

[illegible]

- Zukunftsszenario Flugsicherung
- VISION
- Spacing Assistant for Leipzig and Munich Approach
- Human Interface Devices (HID)
- Mode N - A promising Approach for future Navigation
- Free Route Airspace im unteren Luftraum während der Nacht

Inhaltsverzeichnis

Zukunftsszenario Flugsicherung: Wie werden Fluglotsen im Jahr 2035 (wahrscheinlich) arbeiten?	6
Eliana Haugg, Jörg Buxbaum, Eric Läntzsch, Anna Lübberstedt, Laura Stanke, Steffen Strobl, Elias Tontsch, Franziska Trautvetter, Karoline Trull-Olitzscher & Jan-Christoph Wagner	
VISION - Vernetzte integrierte UAS-gestützte Datenerfassung und -aufbereitung für die Unterstützung von BOS im Bevölkerungsschutz	20
Andreas Udovic & Douwe Lambers	
Spacing-Assistant for Leipzig and Munich Approach	25
Eliana Haugg & Jens Konopka	
Human Interface Devices (HID) - Zuverlässigkeit in der Flugverkehrskontrolle	34
Melanie Vukas (Hochschule Karlsruhe -Technik und Wirtschaft)	
Mode N – A promising Approach for future Navigation	38
Steffen Marquard (DFS), Volker Görldt (DFS), Morten Grandt (DFS), Felix Butsch (DFS), Franz Madritsch (IECM) & Frank Adam (WTD 61)	
Free Route Airspace im unteren Luftraum während der Nacht	48
Dennis Pietrzik, Jan Höra & Toni Jahn	

Die Autoren sind, soweit nicht anders gekennzeichnet, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der DFS. Die Rechte an den Artikeln liegen bei den jeweiligen Autoren.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

Übersicht der Artikel in diesem Heft

Eliana Haugg, Jörg Buxbaum, Eric Läntzsch, Anna Lübberstedt, Laura Stanke, Steffen Strobl, Elias Tontsch, Franziska Trautvetter, Karoline Trull-Olitzscher & Jan-Christoph Wagner: Zukunftsszenario Flugsicherung: Wie werden Fluglotsen im Jahr 2035 (wahrscheinlich) arbeiten? – Zahlreiche technische Entwicklungen, die in der DFS-Strategie 2030 verankert sind, werden die Arbeit der Lotsen im nächsten Jahrzehnt prägen. Aber wie genau eigentlich? Was wird es bringen, wenn in Zukunft genauere Wetterdaten zur Verfügung stehen, mehr Daten von den Flugzeugen erfasst werden und bessere Flugwegprognosen verfügbar sind? Mit diesen für die DFS hochrelevanten Fragen beschäftigt sich der Artikel „Zukunftsszenario Flugsicherung: Wie werden Fluglotsen im Jahr 2035 (wahrscheinlich) arbeiten?“ Im Rahmen von Workshops mit Lotsen aus München und Langen entstand ein Szenario-Writing, das beispielhaft mögliche technisch-betriebliche Auswirkungen auf den Lotsenalltag illustriert. Der Artikel spiegelt eine spannende, attraktive, mögliche Zukunft wider – beginnend beim morgendlichen Kaffee zuhause bis hin zum Dienst in der Nachtschicht.

Andreas Udovic & Douwe Lambers: VISION – Vernetzte integrierte UAS-gestützte Datenerfassung und -aufbereitung für die Unterstützung von BOS im Bevölkerungsschutz – Im Projekt VISION unterstützen unbemannte Luftfahrtsysteme (Unmanned Aircraft Systems, UAS) bei Einsätzen von Rettungskräften mit Live-Lageinformationen. Das Projekt VISION wurde im Rahmen der Innovationsinitiative mFUND durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert. Das Projekt begann am 1.1.2019 und endete am 31.12.2021. Ziel des Projektes war es, den Nutzen von unbemannten Luftfahrtsystemen für den konkreten Feuerwehreinsatz zu demonstrieren.

Eliana Haugg & Jens Konopka (Artikel in Englisch, Deutsche Zusammenfassung): Spacing-Assistent for Leipzig and Munich Approach – Zur Validierung eines neuen Lotsen-Unterstützungstools für den Endanflug wurden objektive und subjektive Daten in einer Echtzeitsimulation mit vier Fluglotsen aus Leipzig und München erhoben. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Spacing-Assistent die mentale Beanspruchung verringert und das Situationsbewusstsein sowie die Vorplanung der Lotsen unterstützt. Bei der Übernahme einer Arbeitsposition zeigt sich das Potential Kapazität einzusparen, indem den Lotsen dabei geholfen wird, sich schnell mit der Situation vertraut zu machen. Des Weiteren kann der Spacing-Assistent dazu beitragen, den Start- und Landebahndurchsatz auch bei schlechtem Wetter zu stabilisieren. Bei der Arbeit mit dem Spacing-Assistenten war der Endanflug kürzer, was auf eine geringere Umwelt- und Lärmbelastung hindeutet.

Melanie Vukas (Hochschule Karlsruhe -Technik und Wirtschaft): Human Interface Devices (HID) – Zuverlässigkeit in der Flugverkehrskontrolle – Der vorliegende Artikel befasst sich mit der Arbeitsweise und dem Ausfallrisiko von Human Interface Devices (HID) in der Flugverkehrskontrolle. Im Verlauf des Dezembers 2021 wurden bei der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH am Standort Karlsruhe mehr als 48 defekte Computermäuse von Fluglotsen ausgetauscht und anschließend entsorgt. Um die hohe Ausfallrate von Computermäusen zu untersuchen, wurde ein automatisierter Teststand entwickelt. Dieser dient zur Problemeingrenzung und soll in Zukunft auch zur Untersuchung neuer Computermäusemodelle dienen. Der Teststand führt das Klicken einer Computermaus automatisiert durch, bis diese ein Fehlverhalten aufweist. Neben der im Rahmen dieser Arbeit getesteten Computermaus, ermöglicht der flexible Aufbau des Teststandes die Untersuchung von anderen Computermäusemodellen. Diese Untersuchung kann, durch ihre einfache Bedienung, von nicht fachkundigem Personal durchgeführt werden. Die Verwendung eines Minicomputers ermöglicht die Durchführung ohne zusätzliche Endgeräte. Um zukünftige Ergebnisse des Teststandes vergleichen zu können, werden von den Fluglotsen zusätzlich Statistiken bezüglich des Nutzungsverhaltens der Computermäuse erhoben. Die Statistiken geben Aufschluss über die durchschnittliche Benutzung der jeweiligen Maustasten an ausgewählten verkehrsreichen Wochentagen.

Steffen Marquard (DFS), Volker Görldt (DFS), Morten Grandt (DFS), Felix Butsch (DFS), Franz Madritsch (IECM) & Frank Adam (WTD 61) (Artikel in Englisch, Deutsche Zusammenfassung): Mode N – A promising Approach for future Navigation – Mode N – Mode Navigation – ist ein neues Konzept für ein bodengestütztes System zur Bereitstellung eines Navigationsdienstes für die zivile und militärische Luftfahrt, das gemeinsam von der Deutschen Flugsicherung (DFS), der Wehrtechnischen Dienststelle für Luftfahrzeuge und Luftfahrtgerät der Bundeswehr (WTD 61) und dem Engineering- Partner Interdisciplinary Engineering Consultants Madritsch (IECM) entwickelt wurde. Mode N ist ein terrestrisches System, das auf Signalformaten des Sekundär-radars basiert und eine A-PNT-Fähigkeit (Alternative Positioning, Navigation and Timing) zur Sicherstellung von Navigationsdiensten bei Ausfall globaler Navigationssatellitensysteme bietet. Mode N verbindet maximale Spektrumeffizienz und Abwärtskompatibilität zu Legacy-Systemen. Es erlaubt einen einfachen Übergang von Navigation auf Basis von Entfernungsmessgeräten (DME) hin zu Navigation auf Basis von Mode N. Mode N ist rückwärts kompatibel zu DME und ermöglicht einen einfachen Austausch der Avionik, ohne an ein festes Umrüstungsdatum gebunden zu sein. Somit hat Mode N das Potenzial, die derzeit verwendeten DME zu ergänzen und zukünftig zu ersetzen. In diesem Beitrag werden die Beweggründe für die Entwicklung von Mode N, das Systemkonzept und der erwartete Nutzen beschrieben. Darüber hinaus wird aufgezeigt wie internationale Partner in ein gemeinsames weiteres Vorgehen eingebunden sind.

