

NEUER SIMULATIONSANSATZ ZUR ANALYSE UND BEWERTUNG VON LOTSSEN IN UNBEKANNTEN SEKTOREN IM EN-ROUTE BEREICH

N. Ahrenhold*, T. Mühlhausen*, L. Tyburzy*, M. Finke*

* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Flugführung, Lilienthalplatz 7,
Braunschweig, Deutschland

Zusammenfassung

Im Rahmen des europäisch geförderten Projekts Flexible ATCO Endorsement and LDACS Complement PJ33 (FALCO) wurden Strategien entwickelt, um den Aufwand für den Erwerb und die Aufrechterhaltung der Sektorberechtigung für Fluglotsen (ATCO) zu reduzieren und ihre Flexibilität zu erhöhen. Ziel ist es, die Resilienz gegenüber Lotsenausfällen zu verbessern und einen größeren geographischen Bereich mit gleichbleibender Anzahl an ATCOs abzudecken, um die Effizienz der Flugsicherung zu steigern und Kosten zu senken, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen. Neue Arbeitsverfahren und technische Hilfsmittel sollen den erwarteten Verlust an lokalem Wissen und Erfahrung durch reduziertes Training ausgleichen. Um das Konzept und die technischen Hilfsmittel zu analysieren und zu bewerten, wurde eine Validierungsstudie im Validierungszentrum Luftverkehr des DLR Braunschweig durchgeführt. Dabei wurden drei reale europäische Sektoren aus dem oberen Luftraum detailgetreu in einer Human-in-the-Loop Simulationsumgebung implementiert. Diese Sektoren wiesen vergleichbare Komplexität und ähnliche Verkehrslasten auf. Für die Validierung wurden drei Szenarien konfiguriert: 1) Referenz I, in der ein voll ausgebildeter ATCO mit entsprechender Zulassung auf dem Sektor arbeitet; 2) Referenz II, in der der ATCO ohne Zulassung, ohne klassisches On-The-Job-Training und ohne weitere Hilfsmittel arbeitet; 3) Lösung I, eine Simulation ähnlich Referenz II, jedoch mit zusätzlichen Hilfsmitteln zur Kompensation des fehlenden Trainings. Die Ergebnisse der Simulationsläufe wurden anhand verschiedener Indikatoren wie durchschnittliche Flugzeit je Luftfahrzeug im Sektor, geflogene Distanz und Treibstoffverbrauch analysiert und bewertet. Aufgrund der unterschiedlichen Sektoren und Arbeitsweisen der ATCOs stellte die Simulationsdatenanalyse besondere Herausforderungen dar. Die vorliegende Veröffentlichung beschreibt den Simulationsaufbau, die Durchführung und diese besonderen Herausforderungen.

Keywords

air traffic control; air traffic management; human-in-the-loop; on-job-training

1. EINLEITUNG

Heutzutage ist die Ausbildung und der Erwerb einer Sektorberechtigung für Fluglotsen (ATCO)s hochgradig reguliert und erfolgt meist in einem Zeitraum von mehreren Monaten im Rahmen des sogenannten On-Job-Training (OJT). Dabei wird die Sektorberechtigung für einen klar definierten Luftraum nach Abschluss einer Zulassungsprüfung erteilt. Nach Erhalt der Sektorberechtigung dürfen diese ATCOs dann eigenverantwortlich im jeweiligen Luftraum arbeiten. Um die Sektorberechtigung aufrecht zu erhalten, muss eine bestimmte Anzahl an Arbeitsstunden in diesem Luftraum innerhalb eines festgelegten Zeitfensters geleistet werden. Die Umsetzung dieser Vorgabe sowie das in der Ausbildung erfolgte OJT sind sehr zeitintensiv, teuer und limitiert schlussendlich die Anzahl an Luftraumzulassungen, die ein ATCO gleichzeitig halten kann. Eine limitierte Anzahl an Luftraumzulassungen schränkt wiederum den flexiblen Einsatz von ATCOs ein. Im Fall von disruptiven Ereignissen, wie technische oder personelle Ausfälle, kann dann

nur eingeschränkt reagiert werden [1–3]. Das haben auch bereits Ereignisse aus der Vergangenheit und Gegenwart gezeigt. Ein aktuelles Beispiel ist unter anderem die massive Umverteilung von Flügen auf benachbarte Länder nach dem Kriegsstart in der Ukraine und dem damit verbundenen sprunghaften Anstieg der Verkehrslasten in diesen Ländern, welche diese ohne weitere Vorbereitung nur bedingt tragen können [4]. Die Resultate sind zumeist Flugverspätungen bis hin zu Flugausfällen. Dies liegt oft nicht daran, dass die ATCOs nicht vorbereitet sind, sondern die noch vorhandenen Kapazitäten aufgrund von aktuell geltenden Luftfahrtbeschränkungen nicht geeignet genutzt werden können. Eine mögliche Lösung zur Minderung des adressierten Problem wäre, den Lotseneinsatz flexibler zu gestalten, so dass hoch belastete Sektoren geteilt, oder Schichten in diesen Sektoren verkürzt werden können.

