläche 70 zu sinken. Dies kann zu einem Konflikt mit dem Flug BAW957 führen.

Hierauf wird der Lotse mit einem lateralen oder vertikalen Ausweichmanöver reagieren.

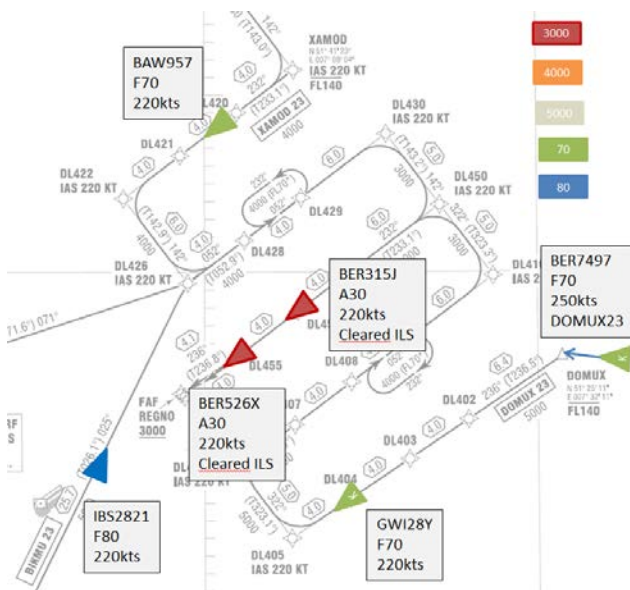


BILD 3: Beispielhafte Initialsituation eines Kurzzenarios

In diesem fiktiven Fall ist eine Situation im Anflugsektor eines Flughafens dargestellt. Sämtliche Flugzeuge sind durch Dreiecke symbolisiert und fliegen auf den im Luffahrthandbuch publizierten Routen. Die beiden roten Flüge (BER526X und BER315J) sind bereits in einer Flughöhe von 3000ft im Endanflug und haben eine Freigabe für das ILS erhalten. Die drei grünen Flüge (BAW957, GWI28Y und BER7497) befinden sich auf Flugfläche 70 und folgen der vorgegebenen Route. Der blaue Flug (IBS2821) hat eine Freigabe für Flugfläche 80 und folgt der Route, die im Punkt DL426 mit der aus Norden kommenden Route zusammentrifft. Das Szenario sieht nun vor, dass Flug IBS2821 nach 30 Sekunden beginnt ohne Freigabe auf Flugfläche 70 zu sinken. Dies kann zu einem Konflikt mit dem Flug BAW957 führen. Hierauf wird der Lotse mit einem lateralen oder vertikalen Ausweichmanöver reagieren.

Natürlich besteht auch die Möglichkeit, dass der Lotse bereits in den ersten 30 Sekunden des Szenarios dem Flug BAW957 eine geringere Höhe anweist. In diesem Fall wird der gewünschte Konflikt nicht eintreten. Da im Gesamtkontext aber auch immer einige Kurzzenarios vorhanden sein sollten, die keinerlei zusätzliches Eingreifen des Lotsen verlangen, stellt diese Möglichkeit des Nicht-Auftretens keine Einschränkung im Hinblick auf die Versuchsziele dar.

4. UMSETZUNG

4.1. Die Simulationsumgebung

Im Institut für Flugführung des DLR existiert das Validierungszentrum Luftverkehr. In diesem wurden die Anlagen des „Air Traffic Management and Operations Simulator“ (ATMOS) genutzt (siehe BILD 4). Für die Umsetzung kam die Simulationssoftware NARSIM, ein etablierter Simulator der Nationalen Luft- und

Raumfahrtlabor der Niederlande (NLR), zum Einsatz. Dieser Simulator beruht auf einem verteilten System von Servern, welches sich für spezielle Simulationen sehr genau skalieren lässt. Der Air Traffic Generator (ATG) wird seit mehr als 25 Jahren weiterentwickelt und bietet mit seiner Peripherie vielseitige Möglichkeiten als



Simulator im ATMOS Umfeld.