Dennis Pietrzik, Jan Höra & Toni Jahn: Free Route Airspace im unteren Luftraum während der Nacht – Der Artikel berichtet über die Ergebnisse des Projektes mit dem Akronym FRAGMENT. Ziel war es, die Frage nach der Machbarkeit eines Free Route Airspace (FRA) im deutschen unteren Luftraum während der Nacht zu untersuchen. Da die Antwort auf diese Frage negativ ausfiel, befasste sich das Projekt – über den ursprünglichen Umfang hinaus – mit der Entwicklung einer alternativen Lösung, die beinhaltet Conditional Routings (CDRs) auf den verkehrsreichsten Strecken in der Nacht einzuführen. Für die hier betrachteten Nachtstrecken ist dies eine einfache, kurzfristig umsetzbare Alternative, die mit minimalem Aufwand sowohl wirtschaftliche Vorteile als auch Einsparungen bei den Kohlendioxidemissionen durch kürzere Flugrouten erzielt. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Alternative nicht beliebig skaliert werden kann. Weitere Einschränkungen wie auch Ansatzmöglichkeiten für weiterführende Untersuchungen werden diskutiert.

Zukunftsszenario Flugsicherung: Wie werden Fluglotsen im Jahr 2035 (wahrscheinlich) arbeiten?

Eliana Haugg, Jörg Buxbaum, Eric Lüntzsch, Anna Lübberstedt, Laura Stanke, Steffen Strobl, Elias Tontsch, Franziska Trautvetter, Karoline Trull-Olitzscher & Jan-Christoph Wagner

Einleitung

Die Strategie der DFS Deutschen Flugsicherung GmbH sieht eine langfristige Änderung der Arbeitsweisen von Fluglotsinnen und Fluglotsen sowie ihrer Aufgaben und Rollenverteilungen bei der Flugverkehrskontrolle vor. Getrieben durch neue technische Möglichkeiten im Bereich der Lotsenassistenz sollen sie in Zukunft mehr verkehrsstrombasiert arbeiten und auf einfachere Art möglichst optimale individuelle Flugwege ermöglichen.

Um handhabbare, mögliche Eckpfeiler dieser zukünftigen Arbeitsweise sichtbar zu machen, entstand ein Scenario-Writing, dessen wesentliche Inhalte auf Ergebnissen aus Lotsenworkshops im November 2022 an der Kontrollzentrale München und im Februar 2023 an der Kontrollzentrale Langen basieren. Dieses Papier soll u.a. Impulse sowohl für die lückenlose Beschreibung des avisierten „Air Traffic Managers 2035“ wie auch konkrete Ideen für nötige Lotsenassistenzsysteme liefern, deren Entwicklung und Weiterentwicklung ebenfalls in der Strategie als eigenständiges Maßnahmenpaket (I1 „Zielgerichtete Automatisierung in operativen Assistenzsystemen entwickeln“) beschlossen wurde. Die enthaltenen Illustrationen sind freie grafische Interpretationen auf Basis von Textinhalten.

Methode

In den Workshops wurden den Teilnehmenden Plakate zur Illustration betrieblicher Situationen aus dem Lotsenalltag präsentiert. Die Themen deckten auch die in der Strategie der DFS beschriebenen Tätigkeitsfelder von Fluglotsen und Fluglotsinnen ab (Punkte 1–5).

1. Situationsbewusstsein erstellen und Handlungsbedarf ableiten
2. Taktischen Plan zur optimalen Verkehrsabwicklung erstellen
3. Konflikterkennung und Konfliktlösung
4. Anweisungen geben, Systemeingaben tätigen, Ausführung überwachen

5. Koordination mit Nachbarunits, Übergabe

6. (Adaptierbare) Automation

7. Sonstiges

Im Workshop in Langen kam ein zusätzliches Plakat zum Thema Rollenkonzepte hinzu.

In einer „Toolbox“ wurden 16 Karten mit technischen Enablern bereitgestellt, deren Verfügbarkeit und Betrieb bis 2035 von DFS-Experten verschiedener Bereiche als realistisch eingeschätzt wurde und die in der Strategie der DFS enthalten sind.

Darunter waren beispielsweise:

- die vermehrte Verfügbarkeit von luftfahrzeugspezifischen Daten,
- eine verbesserte Trajektorienprognose,
- Bord-Boden Kommunikation per schnellem, digitalem Datalink sowie
- der Einsatz von künstlicher Intelligenz in ausgewählten Anwendungsbereichen.

Im Vorfeld der Workshops erhielten die Teilnehmenden ein etwa halbstündiges Briefing in Form einer besprochenen Powerpoint-Präsentation und bearbeiteten eine freiwillige Umfrage.

In den etwa zweistündigen Workshops wurden jeweils ca. 15 Minuten für jedes Tätigkeitsfeld/Thema aufgewendet. Mit Hilfe von Post-It-Zetteln wurden die Visionen, Ideen und beschriebenen Abläufe der Lotsinnen und Lotsen erfasst und passende technische Enabler aus der Toolbox hinzugefügt. Auf Basis der bearbeiteten Plakate wurden im Anschluss die folgenden Zukunftsszenarien ausgearbeitet. Die Szenarien reflektieren hierbei nicht die Lotsenarbeit in allen Aspekten, sondern geben vielmehr Schlaglichter auf mögliche zukünftige Entwicklungen. Die Illustrationen stammen von den Autoren, teilweise unterstützt von Entwürfen des KI-Bildgenerators Craiyon (vormals DALL·E mini) und DALL·E2 von OpenAI.

Zukunftsszenarien „Wie werden wir 2035 (wahrscheinlich) arbeiten?“

Das Scenario-Writing wurde in Anlehnung an die Szenariotechnik nach Albers und Broux (1999)[1], erstellt. Im Gegensatz zu Prognosen, denen messbare Daten und Tendenzen zu Grunde liegen, unterstützt das kreative Scenario-Writing einen offenen Brain-storming-Prozess, der unterschiedliche Bilder der Zukunft entwirft. Zwar lässt sich die Zukunft nicht vorhersehen, jedoch können aus Innovationen und technischen Entwicklungen der Gegenwart heraus mögliche Zukunftsszenarien abgeleitet werden. In unterschiedlichen Szenarien werden Visionen anschaulich beschrieben und zusammenhängend dargestellt. Diese können dazu dienen, Entscheidungen über zukünftige Entwicklungen, Planungen und Strategien zu unterstützen. In anderen Elementen nimmt das Scenario-Writing Anleihen einer Regnose. In einer Regnose geht der Blick aus einem wahrscheinlichen Morgen zurück in die Vergangenheit, unter Betrachtung des Weges dorthin. Regnosen kräftigen den Blick auf Lösungen, statt – wie z.B. häufig bei Prognosen sichtbar – existierende Probleme und Einschränkungen in die Zukunft zu projizieren.

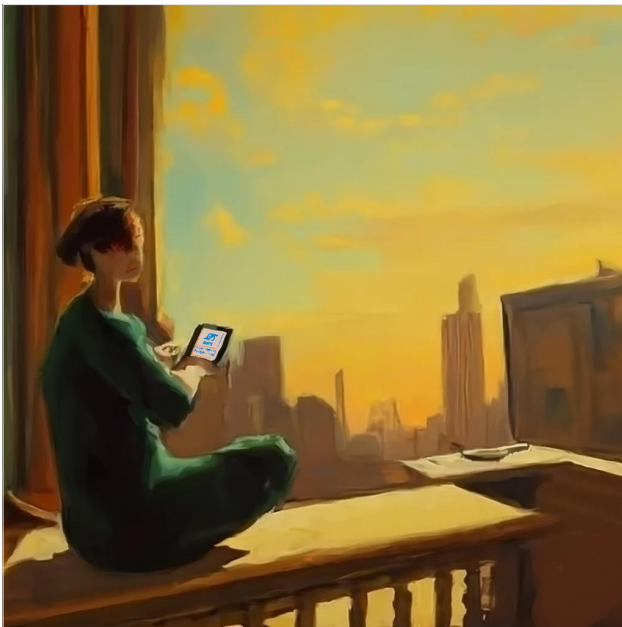


Abbildung 1: Einstieg in das Szenario – Briefing beim Morgenkaffee.