Im Zuge des europäischen Projektes Flexible ATCO Endorsement and LDACS Complement PJ33 (FALCO) werden Möglichkeiten und Strategien er-

arbeitet, um den Aufwand für den Neuerwerb einer Sektorberechtigung sowie deren Aufrechterhaltung zu reduzieren und ihren Einsatzbereich flexibler zu gestalten. Das Ziel dieses Ansatzes ist es, die angeprochene Resilienz gegenüber Lotsenausfällen zu steigern und einen größeren geographischen Bereich mit gleicher Anzahl an ATCOs abzudecken [5]. Hierdurch soll eine Steigerung der Flugsicherungseffizienz sowie der Kosteneffizienz bei gleichbleibenden Sicherheitslevel bewirkt werden. Im Fokus stehen dabei vornehmlich der obere Luftraum im Streckenflugbereich. Der erwartete Verlust an lokalem Wissen, Erfahrung und Arbeitsroutine im jeweiligen Sektor als unmittelbare Konsequenz eines reduzierten Trainings soll durch neue Arbeitsverfahren und technische Hilfsmittel kompensiert werden.

Die eigentliche Forschungsfrage setzt sich wie folgt zusammen:

- Wie groß ist der Leistungsunterschied zwischen einem ATCO mit Sektorzulassung und einem ATCO ohne Sektorzulassung in einem bestimmten Sektor?
- Lässt sich ein möglicher Leistungsunterschied durch geeignete technische Hilfsmittel kompensieren?

Auf Basis dessen können die folgenden Validierungsziele adressiert werden:

- Nachweis von Safety und Human Performance
- Analyse möglicher Kapazitätslimitierungen durch den Einsatz nicht ausgebildeter ATCO
- Bewertung unterschiedlicher technischer Hilfsmittel

Im Kontext des vorliegenden Veröffentlichung wird die Validierungsmethodik und besonderen Herausforderungen, die während der Modellierung und Auswertung auftraten, thematisiert, um die aufgestellte Forschungsfrage und adressierten Validierungsziele zu beantworten.

2. MODELLIERUNG

Zur Analyse und Bewertung dieses Konzeptes als auch der technischen Hilfsmittel wurde eine Validierungsstudie durchgeführt. Dafür wurden drei reale europäische Sektoren aus dem oberen Luftraum in einer Human-in-the-Loop (HITL) Simulationsumgebung detailgetreu implementiert. Im Folgenden werden die Validierungsmethodik, die verwendete Simulationsumgebung, die Versuchsdurchführung und die Auswertungsmethodik genauer erläutert.

2.1. Validierungsmethodik

In Abhängigkeit der an der Validierung teilnehmenden ATCOs wurden entsprechende real existierende Sektoren mit realistischer Verkehrslast modelliert und in der Simulationsumgebung implementiert. Dabei galt, dass mindestens ein ATCO auf dem jeweiligen Sektor ausgebildet sein muss. Eine detaillierte Beschreibung der modellierten Sektoren ist im nachfolgenden Kapitel zu finden. Für die Durchführung der eigentlichen Validierung wurde eine Vergleichsmethodik, siehe Bild 1, gewählt. Dazu wurden zwei unterschiedliche Referenzszenarien mit einem Lösungsszenario verglichen. Zur nachfolgenden Bewertung wurden Radardaten analysiert und die Fluglotsenerfahrungen ausgewertet.

- **Referenz I:** Dieses Szenario soll die aktuelle Situation in der Flugsicherung darstellen. Ein ausgebildeter ATCO arbeitet auf einem ihm bekannten Sektor ohne den Einsatz von technischen Hilfsmitteln.
- **Referenz II:** Dieses Szenario soll eine fiktive Situation in der Flugsicherung darstellen. Ein ausgebildeter ATCO arbeitet auf einem ihm unbekanntem Sektor ohne klassisches OJT und ohne den Einsatz von technischen Hilfsmitteln.
- **Lösung:** Dieses Szenario soll die gewünschte Zukunftssituation in der Flugsicherung darstellen. Ein ausgebildeter ATCO arbeitet auf einem ihm unbekanntem Sektor ohne klassisches OJT mit dem Einsatz von technischen Hilfsmitteln zur Kompensation des fehlenden OJT.