BILD 4: Lotsenarbeitsplatz im ATMOS

Die Steuerung des ATG mittels einer Skriptsprache (GLASS) begünstigt die Umsetzung der kurzen Szenarios. Die Skriptsprache ermöglicht eine exakte Steuerung der Luftfahrzeuge und Operationen, welche durch verschiedene Events, Situationen oder zu einem bestimmten Zeitpunkte ausgelöst werden können. Es können Bedingungen gesetzt werden, die zur Ausführung definierter Kommandos oder Funktionen führen. Eine Ablaufsteuerung relativ zur Simulationszeit ist ebenfalls möglich und wurde zur Sequenzierung der aufeinanderfolgenden Szenarios genutzt. Der NARSIM kann mit statischen und dynamischen Flugplänen umgehen, woraus sich die Möglichkeit ergibt, dem Luftverkehr jederzeit neue Flugzeuge hinzuzufügen.

Für die Validierung der Kurzzenarios werden diese speziellen Funktionen des NARSIM genutzt und durch Regie-Anweisungen für die Simulationspiloten ergänzt. Die Kommunikation zwischen Lotsen und Pseudopiloten erfolgt über das System YADA, ein von der Schwedischen Flugsicherung (LFV) unter GPL gestelltes VoIP-System, welches tief in den NARSIM integriert werden kann.

4.2. Datenauswertung

Da der NARSIM ein Forschungssimulator ist, werden zu jedem Simulationslauf umfangreiche Daten aller Prozesse der Simulation gespeichert. Diese Daten lassen sich zusammen mit den Daten des Kommunikationssystems YADA korrelieren. Mittels dieses Systems konnte die Beanspruchung „Instantaneous Self Assessment of workload (ISA)“, die Funkkanalbelegung und das Recording sichergestellt werden. Der Simulator speichert die Position und alle auf BADA-Daten basierend berechnete Leistungswerte der Flugzeuge. Flugwege, Flugzeiten, Anzahl der Flugzeuge im Sektor und Unterschreitungen der Separation (lateral und vertikal) lassen sich extrahieren und visualisieren. Mit Hilfe der erfassten Daten kann auch ein Replay der Simulation abgespielt werden, somit ist auch eine Auswertung mittels einer Expertenanalyse möglich. Das Standbild des HMI, nach dem automatischen Stopp der Simulation, ist hilfreich für eine kurze Nachbesprechung.

5. ERGEBNISSE

5.1. Methode

Die Versuche haben gezeigt, dass es möglich ist, mit Hilfe von Kurzscenarien die Reaktion von Lotsen auf Situationen, die durch spezifische Luftlagen gekennzeichnet sind, zu untersuchen.

Als wesentlicher Vorteil dieses Vorgehens ist dabei die Vergleichbarkeit der Untersuchungen zwischen unterschiedlichen Lotsen herauszustellen. Bei einer ausreichenden Zahl an Probanden lassen sich statistische Signifikanzen für bestimmte Luftlagen ermitteln. Auf diese Weise können Situationen, bei denen eine Unterstützung für Lotsen hilfreich ist, bestimmt werden. Lotsen berichten aber auch, dass sie während der Versuche unter extremer Anspannung stehen, da sie bei jedem Szenario eine vom Normalbetrieb abweichende Aktion erwarten. Daher ist es notwendig nach fünf Kurzscenarien eine kleine Pause zu machen. Außerdem sollte nicht jedes Szenario eine besondere Aktion verlangen, um diese Erwartungshaltung zu senken.

5.2. GAMMA

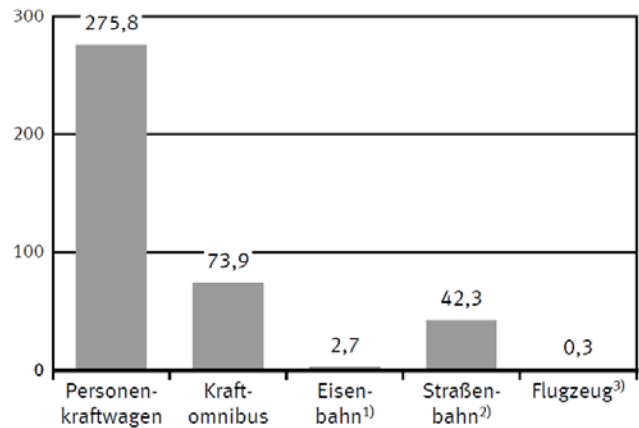
Im Rahmen des EU-Forschungsprojekts GAMMA [2] wurde die Methode angewendet, um den Nutzen von Assistenzsystemen zu analysieren. Hierbei handelt es sich um Systeme, die den Lotsen bei Eingriffen von außen und damit verbundenen Abweichungen von freigegebenen Routen informieren,