Szenario 1: Lower Airspace München

Ich sitze mit einem Kaffee auf dem Balkon in der Morgensonne. Per Push-Nachricht aufs Handy habe ich vor einer Stunde die Anfrage bekommen, ob ich

meinen Dienst heute eine halbe Stunde später beginnen kann, was ich in der DFS-App nach einem Blick auf meinen Familienkalender bestätigt habe. Passt. Ich checke meinen Dienst- und Pausenplan und markiere, wie gut mir die Zeiten in meinen Tagesablauf passen, um dem System Gelegenheit zu geben, aus meinen Präferenzen langfristig zu lernen. Alternativ kann ich weiterhin den Dienstplan über Mitarbeiterkalender (MIKA) abrufen und Änderungsbenachrichtigungen per E-Mail empfangen. Heute werde ich im Bereich „Tegernsee“ arbeiten, gestern war ich verantwortlich für Sektoren im Bereich „Algoi“ im Norden der Zuständigkeit der Kontrollzentrale München. Seit wir kaum mehr reine Zulassungen basierend auf EGBen haben, sondern zunehmend eine Systemzulassung für deutlich größere Regionen, ist meine Arbeit abwechslungsreicher geworden.

Das Briefing erledige ich auch gleich. Über die DFS-App habe ich jederzeit die Möglichkeit, Briefingunterlagen, aber auch die aktuelle Verkehrslage oder Wetter einzusehen oder mir vorlesen zu lassen. Für heute Abend ist noch ein Gewitter mit eingelagerten Hagelgebieten vorausgesagt. Die räumliche Darstellung von Hagelgebieten, Icing und Blitzen auf dem ASW erleichtert uns seit kurzem sehr, die Flugzeuge um potenziell gefährliche Zonen herumzuführen. Bereits 20 Minuten vorher schlägt das System KI-gestützte, alternative Routenführungen vor, mit erstaunlich guten Resultaten. Die Hektik von früher in solchen Situationen ist Vergangenheit.



Abbildung 2: Mögliche DFS-App mit Informationen zu Verkehrsbelastungen, Schichtzeiten, Wetter.

Ich fahre mit der S-Bahn, die seit 2030 alle drei Minuten fährt, zur Niederlassung. Die Sicherheitstür öffnet sich berührungslos und automatisch, ich gehe durch einen Bodyscanner und betrete den Eingangsbereich. Auf einem großen Monitor sehe ich auf einen Blick die Verkehrslage, Wetter und Informationen über besondere Bedingungen. Ich sehe auch per

Kürzel, wer wann auf benachbarten Positionen arbeitet und freue mich auf die abzusehende, gute Teamarbeit.

Im Betriebsraum komme ich an der R&D-Arbeitsposition vorbei, an der einige Kolleginnen und Kollegen stehen. Offensichtlich gibt es mal wieder etwas Neues aus dem Forschungsbereich. An dieser abgesetzten Arbeitsposition werden seit 2028 neue Features im Shadowmode erlebbar gemacht und wir können uns mit Kollegen aus dem Forschungsbereich regelmäßig dort austauschen – persönlich vor Ort oder per Teams. So können wir frühzeitig Zukunftsthemen kennenlernen, erste Erfahrungen damit sammeln und unsere Perspektiven in die Entwicklung einfließen lassen. Ich trete hinzu. Gezeigt werden am aktuellen Live-Traffic, welche sektorübergreifenden, potenziellen Konflikte in den nächsten 10 bis 20 Minuten von einem KI-gestützten Algorithmus erkannt werden – samt der Eintrittswahrscheinlichkeit und Lösungsvorschlägen. Beim Zuschauen sehe ich, wie sich die Wahrscheinlichkeiten stetig ändern und die meisten Konflikte spätestens bei einem Vorlauf von 10 Minuten verschwunden sind – weil die Lotsen entsprechende Anweisungen Lösungsvorschläge implementiert haben.

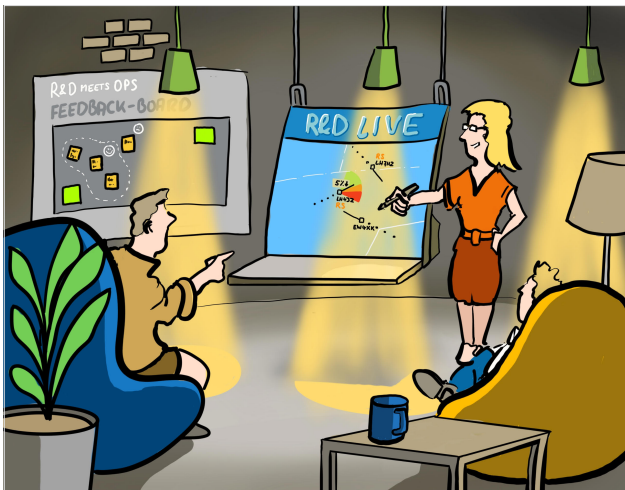


Abbildung 3: Demo-R&D-Position am Rand des Betriebsraums mit Live-Präsentationen neuer Entwicklungen sowie der Möglichkeit zum „Ausprobieren“ und Feedbackgabe.

Jetzt geht es erstmal an den Arbeitsplatz. Die Kollegin übergibt mir die Co-Position und macht mich auf zwei Flugzeuge aufmerksam, deren Staffelnung ich im weiteren Verlauf beobachten muss. Das eine ist eines der neuartigen Wasserstoffflugzeuge. Ziel bei der Flugführung ist auch, diese Maschine nicht in einen Abgasstrahl von konventionellen Flugzeugen zu führen, damit die enormen Wasserdampfabgase

des einen Flugzeugs nicht auf die Rußpartikel der kerosingetriebenen Maschine treffen und klimaschädliche Eiswolken bilden. Das System macht mir dabei einen Vorschlag zur Flugführung, unter Berücksichtigung des Windfelds, das die Contrails verweht.

Ich logge mich mit POLO ADVANCED ein und sofort werden meine personalisierten Einstellungen abgerufen: Bildschirmskalierung, Helligkeit, Label-Inhalte und meine Standardeinstellungen für Unterstützungstools erscheinen auf dem ASW. Auf diesem großen, hochauflösenden und randlosen Bildschirm sind alle für mich relevanten Systeme in benutzerfreundlicher Weise integriert und alle wichtigen Informationen einfach abrufbar. Ein guter Überblick ist wichtig, da unser Arbeitsplatz im Vergleich zu früher höher automatisiert ist und wir tendenziell mehr Monitoringaufgaben haben als früher. Ganz wichtig ist mir, dass wir bei unserer Arbeit weiterhin kreative Lösungen umsetzen und auch bei der Nutzung von Unterstützungstools immer die letzte Entscheidung und Verantwortung für unser Handeln haben.

Der Verkehr läuft smooth und ich beschließe, möglichst vielen Piloten einen CDO-Anflug anzubieten. Seit die Bord-Boden-Systeme alle relevanten Daten austauschen und flexible Übergabefenster zwischen Sektoren aller Kontrollzentralen etabliert sind, ist das viel öfter möglich. Ich erinnere mich, wie das Verfahren entwickelt wurde. 2026 wurde für Anflüge aus Nordwesten auf München ein „CDO-Koordinator“ etabliert. Eine Position, deren Aufgabe einzig darin bestand, im Austausch mit Airline-Dispatch und den einzelnen Sektoren eines Anflugs zu sein und zu arrangieren, dass bei bestimmten Anflügen ab TOD ein CDO umgesetzt wird – konfliktfrei und ohne nennenswerte Zusatzbelastung der Streckenlotsen. Über drei Jahre war diese Position besetzt, parallel fand eine Systementwicklung statt, die diese CDO-Koordination automatisieren helfen sollte. Schließlich wurde 2032 das System in Betrieb genommen, das sektorübergreifend für ausgewählte Flüge ein CDO-Verfahren arrangiert. Als langfristiges Ziel hat sich die DFS gesetzt, 35% Prozent aller Anflüge auf Hubflughäfen als CDO ab TOD zu führen, 50% auf den weniger frequentierten Airports.