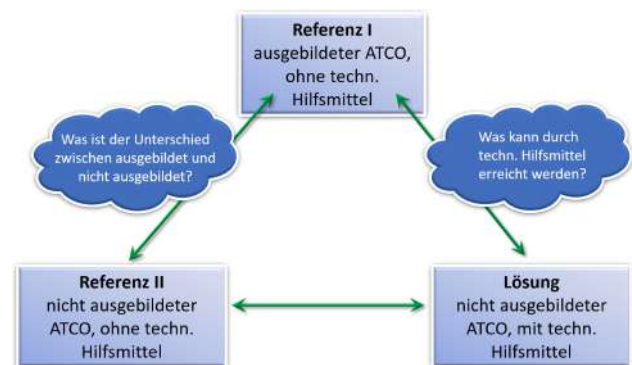


BILD 1. Schematische Darstellung des Validierungsansatzes; Definition von Referenz I, Referenz II und der Lösung

2.2. Simulationsumgebung und Simulationssetup

Als Simulationsumgebung wurde der Air Traffic Management and Operations Simulator (ATMOS) im Validierungszentrum Luftverkehr des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ausgewählt. Er stellt bis zu fünf Radarlotsen-Arbeitsplätze zur Verfügung, die frei konfiguriert werden können (siehe Bild 2).



BILD 2. ATMOS während der FALCO Versuche



BILD 4. Pseudopilotenplatz



BILD 3. Lotsenarbeitsplatz



BILD 5. Die drei implementierten Sektoren bzw. Sektorcluster; links rot = NICKY KOKSY, mitte grün = Celle, rechts blau = 6,7, Y

Für die Versuche im Rahmen des FALCO Projektes wurde ein Arbeitsplatz mit den im Projekt entwickelten technischen Hilfsmitteln erweitert [6], um die in der Validierungsmethodik geschilderte Fragestellung beantworten zu können (siehe Bild 3).

So wird einerseits dem ATCO ein so weit wie möglich standardisierter Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt, der ihn aber andererseits mit fortschrittlichen Komponenten unterstützt. Dabei kommuniziert er über eine simulierte Funkverbindung mit sogenannten Pseudopiloten, die die Steuerung der simulierten Luftfahrzeuge im Luftraum übernehmen (siehe Bild 4). Die Luftfahrzeuge werden mit dem Software-Paket NLR Air Traffic Control Research Simulator (NARSIM) in der Version 8.3 modelliert [7]. Dabei nutzt Narsim die Base of Aircraft Data (BADA) Referenz v.3.15 der Eurocontrol zur realistischen Modellierung der Leistungsdaten der einzelnen Luftfahrzeugtypen [8].

Zur Durchführung der benötigten Versuche wurden drei Sektoren beziehungsweise Sektor-Cluster im ATMOS implementiert (siehe Bild 5). Zwei von diesen liegen im Bereich des Maastricht Upper Area Control Centers (MUAC) in Mitteleuropa. Das ist zum einen der Sektor Celle (grün) und zum anderen sind es die zusammengefassten Sektoren NICKY und KOKSY (rot). Der dritte Sektor liegt im Bereich der schwedischen Luftverkehrskontrolle (LFV) über der

Ostsee und besteht aus einer Zusammenfassung der Sektoren 6, 7 und Y (blau). Alle Sektoren decken dabei den Bereich von Flugfläche 245 bis Flugfläche 660 ab. Die Verkehrsmenge in den jeweiligen Sektoren bzw. Sektorclustern wurde so ausgelegt, dass die Komplexität in den Sektoren vergleichbar ist und im unteren bis mittleren Bereich der jeweiligen Sektorkapazität liegt. Die Verkehrsdaten wurden intern von den jeweiligen Projektpartnern bereitgestellt.

2.3. Simulationsdatenanalyse

Zweck der Simulation war es, sowohl eine Bewertung der beteiligten ATCO als auch objektive Bewertungskriterien zu erhalten. Ersteres wurde durch den Einsatz verschiedener standardisierter Fragebögen (z.B. SHAPE (Solutions for Human Automation Partnerships in European ATM), SATI (SHAPE Automation Trust Index), CARS (Controller Acceptance Rating Scale), SUS (System Usability Scale)) [9–11] erzielt. Zusätzlich wurde das Instantaneous Self Assessment (ISA) System [12–14] genutzt, bei dem der ATCO in einem festen Zeitintervall seine wahrgenom-

mene Beanspruchung mit einem Wert zwischen eins (starke Unterlast) und fünf (starke Überlast) bewertet.

Als objektives Bewertungskriterium wurde die im Sektor beziehungsweise Sektorcluster zurückgelegte Strecke in der Simulation gemessen und der damit assoziierte Treibstoffverbrauch mit einem Modell berechnet. Der erste Ansatz dabei war, die Strecke zwischen dem Überfliegen der Sektorgrenze beim Einflug und beim Ausflug zu messen. Dieses Vorgehen ist auch für weit über 90% der Flüge korrekt und zwischen den Szenarien vergleichbar. Aber es gab Ausreißer, die gesondert betrachtet werden mussten.