Um den gewünschten Abgleich zwischen erteilten Freigaben und tatsächlich geflogenen Routen vornehmen zu können, ist dabei ein vom DLR und der Universität des Saarlandes entwickelter Spracherkennung [3][4] zum Einsatz gekommen. Insgesamt wurden während der GAMMA-Versuche zwanzig unterschiedliche Luftlagen mit verschiedenen Ereignissen untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass eine Vielzahl möglicher vorgesehener Konflikte durch präventives Eingreifen der Lotsen gar nicht erst auftreten. In Großteil der verbleibenden Szenarien erkennen Lotsen in der Regel potentielle Konflikte, die durch Abweichung von Freigaben auftreten, unmittelbar nach dem Auftreten. Lediglich in einigen wenigen Szenarien kann die Sicherheit durch Einführung eines zusätzlichen Assistenzsystems erhöht werden. Durch den Einsatz der Kurzscenarien-Simulation war es möglich, diese exakt zu bestimmen.

6. AUSBLICK

Obwohl der Luftverkehr als sicherstes Verkehrsmittel gilt (siehe **BILD 5**), gibt es auch bei ihm noch Potential für Verbesserungen.

Durch den Einsatz der Kurzscenarien ist es nun auf vergleichsweise einfache Art möglich, gezielt die wenigen potentiellen Schwachstellen in Simulationen zu analysieren, um so Verbesserungsmaßnahmen entwickeln und implementieren zu können. Damit rückt die Szenarientwicklung in den Vordergrund. Hier sind Methoden zu entwickeln, mit denen gezielt mögliche Schwachstellen in diese Szenarien umgesetzt werden.



1) Einschließlich S-Bahnen. – 2) Einschließlich Stadt-, Hoch-, Schweben- und U-Bahnen. – 3) Startgewicht über 5,7 Tonnen.

BILD 5: Verunglückte im Durchschnitt der Jahre 2005 bis 2009 nach Verkehrsmitteln je 1 Mrd Personenkilometer [5]

Neben Kreativmethoden mit Experten besteht eine weitere Möglichkeit darin, die wachsende Forschung im Bereich großer Datenmengen auch für diese Zwecke zu nutzen und die aufgezeichneten Radardaten gezielt auf Luftlagen, die zu potentiellen Konflikten führen können, zu analysieren und die so ermittelten Luftlagen mit Hilfe von Kurzscenarien zu bewerten.

7. QUELLEN

- [1] DFS Luftfahrthandbuch Deutschland (Aeronautical Information Publication AIP), 2017
- [2] Using Simulations to Validate Security Prototypes in ATM, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, München, Sep. 2017
- [3] Result of AcListant-Trials in October 2014: H. Helmke et al. Assistant-Based Speech Recognition for ATM Applications, in: "Eleventh USA/ Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2015)", Lisbon, Portugal, 2015.
- [4] Result of AcListant- Final Validation Trials in February and March 2015: Hejar Gürlük, Hartmut Helmke, Matthias Wies, Heiko Ehr, Matthias Kleinert, Thorsten Mühlhausen, Kathleen Muth, Oliver Ohneiser: Assistant Based Speech Recognition – Another Pair of Eyes for the Arrival Manager, 34th DASC, Prague, Czech Republic, Sep. 2015
- [5] Unfallstatistik – Verkehrsmittel im Risikovergleich, Dipl.-Volkswirtin Ingeborg Vorndran, Statistisches Bundesamt, Wirtschaft und Statistik, 12/2010