Also ran ans Werk. Zuerst prüfe ich mit dem Tool, ob ich aufgrund der zu erwartenden potenziellen Konflikte ein CDO anbieten kann – und ob es wirklich ab TOD funktioniert. Treffer: Die DLH4FG aus Edinburgh wird als „grün“ markiert. Los geht es. Ich aktiviere den CDO-Button, augenblicklich ermittelt das Bodensystem die Trackmiles und schickt diese per

digitalem Datalink in Echtzeit an das Bordsystem. Daraufhin wird im FMS der TOD errechnet, welcher an das Bodensystem zurück übermittelt wird. Dieses berechnet hieraus die initiale Staffellung im oberen Luftraum und plant eine Trajektorie mit Überflugpunkten und entsprechenden Zeiten, die wiederum an das FMS geschickt wird. Die Flugzeuge, die nun im CDO unterwegs sind, werden von mir in der Regel nicht mehr angefasst, fliegen selbständig ihre Trajektorie ab und halten ihr berechnetes Spacing.

Am Label der DLH4FG sehe ich den Wert der Kerosineinsparung im Vergleich zum ursprünglichen Flugpfad: 130kg. Der Wert ist plausibel – seit die DFS die aktuellen Verbrauchswerte von Flugzeugen per Datalink bezieht, sind die Verbrauchsberechnungen nochmal deutlich besser geworden als die bisher genutzten Flugleistungsmodelle der TU Dresden aus dem letzten Jahrzehnt.

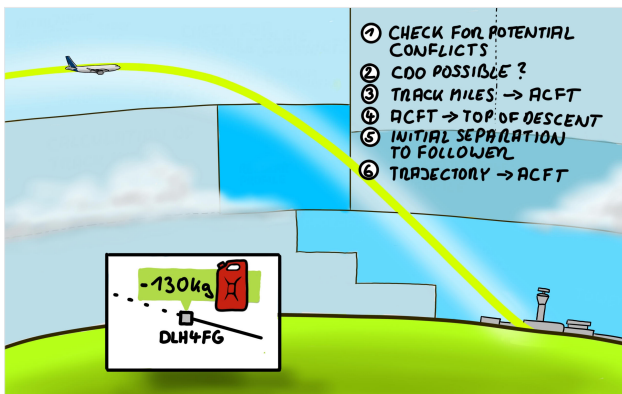


Abbildung 4: Mögliche Vorbereitung eines CDO-Anflugs ab Top of Descent unter Nutzung von Borddaten, Datalink und hochentwickelter Konflikterkennung für den Flugverlauf.

Von Kollegen aus der Kontrollzentrale Langen habe ich gerade gestern gehört, dass dort derzeit ein weiteres System operativ untersucht wird. „Trigger“ für CDO-Anflüge ist dabei eine systemgestützte Vorausschau, wieviel Demand am Flughafen in 30 Minuten erwartet wird. Sind Endanflug und Transitions voll? Aus welchen Sektoren kommen wie viele Flieger? Über die Flowposition und eine geeignete Unterstützung werden bei Vorlage passender Bedingungen CDO-Anflüge durchkoordiniert:

1. Zusammenstellung der Informationen über mögliche CDO-Chancen
2. Berechnung des richtigen „Trigger-Zeitpunktes“ für einzelne CDO-Anflüge im passenden Abstand vor Erreichen des TOD durch den AMAN
3. Der/die Lotsin bestätigt die Empfehlungen des Systems

4. Das Tool koordiniert automatisch alle CDO-Anflüge unter Beachtung der geltenden Rahmenbedingungen

Kontrovers diskutiert wird gleichzeitig in Langen eine so genannte Main-Hub-Strategie, bei der Flieger, die zu den großen Hubs gehen, bei CDOs bevorzugt werden. Querender Traffic in andere Richtungen und kleinere Flughäfen müssen mit entsprechendem Vorlauf ausweichen. Die Flughäfen Stuttgart und Hahn haben sich bereits gegen eine entsprechende Strategie ausgesprochen.

Die ersten zwei Stunden meiner Schicht vergehen wie im Flug und ich werde abgelöst. Ich überlege, ob ich in den gut ausgestatteten Fitnessraum gehe, der laut Infosystem in der DFS-App derzeit wenig frequentiert ist. Da es später aber noch stressig werden könnte entscheide ich mich lieber für den Ruheraum, auch der ist derzeit eher leer. Nebenan in den Aufenthaltsräumen läuft eine interaktive Fernsehserie und parallel kickern Kollegen an einem alten Tischkicker aus dem letzten Jahrzehnt. Dank Schallschutzwand ist aber davon im Ruheraum nichts zu hören.

Als ich nach der Pause zurückkehre hat sich das Wetter wie prognostiziert verschlechtert. Ich rufe mir genaue Wetterdaten aus der KI-gestützten Wetterdatenbank ab. Die Wetteranzeigen an Bord und Boden sind mittlerweile vernetzt, tauschen alle relevanten Daten in Echtzeit aus und ergeben eine hochgenaue und aktuelle Nowcast-Wetterlage, die zum einen uns Lotsen hilft – und auch den Cockpitcrews. Den Piloten wird damit möglich, weiter zu schauen und auch „hinter“ Schlechtwetterfronten zu blicken, was ihnen früher nicht möglich war. Da die Wetterinformationen in der Datenbank von allen eingesehen werden können, entfallen lästige Aufgaben wie Vorlesen der ATIS. Zwei rasch wandernde Gewitterzellen werden mir wie Sperrgebiete direkt im ASW dargestellt. Getriggert von den Wetterinformationen aus der KI-Datenbank schlägt mein System mir eine alternative Routenführung für die DLH7KX vor, deren Trajektorie aktuell noch durch die sich bewegenden Gewitterzellen führt. Mir werden verschiedene, sektorübergreifend konfliktfreie Trajektorien vorgeschlagen, die sowohl beide Gewitterzellen umfliegen als auch Spritverbrauch, CO₂-Emissionen und Streckenlänge unterschiedlich berücksichtigen. Ich wähle eine der Routen aus und schicke sie per Datalink an die Piloten. Die abgeflogene Route kann im Nachhinein von den Piloten bewertet werden. Diese Bewertung geht dann wiederum in die KI-gestützte Berechnung und Priorisierung weiterer Ausweichrouten ein und steht allen Teilnehmern zur Verfügung.

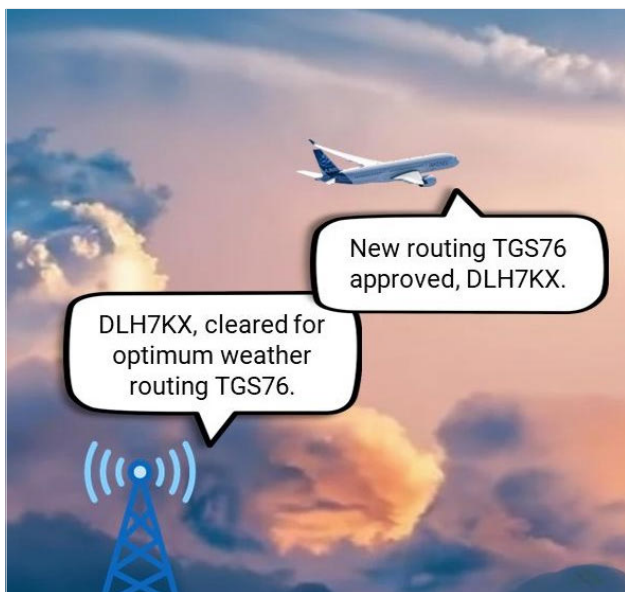


Abbildung 5: Freigabe wetter- und umweltoptimierter Routings mit sektorübergreifender Konfliktfreiheit.

Aber auch die Piloten können eine vom FMS auf Basis der Wetterdaten errechnete Ausweichroute downlinken. Bei der Berechnung der Routen werden auch eigene Präferenzen der Airlines bezüglich der Bereitschaft zum Durchfliegen von Schlechtwettergebieten berücksichtigt. Die Routenvorschläge werden am Boden vor der Freigabe noch einmal mit Hilfe des Probing-Tools überprüft.