In Bild 6 sind exemplarisch die Trajektorien eines Fluges in zwei unterschiedlichen Simulationsläufen im gleichen Szenario über der Ostsee in grau und gelb dargestellt. Der Flug führt vom Nordosten in den Südwesten. Der Eintrittspunkt in den Sektor ist für beide Flüge identisch, aber man kann erkennen, dass die Austrittspunkte trotz eines nur geringen Kursunterschieds zwischen den Trajektorien deutlich voneinander abweichen und so zu einer hohen Differenz der im Sektorcluster geflogenen Strecke führt. Um auch diese Flüge in die Bewertung aufnehmen zu können wird die zu messende Distanz bis zum nächsten außerhalb des Sektorclusters liegenden gemeinsamen Wegpunkt erweitert. In diesem Fall ist dies das Drehfunkfeuer (VOR) EEL in den Niederlanden. Da es sich um eine Simulation handelt, wird der Flugweg außerhalb des Sektors nicht weiter verändert und erfolgt entlang des Flugplans, weshalb jede Änderung selbst über große Distanzen direkt auf einen Eingriff des Lotsen zurückzuführen ist.

Neben lateralen Abweichungen traten in selten Fällen auch Höhenabweichungen zwischen den Trajektorien eines Fluges in unterschiedlichen Simulationsläufen auf, die zu einer abweichenden Bewertung der im Sektor geflogenen Strecke führte. So war es eine Aufgabe des ATCOs, Flüge, die an einem in der Nähe des Sektors liegenden Flughafen landen, rechtzeitig sinken zu lassen. Ein Beispiel hierfür ist der Flughafen Luxemburg (ELLX) östlich des NICKY-KOKSY Clusters. Während ein ATCO die Luftfahrzeuge auf Fluglevel 250 an den Nachbarsektor übergeben hat, hat ein anderer ATCO Luftfahrzeuge auch auf Fluglevel 240 sinken lassen, was dazu führte, dass der Sektor von diesen Luftfahrzeugen nicht an der lateralen Grenzen sondern an der Untergrenze verlassen wurde. Um diese Situationen gleich bewerten zu können wurde für diese Flüge nicht das Verlassen des Sektors nach unten sondern das Überfliegen der laterale Sektorgrenze als Endpunkt der gemessenen Flugstrecke gewählt.

Die Analyse der Simulationsdaten erfolgte dabei mit dem Programm Konstanz Information Miner (Knime) [15]. Es erlaubt sowohl eine manuelle Analyse durch die Bereitstellung von visuellen Darstellungen, wie zum Beispiel einer Kartendarstellung (siehe



BILD 6. Vergleich zweier Trajektorien (grau und gelb) des selben Fluges in unterschiedlichen Simulationsläufen im blau markierten Sektor (6,7,Y)

Bild 5, Bild 6), als auch verschiedenste statistische Auswertungen, wie beispielsweise einer Ausreißeranalyse. Auf diese Art lassen sich die oben geschilderten Sonderfälle detektieren und deren Auswertungen können entsprechend korrigiert werden, um eine Gesamtbewertung der Simulationsläufe durchzuführen.

2.4. Treibstoffberechnung

Für die ökologische Bewertung der Flüge in den Simulationsläufen wurde der Treibstoffverbrauch der Trajektorien berechnet, wodurch die einzelnen Läufe miteinander verglichen werden konnten. Da die Simulationsumgebung Narsim BADA v.3.15 für die Modellierung der Leistungsdaten nutzt, wurde für die Treibstoffberechnung ebenfalls die Datengrundlage BADA v.3.15 genutzt. Hierzu wurden die Trajektorien (Höhe, Fluggeschwindigkeit und weitere Parameter) aller Flugzeuge in den Simulationsläufen für jede Sekunde aufgezeichnet und anschließend automatisiert mittels des in Python implementierten Treibstoffmodells ausgewertet.

Das Treibstoffmodell verwendet die bereitgestellten Trajektorien zusammen mit den Leistungsdaten der Flugzeugtypen aus BADA v.3.15, um den Treibstoffverbrauch des Flugzeugs während des gesamten Fluges zu berechnen. Dabei wird für jede aufgezeichnete Trajektorien angenommen, dass sich das Flugzeug pro Zeitintervall (eine Sekunde) mit konstanter Geschwindigkeit und Flughöhe bewegt, wodurch mithilfe der BADA Performance-Files für jedes Zeitintervall ein Treibstoffverbrauch in Kilogramm berechnet werden kann. Auf der Grundlage des simulierten Verhaltens kalkuliert das Modell somit die Gesamtmenge des verbrauchten Treibstoffes für jeden Flug.

Wie auch bei der Auswertung der geflogenen Flugstrecke war es bei der Treibstoffberechnung ebenfalls bei einzelnen Flügen notwendig, die Trajektorie bis

zum nächsten gemeinsamen Punkt außerhalb des Simulationssektors zu verlängern (vgl. Bild 6), um eine Vergleichbarkeit sicherzustellen.

3. ERGEBNISSE

3.1. Safety

In Bild 7 sind vier Fragen aus den Fragebögen und ihre Ergebnisse auf einer Likert 7-Punkte Skala aufgetragen. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen. Generell fühlten sich die teilnehmenden ATCOs selbstbewusst im Umgang dem neuen Konzept. Die Simulationsdatenanalyse hat ergeben, dass die vorgegebenen Separationsabstände eingehalten wurden. Außerdem wurden die technischen Hilfsmittel als vorteilhaft im Hinblick auf Safety bewertet. Eine detaillierte Bewertung der technischen Hilfsmittel findet hier nicht statt. Eine detaillierte Beschreibung und Bewertung liefern [6, 16]. Darüber hinaus antizipierten einige ATCOs zukünftige Sicherheitsvorteile durch die technischen Hilfsmittel bei einer fachgerechten Nutzung. Festzuhalten bleibt, dass die unbekannte Arbeitsumgebung (unbekannter Sektor) die Sicherheit und das Situationsbewusstsein beeinflussen könnte. Daher sollte ein adäquates Training auf den flexiblen Sektorzuordnungen notwendig sein.

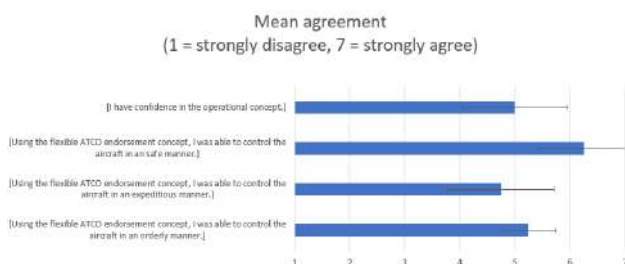


BILD 7. Teile der Fragebogenergebnisse zum Thema Safety und Human Performance

3.2. Human Performance

Das neu aufgestellte Konzept wurde von den ATCOs akzeptiert und schnell umgesetzt. Dabei haben die ATCOs die Methoden als ausreichend erfolgreich zur Bewerkstelligung von gängigen Tagesbedingungen (Operationen) bewertet. In diesem Zusammenhang ist aber eine gewisse Basis bzw. Grundkenntnis der Sektoren hilfreich. Die empfundene Arbeitsbelastung und das Situationsbewusstsein waren akzeptabel. Zum Schluss ließ sich feststellen, dass ATCO mit einem selbstbewerten höheren Level an Pflichtbewusstsein auffälligerweise eine durchschnittlich geringe Arbeitsbelastung bewertet haben. Diese Erkenntnis impliziert, dass ATCOs, welche auf verkehrstarken Sektoren normalerweise arbeiten und damit eine höhere kognitive Flexibilität aufweisen, besser für das neue Konzept der flexiblen Sektorallokation geeignet

sind.

3.3. Flugzeit innerhalb des Sektors

Ein erster gemessener Indikator zur Bewertung der Arbeitseffizienz ist die durchschnittliche Flugzeit innerhalb der lateralen Sektorgrenzen, von Einflug in den Sektor bis zum Ausflug aus dem Sektor. Wie vorab beschrieben, sind bei dieser Auswertung die Lage der Trajektorien bzw. der Ein- und Ausflugsunkte zu betrachten, um Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Simulationsläufen zu erreichen. Andernfalls existiert ein Risiko, dass sich große Schwankungen in den Messwerten aufgrund der geografischen Konstellation von Trajektorie und Sektorgrenze ergeben, was wiederum die Messung des eigentlichen Leistungsunterschiedes erschwert, bzw. diesen „maskiert“.

Bei der Betrachtung der Flugzeiten innerhalb des Sektors spielen zudem unterschiedliche Geschwindigkeiten eine Rolle, die sich aus der Nutzung unterschiedlicher Flugzeugtypen ergeben. Dies stellt ein weiteres Vergleichbarkeitsproblem zwischen einzelnen Szenarien dar und wird in dieser Auswertung weitgehend umgangen, indem dasselbe Verkehrsszenario im selben Sektor durch verschiedene Lotsen als Referenz I, Referenz II oder Lösung simuliert wird. Nur für den Nicky/Koksy-Sektor waren für diesen Vergleich alle benötigten Daten vorhanden.

Generell kann für Leistungsvergleiche dieser Art erwartet werden, dass das Referenz I - Szenario am besten abschneiden wird, da hierfür der ATCO umfassend trainiert wurde, sowie viele Stunden an Arbeitserfahrung auf diesem Luftraum besitzt. Für das Referenz II - Szenario kann erwartet werden, dass die Leistung des Lotsen hier am niedrigsten ist, da er weder Training noch Erfahrung auf genau diesem Luftraum besitzt, und auch sonst keine spezifischen Hilfsmittel (außer Standardfunktionen eines modernen Radarsystems) zur Verfügung hat. Das „Lösung“-Szenario sollte sich in der Leistungsbewertung erwartungsgemäß zwischen Referenz II und Referenz I aufhalten, wobei die Annäherung an Referenz I bzw. der Abstand zu Referenz II prinzipiell als Maß der Wirksamkeit der neuen Hilfsmittel verstanden werden kann.