Da das Gewitter jetzt genau zwischen meinem und dem benachbarten Sektor hängt, beschließt die Wachleiterin, die Sektoren zusammenzulegen. Über ein Unterstützungstool kann sie die weitere Wetterprognose sehen und entscheiden, ob sich die Zusammenlegung für den vorausgesagten Zeitraum des Gewitters lohnt. Nun habe ich beide Sektoren zu bearbeiten und mein System schlägt mir basierend auf den vorhandenen und prognostizierten Verkehrs-

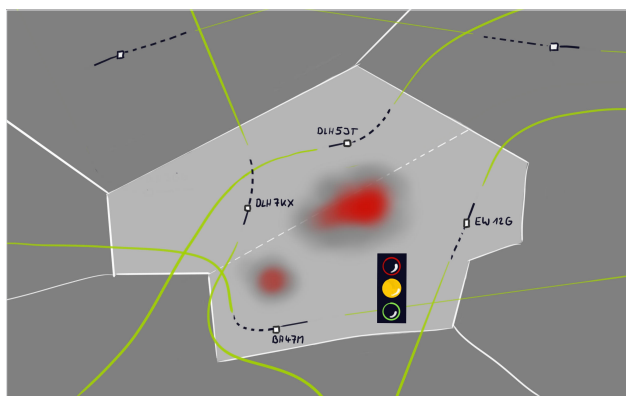


Abbildung 6: „Genfer Ampel“ in einem durch Wetter (rote Gebiete) hochbelasteten, zusammengelegten Sektor.

daten vor, die „Genfer Ampel“ auf gelb zu setzen. So wird meine aktuelle Belastung in anderen Sektoren sichtbar, und die Kolleginnen und Kollegen sehen von Requests und anderen Anfragen ab.

Da steht schon die Ablösung bereit. Ich treffe mich in der Pause mit Freundinnen in der Kantine. Seit dem Neubau im Jahr 2025 kann man sich hier rund um die Uhr mit frischem, gesundem Essen und Getränken versorgen. Heute nehme ich mir einen „Sushiritho“, eine leckere Mischung aus Sushirollen und Burrito, dazu einen Salat. Freitags ist beim Salat immer „Misfits“-Tag, mit Zutaten aus nicht normgerechten Gemüse-Exemplaren, die früher aussortiert und weggeworfen worden waren und nun nicht mehr.

Gestärkt geht es in die letzte Runde. Das Wetter hat sich inzwischen wie vorhergesehen verbessert und der Rest meiner Schicht verläuft reibungslos. Ich übergebe meinen Arbeitsplatz an die Kollegin, die gerade gekommen ist und mache mich auf den Weg zur S-Bahn. Meine App bietet mir an, einen elektrischen Roller zu nehmen – ich verzichte darauf – Laufen tut mir gut und ich sehe in meinem Handy, dass ich „meinen“ Zug auch so erwische.

Szenario 2: Lower Airspace Langen

Den Stau auf der lediglich einspurigen B486 nach Langen nutze ich, um mir das aktuelle Briefing anzuhören, das mir auch als Audiodatei in der DFS-App zur Verfügung steht. Bei Erreichen des Campus setzt leichter Schneefall ein. Ich stelle mein Auto auf die induktive Ladeschleife in der gekennzeichneten Parkbucht und beeile mich, ins Center zu kommen. Seit 3 Jahren arbeiten wir wieder im „alten“ Kontrollraum, der vor dem Umzug modernisiert wurde – und dessen Arbeitsplatzgestaltung und ausgefeilte Akustik ein angenehmes und professionelles Arbeitsumfeld bietet.

Im Foyer schaue ich im Vorbeigehen auf die Wetterinformationen auf der großen Wandprojektion und betrete den Betriebsraum hinter der Sicherheitskontrolle. Dort scheint helles Tageslicht durch die Fensterfront. Einer der Putzroboter fährt lautlos an mir vorbei Richtung Ladestation. Seit wir diese in Betrieb haben, setzt sich wesentlich weniger Staub auf den Konsolen und den anderen Möbeln ab.

Bei der Übergabe macht mich der Kollege darauf aufmerksam, dass derzeit eine Radaranlage ausgefallen und eine weitere in Wartung ist. Ich logge mich mit POLO ADVANCED ein und blende mir eine Karte ein, in der die genaue Radarabdeckung samt geltender Staffelungsminima dargestellt sind.

Es ist wichtig Bescheid zu wissen, wenn Systeme nicht zur Verfügung stehen und mit einem Blick zu verstehen, welche Folgen für meine Arbeit damit verbunden sind. Als nächstes schaue ich mir die genauen Wetterinformationen mit den Höhengschichten an, in denen mit Icing gerechnet werden muss. Das wird heute eine knifflige Angelegenheit. Etliche Höhengschichten stehen mir für bestimmte Flugzeugmuster nicht zur Verfügung. Im System sind die Icing-Kriterien der Flugzeuge hinterlegt und Routenvorschläge werden automatisch daran angepasst. Noch mal draufgeschaut – so müsste es funktionieren. Ein Teil meines Sektors ist Luftraum E, dort gelten besondere Staffelungsverantwortungen und bei vielen Konstellationen bin ich als Fluglotse eigentlich nur Zuschauer. Immerhin sehe ich seit wenigen Jahren, welche VFR-Flieger in meinem Luftraum mit welchem Kollisionswarngerät ausgestattet sind und welcher Flugweg von ihnen zu erwarten ist. Das macht meine Arbeit deutlich einfacher. Auch Verpflichtungszonen für TCAS sind weiterhin im Gespräch. Überhaupt haben die Sicherheitssysteme durch die Vernetzung zwischen STCA und TCAS nochmal an Wert für Lotsen und Piloten gewonnen. Bei Erkennen einer Resolution Advisory reagiert mein ATS-System sofort und zeigt mir an, was nun als nächsten durch wen initiiert werden muss, um eine weitere Annäherung zu vermeiden. Das System funktioniert sehr zuverlässig und ist für mich ein wichtiger Baustein für die 100 Prozent Sicherheit, die Ziel meiner Arbeit ist.

In einer Arbeitsgruppe hatte ich kürzlich Überlegungen mitverfolgt, STCA mit einer Art Notbremsassistenten auszustatten – also der automatischen Ausgabe von Clearances durch das System selbst im Fall der Fälle – und vor dem Eingriff von TCAS. Ein kontroverses Thema, denn Freigaben durch das System selbst würden bedeuten, den Fluglotsen die aktive Rolle abzunehmen und damit das Restrisiko von menschlichen Fehlentscheidungen durch potenzielle Programmier- oder Sensorfehler des Systems zu ersetzen. Die Abschätzung des Risikosaldos beider Möglichkeiten ist nach all den Jahren immer noch Stoff von Forschung und Entwicklung – ähnlich wie im hochautomatisierten Cockpit ja auch.

Da es draußen immer noch klirrend kalt ist nutzte ich meine Pause für eine Trainingseinheit im angeschlossenen Fitnessstudio. Das Infosystem der DFS-App zeigt mir eine moderate Belegung und freie Slots bei den Trainern an. Über die App buche ich mir ein halbstündiges Personaltraining.

Eine Stunde später bin ich wieder zurück am Board und im Frankfurter Osten eingeteilt. Ich übernehme

die Co-Position und prüfe, ob ich der DLH72N, die nach Paris gehen soll, ein Direct anbieten kann, um den Flugweg zu optimieren, ohne im weiteren Flugverlauf potenzielle Konflikte oder Überlastung zu generieren. Sollte dieser Shortcut durch ein anderes Land führen als in der ursprünglichen Route vorgesehen, bekomme ich hierzu eine Meldung. Für alle Callsigns sind in einer internationalen Datenbank alle vorhandenen MDCN/DCNs mit den jeweiligen "Ländervisa" hinterlegt. Per einfachem Klick auf das Label lässt sich prüfen, ob eine DCN vorliegt. Mein Flugsicherungssystem erkennt zudem, dass die Lufthansa auf diesem kürzeren Routing eine TRA im Elsass durchfliegen müsste und diese TRA gerade aktiv ist. Das System prüft nun, ob der Durchflug möglich ist. Offenbar ist es das nicht – automatisch öffnet sich ein Koordinationsfenster, über das ich bei den zuständigen Stellen per Knopfdruck den Durchflug anfragen kann.



Abbildung 7: Automatisierte, grenzüberschreitende Freigabe.