Die entsprechende Auswertung der durchschnittlichen Flugzeiten pro Flug bei identischem Verkehrsszenario, jedoch jeweils von unterschiedlichen Personen simuliert als Referenz I, Referenz II oder „Lösung“, ist in Abbildung 8 dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die Unterschiede in den durchschnittlichen Flugzeiten im Sektor sich in allen drei Szenarien nur minimal unterscheiden, und sich in Größenordnungen unter 25s bewegen (entspricht etwa 3% der gesamten durchschnittlichen Flugzeit im Sektor). Dieser relativ kleine Unterschied zwischen

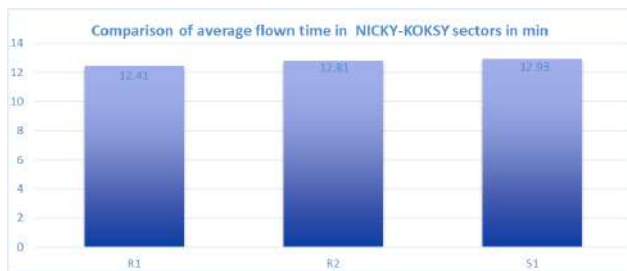


BILD 8. Durchschnittlich geflogenen Zeit im Nicky-Koksy Sektor

Referenz I, Referenz II und „Lösung“ erschwert wie oben beschrieben eine verlässliche Auswertung, da nicht sicher gesagt werden kann, ob diese sehr kleinen Unterschiede tatsächlich auf das Vorhandensein von Ausbildung / Erfahrung oder von neuen technischen Hilfsmitteln zurückzuführen sind, oder sich bereits beispielsweise aus der unterschiedlichen, gewohnten Arbeitsweise der involvierten Lotsen ergeben.

Dennoch zeigt die Auswertung erwartungsgemäß für das Referenz I-Szenario die besten Ergebnisse, während Referenz II und „Lösung“ schlechter und vergleichbar abschneiden. Der Wert für das „Lösung“-Szenario ist sogar noch einmal minimal schlechter. Für Letzteres bleibt es jedoch aus genannten Gründen eher spekulativ, ob dies ein realer Effekt aufgrund der Bedienung neuer technischer Hilfsmittel ist oder nicht.

Mögliche Schlussfolgerungen aus diesen Ergebnissen können sein:

- Die im „Lösung“-Szenario verwendeten Hilfsmittel scheinen im Vergleich zu Referenz II zu keiner nennenswerten Leistungsverbesserung im Hinblick auf diesen Indikator zu führen, was dennoch akzeptabel sein kann, wenn entweder für andere Leistungsindikatoren eine Verbesserung vorliegt, oder die verwendeten Hilfsmittel überhaupt zu einer Umsetzbarkeit / Zertifizierbarkeit flexibler Einsatzberechtigungen führen.
- Der ermittelte Unterschied zwischen Referenz I und Referenz II fällt sehr gering aus, was darauf schließen lässt, dass eine umfassende allgemeine Ausbildung, ausreichend Erfahrung in anderen Sektoren sowie die heutzutage standardmäßig zur Verfügung stehenden Hilfsmittel, wie z.B. Konflikterkennung, Trajektorienanzeige, Anzeige wesentlicher Wegpunkte oder Frequenzen etc., den Lotsen bereits unter bestimmten Bedingungen in die Lage versetzen, ohne signifikanten Leistungseinbruch auch in einem ihm weitgehend unbekanntem Sektor sicher zu arbeiten.

3.4. Flugdistanz innerhalb des Sektors

Eine weitere, ähnliche Auswertung wurde für die durchschnittliche Flugdistanz im Sektor durchgeführt.

Die entsprechenden Ergebnisse sind in Abbildung 9 dargestellt.

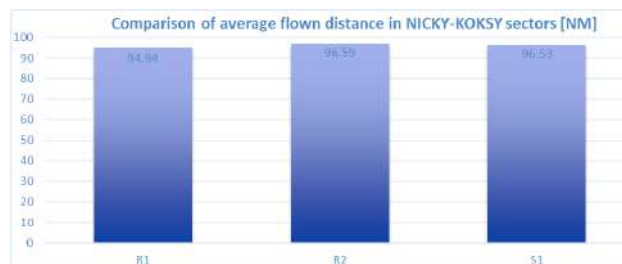


BILD 9. Durchschnittlich geflogene Distanz im Nicky Koksy Sektor

Auch hier zeigen sich im Durchschnitt relativ kleine Unterschiede von weniger als 0,7NM, was weniger als 1% der insgesamt im Sektor durchschnittlich geflogenen Distanz entspricht. Dadurch wird auch hier eine wissenschaftliche Auswertung erschwert, und fundierte Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der neuen Hilfsmittel sind in gleicher Weise eher spekulativ.

Jedoch zeigt sich hier das erwartete Verhalten, dass Referenz I am besten, Referenz II am schlechtesten, und „Lösung“ zwischen Referenz I und Referenz II abschneiden. Die bereits erwähnten Schlussfolgerungen aus der vorherigen Analyse der durchschnittlichen Flugzeiten scheinen sich auch für die durchschnittlichen Flugdistanzen zu bestätigen.

3.5. Treibstoffverbrauch

Die Auswertung des Treibstoffverbrauches ergab unterschiedliche Ergebnisse für die einzelnen Sektor-Cluster. Im Celle-Cluster konnte bei allen Simulationsläufen mit dem Lösungs-Szenario eine leichte Verringerung des durchschnittlichen Treibstoffverbrauches von etwa 1% im Vergleich zum Referenz-Szenario und demnach auch ein entsprechend geringerer CO₂-Ausstoß festgestellt werden, siehe Bild 10. In Verbindung mit der Auswertung der geflogenen Distanzen im Sektor, bei denen die Lösungs-Szenarien eine größere geflogene Distanz im Sektor aufweisen, deutet dies darauf hin, dass die geflogenen Trajektorien in den Lösungsszenarien im Celle-Cluster zwar länger, aber ökologisch effizienter waren. Im Gegensatz dazu zeigte das Lösungs-Szenario im Sektor Nicky-Koksy eine Steigung des Treibstoffverbrauches im Vergleich zum Referenz-Szenario um etwa 3%, siehe Bild 11, sodass keine Verbesserung der ökologischen Effizienz der Trajektorien deutlich wird.

3.6. Simulationserkenntnisse aus der Validierung

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass es wichtig ist, das Gesamtsystem so identisch wie möglich zum gewohnten ATCO System zu halten. Die technischen Hilfsmittel können zu gewissen Maße die fehlenden

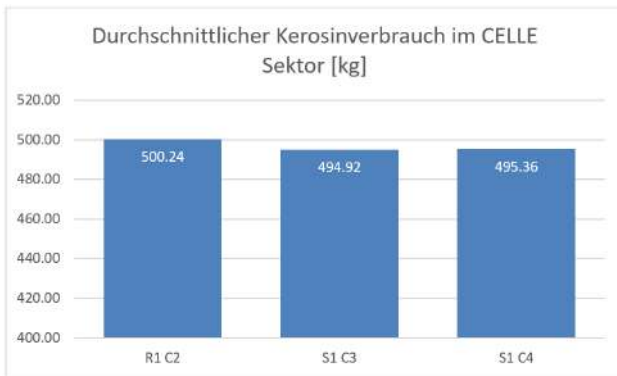


BILD 10. Durchschnittlicher Treibstoffverbrauch im Celle-Cluster

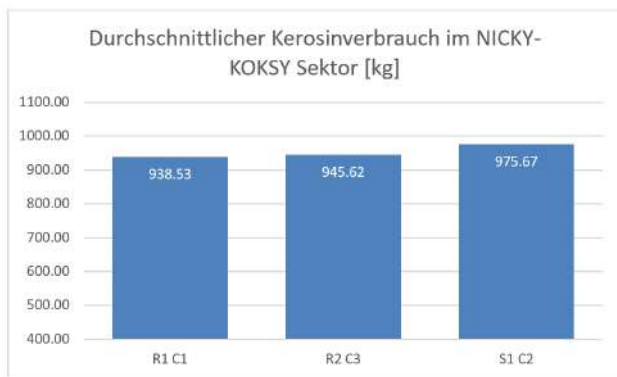


BILD 11. Durchschnittlicher Treibstoffverbrauch im Nicky-Koksy-Cluster

Sektorkenntnisse (kein OJT) kompensieren, sind aber nicht der Schlüssel zum Erfolg. Weiterhin sollten ATCOs das gegenwärtig gängige OJT durchführen, Erfahrungen auf ihrem ausgebildeten Sektoren sammeln und dann am FALCO Konzept teilnehmen. Eine direkte Teilnahme ohne generelles OJT und Arbeitserfahrungen ist nicht zu empfehlen. Außerdem sollte das Konzepttraining erst auf einem Sektor erfolgen, der eine niedrige Komplexität aufweist, welche dann gesteigert werden kann. Gleiches gilt für die Verkehrslast, empfohlen wird beispielsweise eine liminierte Verkehrslast von 60% der maximalen Sektorkapazität.

Im Hinblick auf den neuen Simulationsansatz lässt sich festhalten, dass hierdurch eine erste Grundlage zur Vergleichbarkeit unterschiedlicher Sektoren geschaffen wurde und damit erste Ergebnisse erzielt werden konnten. Die Simulation dreier Sektoren hat dennoch gezeigt, dass einige Besonderheiten betrachtet werden müssen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erzielen. Als erstes ist zu empfehlen, dass die zu modellierenden Sektoren eine ähnliche Komplexität aufweisen, um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Die Bewertung der Sektorkomplexität kann einerseits durch die vorhandene Verkehrslast als auch andererseits durch die geometrischen Abmessungen der Sektoren und deren Komplexität zu den angrenzenden Sektoren bewertet werden. Außerdem sollte während