Augenblicke später ist die Erlaubnis erteilt und ich kann das Direct elektronisch koordinieren. Da die Flugsicherungssysteme auch über Landesgrenzen hinweg alle relevanten Daten austauschen merkt man keinen Unterschied, ob man mit den Kollegen und Kolleginnen in Frankreich oder im Nachbarsektor koordiniert.

In der zweiten Pause gehe ich in die Cafeteria. Seit sich die Akademie auf dem DFS-Campus vergrößert hat, um die erforderlichen Ausbildungskapazitäten bereitzustellen und die angehenden Lotsen und Lotsinnen wieder auf dem Campus wohnen, gibt es jeden Abend ein abwechslungsreiches Buffet.

Zurück im Betriebsraum geht der ungemütliche Tag da draußen dem Ende entgegen. Der letzte Anflugpeak Frankfurt ebbt ab, für viele Kolleginnen und Kollegen ist nun Feierabend in Sicht. Die Position links von mir – ein zuführender Sektor aus Richtung

Spessart- wird schon seit 30 Minuten mit Einfachbesetzung gefahren. Plötzlich ein kurzes akustisches Signal – die Kollegin hat eine Eingabe an der Konsole getätigt und sofort nähert sich ein Kollege und besetzt die Co-Position. „Die Swiss hat Probleme mit dem Kabinendruck und muss mindestens runter auf 120, hilf mir mal, da freizuräumen!“ Ruhig und konzentriert schildert der Kollege den betroffenen Sektoren die Situation und macht den Weg frei für den potenziellen Emergency. „Co on Demand“ heißt das Konzept, um in Zeiten von Einfachbesetzung Unterstützung zu bieten, falls doch mal die Arbeitslast durch die Decke geht. Der Co-on Demand wird den jeweils höher belasteten Sektoren vom Supervisor zugeteilt. Falls weitere Unterstützung benötigt wird, werden Kollegen oder Kolleginnen per DFS-App in der Pause benachrichtigt.

Überhaupt ist die Begrenzung von Lufträumen in den vergangenen Jahren deutlich flexibler geworden. Zuständigkeitsbereiche können nach kurzer Absprache in bestimmten Grenzen in 500-Fuß-Schritten vertikal erweitert oder verkleinert werden. Das ATS-System stellt sich automatisch auf den neuen Luftraum ein – inklusive der weiterhin während der verkehrsschwachen Zeiten praktizierten „Silent Coordination“ zu den angrenzenden Sektoren.

Im Langener Norden läuft derzeit ein Probebetrieb, um an Bremen angrenzende Sektoren zur verkehrsschwachen Zeit wechselseitig von Langen oder Bremen aus zu arbeiten – je nach Verfügbarkeit von Personal. Voraussetzung für diese Option war die Einführung einer centerübergreifenden Systemzulassung, die wiederum viele technische Voraussetzungen zu erfüllen hatte: Standardisierung von ATM-System und Lotsenarbeitsplätzen, pfliffige systemgestützte Informationen über Luftraum- und Verfahrensdetails. Die „Verflechtung“ des Betriebs an den Centergrenzen hatte den Vorteil gebracht, dass Anforderungen an zukünftige Systeme deutlich harmonisierter formuliert wurden und sich die Anzahl der ortsspezifischen Requirements deutlich reduzierten.

Szenario 3: Approach München

Laut Dienstplan, den ich per DFS-App einsehen kann, bin ich heute im Approach eingeteilt. Ich fahre mit dem Elektroauto zur Niederlassung und höre mir auf der Fahrt das aktuelle Briefing an. An der Niederlassung angekommen parke ich auf einem der vielen bevorzugten Parkplätze für Elektroautos und weitere „Zero-Emission-Kfz“ und verbinde es mit der Ladesäule. Der Strom, den ich nun tanke, stammt von einem der DFS-eigenen Windkraftwerke, die vor



Abbildung 8: Windkraftanlage der DFS.

5 Jahren – natürlich außerhalb der CNS-Anlagenschutzbereiche – gebaut worden waren, um den enormen Stromverbrauch der DFS-Infrastruktur möglichst klimaneutral zu erzeugen.

Der große Monitor im Eingangsbereich zeigt den für die Uhrzeit typischen Verkehr und gutes Wetter. Ich gehe in den Betriebsraum und nehme mir von einem vorbeierollenden Serviceroboter eine Tasse frischen Filterkaffee. Ich sehe die Kollegen aus dem technischen und betrieblichen Anforderungsmanagement an einem der Sektoren sitzen. Die Kollegen sind regelmäßig und häufig im Betriebsraum, um derzeitige Arbeitsweisen und Herausforderungen kennenzulernen und zielgerichtete Entwicklungen anzustoßen.



Abbildung 9: Lotsenarbeitsplätze der Zukunft mit einheitlicher grafischer Oberfläche – rechts ein Barista-Roboter.

Dank modularer und einfach änderbarer Software können die Observations aus dem Betrieb von den DFS-Systementwicklern in spätestens vier Wochen in neue, verbesserte Softwareversionen umgesetzt werden.

Bei der Übergabe auf dem Feeder-Arbeitsplatz teilt mir der Kollege die aktuellen Windverhältnisse sowie Vorgaben des Towers mit. Ich logge mich mit POLO ADVANCED ein und meine Standardeinstellungen erscheinen auf dem ASW. Auf dem AMAN, der mir eine integrierte Arrival- und Departure-Sequenz anzeigt, sehe ich, dass in der nächsten Zeit einiges an Verkehr erwartet wird. Auch der Wind in 5000 FT ist heute nicht ohne. Da der Spacing-Assistent defaultmäßig zugeschaltet ist, brauche ich nicht viel Zeit, um mich einzuschließen. Der Spacing-Assistent zeigt mir unter Berücksichtigung der Flugzeugtypen und des Windes die minimalen und optimalen Abstände zwischen Flugzeugpaaren sowie den idealen Eindrehpunkt auf das Final an. Auch GBAS-gestützte Anflüge für entsprechend ausgerüstete Flugzeuge können verarbeitet werden. Zur verkehrsschwachen Zeit und an wenig frequentierten Flughäfen sind damit Freigaben für Präzisionsanflüge bereits ab FL200 möglich geworden.



Abbildung 10: „Spacing Assistant Endanflug“ für den Flughafen München.

Ein Blick auf das ebenfalls integrierte Departure-Window zeigt mir die geplanten Departures und deren Status an. Da zwei Flugzeuge gerade Richtung Runway rollen plane ich für den Tower über eine der Funktionen des Spacing-Assistenten eine Lücke vor der anfliegenden DLH234E. Um die Lücke zu bilden, verschiebt der Spacing-Assistent den optimalen Eindrehpunkt für die Lufthansa nach hinten. Nach 15 Minuten habe ich ein Gefühl für die Situation entwickelt und blende den Spacing-Assistenten aus. So wie bei anderen Unterstützungstools kann ich selbst entscheiden, wann ich diese ein- oder ausblenden will. Im Hintergrund laufen die Tools

trotzdem weiter, sodass die Informationen bei Bedarf sofort wieder zur Verfügung stehen. Diese Wahlmöglichkeiten sind mir wichtig, da ich nicht nur Systemvorschläge ausführen, sondern meine Arbeit selbst aktiv gestalten will. Das zeitweise Abschalten von Systemunterstützung ist dabei in den letzten Jahren immer wichtiger geworden – einfach auch deswegen, um unsere Proficiency zu erhalten und unsere „handwerklichen“ Fähigkeiten als Lotsen trotz der vielen Assistenzsysteme nicht zu verlieren. Sicherheitskritische Unterstützungstools hingegen bleiben immer aktiv.

Die Pause nutze ich, um meine Bewerbungsunterlagen für einen Austausch mit Austrocontrol zu vervollständigen. Die DFS hat Partnerschaften mit vielen anderen Flugsicherungen und bietet die Möglichkeit, für einen begrenzten Zeitraum im Ausland zu arbeiten. Da Systemlandschaft, Verfahren und Lizenzen in der Flugsicherung in den letzten Jahren stark harmonisiert wurden, ist dies nur mit einer kurzen Einarbeitungszeit verbunden. So können die Lotsinnen und Lotsen ihren Horizont erweitern und voneinander lernen. Auch innerhalb der DFS sind Wechsel erwünscht – sie fördern fast mühelos die DFS-interne Harmonisierung von Verfahren und Technik und erleichtern „Best Practise“-Ansätze.