der Analyse der Simulationsdaten beachtet werden, dass vor allem im Streckenflugbereich Sonderfälle auftreten können. Daher sollten die Trajektorien der Luftfahrzeuge jeweils auf laterale als auch vertikale Abweichungen zu den Sektorgrenzen vorher geprüft werden, bevor die Flugzeit als auch Flugdistanz berechnet wird. Luftfahrzeuge, die innerhalb des Sektors in den unteren Luftraum geführt werden, sollten aus der Simulationsdatenanalyse gefiltert werden, da sie sonst die Ergebnisse stark beeinflussen können. Zur Berechnung der Flugdistanz hat sich als probates Mittel herausgestellt, einen gemeinsamen Wegpunkt zu finden, welcher auch außerhalb des Sektoren liegen kann, und bis zu diesem die Berechnung zu erweitern. Damit kann die Gesamtlänge sowie der damit verbundene prozentualen Veränderung verglichen werden.

Für zukünftige Projekte sollte der Simulationsansatz von drei vergleichbaren Sektoren noch erweitert werden. Denkbar ist eine Erweiterung der Anzahl von Sektoren oder der Dauer von Simulationsszenarien. Außerdem ist eine Erweiterung der Komplexitätsberechnung hinsichtlich festgelegten Parametern (Anzahl Sektorgrenzen, Nähe zu internationalen Flughäfen,...) denkbar.

Kontaktadresse:

nils.ahrenhold@dlr.de

Literatur

- [1] JOAN LOWY. Report: Faa not prepared for major air traffic outages, 2017. Letzter Zugriff: 08 August 2023. <https://apnews.com/article/186186bb42744149a44b27cbedd47c52>.
- [2] Crisis24. France: Air traffic controllers' strike announced in marseille area control center june 25-27, 2022. Letzter Zugriff: 08 August 2023. <https://crisis24.garda.com/alerts/2022/06/france-air-traffic-controllers-strike-announced-in-marseille-area-control-center-june-25-27>.
- [3] Gary Parkinson. Polish flight chaos looms amid air traffic controllers dispute, 2022. Letzter Zugriff: 08 August 2023. <https://newseu.cgtn.com/news/2022-04-26/Polish-flight-chaos-looms-amid-air-traffic-controllers-dispute-19ygENn7R9C/index.html>.
- [4] Aviation Direct. Air traffic controllers union warns of numerous failures in summer 2022, 2022. Letzter Zugriff: 08 August 2023. <https://aviation.direct/en/air-traffic-controllers-union-warns-of-numerous-failures-in-summer-2022>.
- [5] SESAR JU. Flexible ATCO Endorsements and LDACS Complements (PJ33-W3 FALCO). Grant Agreement number 101017479, 2021.
- [6] Michael Finke Andreas Pick Nils Ahrenhold Rabeb Abdellaoui, Izabela Stasicka. Supporting

Air Traffic Controllers in handling sector specific tasks, enabled by the use of the Boundary Arrival Task Manager. 42nd Digital Avionics Systems Conference (DASC), Barcelona, Oct 2023.

- [7] J. M. Ten Have. The development of the NLR ATC Research Simulator (Narsim): Design philosophy and potential for ATM research. *Simulation Practice and Theory* 1.1, June 1993.
- [8] Nuic A. Base of aircraft data (bada) product management document. EEC Technical Report 008, EUROCONTROL, Brussels, Belgium, 2009.
- [9] D. M. Dehn. Assessing the impact of automation on the air traffic controller: the shape questionnaires. *Air Traffic Control. Q.*, Apr 2008.
- [10] EURCONTROL. Situation awareness for shape (sasha). Letzter Zugriff: 28 September 2022. <http://ext.eurocontrol.int/ehp/?q=node/1609>.
- [11] John Brooke. System usability scale (sus). Letzter Zugriff: 15 August 2023. <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html>.
- [12] L. Donohoe A. Kilner T. Lamoureux T. Atkinson H. MaxKendrick B. Kirwan, A. Evans. Human factors in the atm system design life cycle. In *Proceedings of the FAA/Eurocontrol ATM R&D Seminar*, (Saclay, France), June 1997.
- [13] EUROCONTROL. Instantaneous Self Assessment of Workload (ISA). Letzter Zugriff: 28 September 2022. <https://ext.eurocontrol.int/ehp/?q=node/1585>.
- [14] A. J. Tattersall; P.S. Foord. An experimental evaluation of instantaneous self-assessment as a measure of workload. *Ergonomics*, 1996.
- [15] M. R. Berthold et al. Knime-the konstanz information miner: version 2.0 and beyond. *AcM SIGKDD explorations Newsletter*, 11(1), 2009.
- [16] Nils Ahrenhold, Hartmut Helmke, Thorsten Mühlhausen, Oliver Ohneiser, Matthias Kleinert, Heiko Ehr, Lucas Klamert, and Juan Zuluaga-Gómez. Validating automatic speech recognition and understanding for pre-filling radar labels—increasing safety while reducing air traffic controllers’ workload. *Aerospace*, 10(6):538, 2023.