Für den zweiten Teil meiner Schicht bin ich auf Pick-up Co eingeteilt. Bei der Übergabe sind keine Besonderheiten zu beachten. Nach einer Weile zeigt mein Konflikterkennungstool einen potenziellen Konflikt zwischen der DLH587 und der DLH2EK an. In den letzten Jahren hat die Zuverlässigkeit von Warn- und Unterstützungssystemen enorm zugenommen – nicht zuletzt durch den Einsatz von KI und die automatisierte Verarbeitung von Borddaten. Eine 100-prozentige Gewähr für deren Richtigkeit und Vollständigkeit besteht jedoch nicht, so dass der Mensch weiterhin die Überwachung und Plausibilisierung der Systemunterstützung zur Aufgabe hat.

Das Tool berechnet mir einen Konfliktlösungsvorschlag mit einem neuen FL für die DLH587. Der Vorschlag basiert auf KI-Algorithmen und spiegelt wider, welche Lösungen in dieser oder ähnlichen Situationen in der Vergangenheit angewendet wurden. Selbstverständlich ist der Vorschlag langfristig konfliktfrei (produziert also nicht gleich den nächsten Konflikt) und bezieht aktuelle Daten sowie Verkehrssituation, Wetter und Flugzeugdaten (Cost Index, Performance Daten, etc.) mit ein. Grundsätzlich werden mir maximal zwei Vorschläge gemacht, damit die Bewertung (plus ggf. anderer Alternativen, die ich selber im Kopf habe) nicht zu viel mentale Kapazität beansprucht. Je nachdem, wie viel

Zeit noch bis zum potenziellen Konflikt ist fällt der Lösungsvorschlag kurz (bei zeitnahen Konflikten) oder detaillierter mit Kettenanweisungen (für Konflikte weiter in der Zukunft) aus. Ich entschließe mich, den potenziellen Konflikt statt mit einem neuen FL über ein Heading zu lösen.

Ich klicke im Konfliktlösungstool auf HDG, welches mir daraufhin das optimale Heading zur Konfliktlösung anzeigt. So kann ich direkt ein ideales Heading anweisen, ohne später nacharbeiten zu müssen und halte so meine Workload gering. Falls der Pilot innerhalb einer bestimmten Latenzzeit nicht reagiert, springt das Monitoring Tool an und das System schlägt ein korrigiertes Heading vor, was das verspätete Eindrehen kompensiert. Sobald der potenzielle Konflikt gelöst wurde, erhält der Flieger automatisierte Anweisungen, um wieder seiner optimalen, nun leicht angepassten Trajektorie zu folgen.

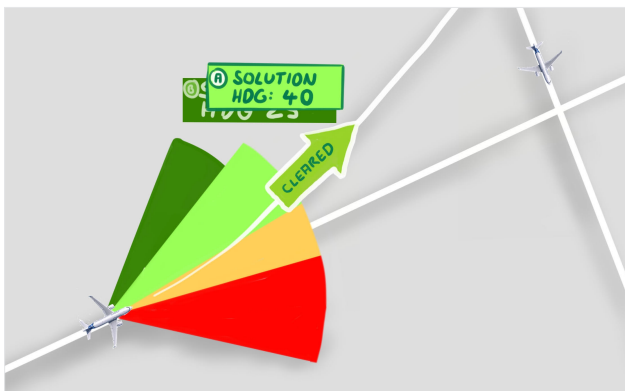


Abbildung 11: Conflict Resolution Tool (Heading Mode).

Den letzten Teil meiner Schicht verbringe ich nicht am Board, sondern bin nach der Pause für Projektarbeit eingeteilt. Seit 2025 hat jede Kontrollzentrale der DFS ein eigenes R&D-Budget, um selbst Entwicklungen voranzutreiben, die zu den lokalen Herausforderungen passen. Das Budget umfasst umfangreiche Mittel für Sachkosten, Invest- und Reisekosten sowie Lotsenkapazitäten. Nachdem erkannt worden war, dass die spürbare Mitarbeit von Fluglotsen in Zukunftsprojekten essenziell ist, wurde die Menge des Personals in den DFS-Niederlassungen um ein kleines Quäntchen erhöht. Parallel begann die DFS damit, maßgeschneiderte Schulungen für Lotsen anzubieten: Projektmanagement, Konzepterstellung, Innovationsmanagement.

Szenario 4: Nachtschicht

Die DFS-App vibriert und zeigt mir gemäß meinen Einstellungen 45 Minuten bis zum Beginn meines Dienstes an. Mit dem Elektrofahrrad mache ich mich

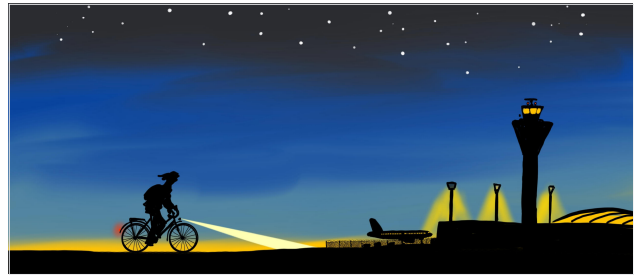


Abbildung 12: Fahrt zur Nachtschicht.

aus Freising über die Felder auf den Weg zum Nachtdienst.

In der Niederlassung angekommen zeigt der große Monitor im Eingangsbereich noch reichlich Verkehr, dafür aber gutes Wetter und keine besonderen Bedingungen. Von der netten Kollegin übernehme ich den Co-Arbeitsplatz und logge mich mit POLO ADVANCED ein. Ich blende mir die Trajektorien der Flugzeuge in meinem Sektor ein und verschaffe mir einen Überblick. Seit Bord und Boden aktuelle Daten regelmäßig austauschen hat sich die Trajektorienvorhersage stark verbessert. Entsprechend genauer arbeiten auch alle Unterstützungstools, die auf diese Daten zugreifen, zum Beispiel die Konflikterkennung. Auch die Flugplandaten zwischen Centern werden inzwischen reibungslos ausgetauscht, sowohl intern/extern als auch grenzüberschreitend. Ich habe den kompletten Zugriff auf alle relevanten Informationen in umliegenden Sektoren – egal von welcher Kontrollzentrale diese kontrolliert werden. Mit umliegenden Sektoren muss ich nur wenig koordinieren, wir haben Übergabefenster für steigende und sinkende Flugzeuge etabliert. Wenn ein Flugzeug auf dem Steig- oder Sinkflug einen dazwischen liegenden Sektor nur kurz durchfliegen würde und es dem KI-Algorithmus bekannt ist, dass ein solcher Request üblicherweise genehmigt wird, erfolgt eine automatische Prüfung durch das System, ob ein unrestricted climb/descend in diesem Sektor konfliktfrei wäre. Wenn ja, wird die Information an den betreffenden Sektor gesendet und die Trajektorie kann so abgeflogen werden. Auch die sonstige Koordination läuft weitestgehend automatisch über das System. Wenn ein Kollege in einem vorhergehenden Sektor eine Trajektorie ändern will, gibt er den Vorschlag in das System ein. Betrifft er meinen Sektor wird der Vorschlag von mir geprüft. Wenn der Vorschlag konfliktfrei ist, ist keine weitere Information nötig. Wenn der Vorschlag nicht konfliktfrei ist, wird der vorhergehende Sektor darüber informiert und automatisch ein Alternativvorschlag gemacht. Dieser kann entweder angenommen werden, sonst meldet sich der Kollege telefonisch bei mir, so vermeiden wir ein zeitaufwändiges Ping-Pong von Vorschlag und Gegenvorschlag. Gebiete, in

denen sich dies häuft, werden in regelmäßigen Abständen an die zuständigen Luftraum- und Verfahrensplaner gemeldet, um die Lufträume zu optimieren.

Ich gehe in meine Pause und laufe eine Weile über das großzügige Betriebsgelände, um mich wach zu halten. Seit ein paar Jahren hat unsere Kontrollzentrale an der Südfront einen „Vertical Garden“, bewachsen mit Kletterpflanzen, um die Erhitzung im Sommer durch Sonnenstrahlen zu verringern.



Abbildung 13: Spaziergang über das Flughafengelände an der Kontrollzentrale der DFS.

Bei meiner Rückkehr ist im Betriebsraum nicht mehr viel los. Der Verkehrsrückgang zu Beginn der Nacht ist deutlich zu spüren. Da wir inzwischen allgemeine Systemzulassungen haben, können wir in der Nachtschicht Sektoren flexibel zusammenlegen und den Personaleinsatz nachts reduzieren. Ich sehe, dass auch am Arbeitsplatz neben mir mehrere kleinere Remote Tower zusammengelegt wurden.

Mit Einführung der Systemzulassung hatte sich vor einigen Jahren ein weiterer Effekt ergeben. Ähnlich wie dem geförderten Austausch von Lotsen zwischen Kontrollzentralen sorgte auch die „Aufweichung“ von EBG-Grenzen dafür, dass immer mehr Verfahren und Arbeitsweisen auf einem hohen und akzeptierten Niveau in der Niederlassung standardisiert und regionale Sonderlösungen weitgehend reduziert werden konnten.

Der Kollege aus der vorhergehenden Schicht übergibt mir den Executive Arbeitsplatz. Da gerade nicht viel los ist, beschließe ich statt Datalink per Text den digi-

talen Funk zu benutzen. Rauschfrei, ohne Verzögerung, klar und deutlich klingt die Besatzung der EWG5HZ – so als säßen die Pilotinnen im Nebenraum und ich hätte sie per Telefon angerufen. Seit Einführung des kombinierten Sprach- und Datenaustauschs per digitalem Datalink besteht auch die Möglichkeit, Readbacks der Crew per Spracherkennung mit hoher Zuverlässigkeit zu erfassen. Damit können diese auf Plausibilität überprüft werden – und es besteht seit kurzem auch die Möglichkeit, bei Erwähnung des Begriffs „Emergency“ durch das Cockpit die Genfer Ampel am Arbeitsplatz auf rot stellen zu lassen.

Generell macht mir die Kommunikation mit den Piloten Freude, daher benutze ich den Funk gerne, wann immer ich möchte. Statt dem automatischen Frequenzwechsel über D/L schicke ich die AF1011 heute per Funk zum nächsten Sektor. Die Frequenzen anderer Sektoren muss ich mir nicht mehr auswendig merken, sie werden mir bequem am Label angezeigt. In der Regel nutzen wir den Funk nur noch für zeitkritische Anweisungen oder Anweisungen mit Steig- oder Sinkraten, sonst kommunizieren wir mit den Piloten über den schnellen und störungsresistenten Datalink, mit dem immer mehr Flugzeuge ausgerüstet sind. Ein Readback brauche ich nur noch bei Anweisungen, deren Ausführung nicht vom System überwacht werden. Seit Datalink so zuverlässig und schnell funktioniert, können wir diesen sogar bis in den Approachbereich nutzen.

Die Eingaben in das System mache ich bei mündlichen Anweisungen per Spracherkennung. Gesprochene Freigaben werden dabei erfasst und automatisch in die Eingabe-Menüs des Systems eingetragen. Die Eingaben müssen dann nur noch bestätigt werden, so werden wir von Routine-Systemeingaben entlastet. Die Spracherkennung unterstützt auch unser Situationsbewusstsein durch das Markieren von aufgerufenen Callsigns, außerdem können wir uns per Sprachsteuerung aktuelle Wetter- und Verkehrsinformationen anzeigen lassen oder Anzeigen wie z.B. Wegpunkte auf den Bildschirm aufrufen. Auch Releases von Nachbarsektoren können per Spracherkennung eingeholt werden.

Überhaupt werden uns zunehmend unkritische Sekundäraufgaben durch Automation und KI abgenommen. So können wir uns viel mehr auf die Staffe- lung und Verkehrsplanung konzentrieren und unsere mentalen Kapazitäten zur sicheren und flüssigen Verkehrsführung einsetzen. Heute interessiert mich die Windsituation in den Transitionshöhen. „System – zeig mir die Windkarte bis Altitude 5000!“ – zack – da ist sie schon.

Das System zeigt mir nun an, dass für die nächsten 25 Minuten keine Flüge durch meinen Sektor geplant sind. In diesem Zeitfenster darf ich anderen Tätigkeiten nachgehen, so werden das Aufkommen von Langeweile und Müdigkeit verhindert. Falls doch ein Flugzeug für mich geplant werden sollte, macht mich das System mit einem deutlichen Ton darauf aufmerksam, worauf ich einen Bestätigungsknopf zu aktivieren habe. Ich nehme das DFS-Tablet, das an jedem Arbeitsplatz bereitsteht, und logge mich in mein Benutzerkonto ein. Die Tablets kann jeder nutzen, um beispielsweise persönliche Emails oder Informationen und Briefingunterlagen abzurufen, meldepflichtige Ereignisse im vereinfachten NDL zu dokumentieren, oder auch Trainingsreports digital auszufüllen. Die nächsten 25 Minuten verbringe ich mit der Arbeit an einem Forschungsprojekt, dem ich zugeteilt wurde: Dem Air Traffic Manager 2055. Schon vor Jahren war der Prozess zwischen Forschung & Entwicklung und der anschließenden Implementierung von aussichtsreichen Funktionalitäten, Assistenzsystemen, Verfahrensweisen und Luftraumgestaltungen optimiert worden. Zusammen mit den Kollegen aus dem betrieblichen und technischen Anforderungsmanagement und den Systementwicklern sind wir als Lotsen sehr frühzeitig und in aktiver Rolle in die Entwicklung eingebunden und bekommen dafür ausreichend Zeitbudget vom Betrieb übertragen. Alle arbeiten bereichsübergreifend Hand in Hand zusammen, um gemeinsam betriebliche Verbesserungen zu erzielen.

Mein Luftraum bleibt diese Nacht leer, mein Konzept füllt sich mit guten Ideen. Was sich bis 2055 an unserer Arbeit wohl verändern wird? Ich denke nach. Vielleicht versuche ich es mal mit einem Scenario-Writing. Davon hatte mir mein Onkel mal erzählt, vor vielen Jahren, 2023 muss das gewesen sein.

Abkürzungen

AMAN	Arrival Manager
ASW	Air Situation Window
ATIS	Automatic Terminal Information Service
ATM	Air Traffic Management
CDO	Continuous Descent Operations
DCN	Diplomatic Clearance Number
D/L	Datalink
EBG	Einsatz- Berechtigungsgruppe
FL	Flight Level
FMS	Flight Management System

FT	Feet
GBAS	Ground Based Augmentation System
HDG	Heading
KI	Künstliche Intelligenz
MDCN	Military Diplomatic Clearance Number
MIKA	Mitarbeiterkalender
NDL	New Daily Log
R&D	Research & Development
STCA	Short Term Conflict Alert
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TOD	Top of Descent
VFR	Visual Flight Rules

Referenzen

- [1] Albers, O. Broux, A. (1999). Zukunftswerkstatt und Szenariotechnik – Ein Methodenbuch für Schule und Hochschule, Beltz Praxis.

Reality Check

Thema	Aktueller Stand
Flexibilisierung der Zulassungen	Die Einführung einer mehrere EBGen übergreifenden Berechtigungsstruktur und die Erstellung eines Lizenzierungskonzepts unabhängig von geografischen Berechtigungen sind Teil der aktuellen DFS-Strategie SESAR Wave 2: ▪ PJ10-W2-73 FCA Flight Centric ATC ▪ PJ.10-W2-73 IFAV - Increased Flexibility in ATCO Validations ▪ PJ.10-W2-93 - Delegation of ATM services provision amongst ATSUs
Verbesserte Wetterinformation	Met4Airports, gefördert von der Forschungsinitiative mFUND des BMVI: KI-basierte Wettervorhersagen für Flughäfen

Verbesserte Wetterinformation	SESAR Exploratory Research, Horizon 2020: ▪ ISOBAR- Artificial Intelligence Solutions to Meteo-Based DCB Imbalances for Network Operations Planning ▪ SINOPTICA- Satellite- Borne and In Situ Observations to Predict the Initiation of Convection for ATM ▪ CREATE- Innovative operations and Climate and weather modElS to improve Atm resilience and reduce impacts	Spracherkennung DLR-Projekte: ▪ AcListant (Active Listening Assistant) ▪ MALORCA (Machine Learning of Speech Recognition Models for Controller Assistance) SALT (Spracherkennungs-basierte Eingabeassistentz für Lotsen und Technologievalidierung), DFS intern als Projektbewerbung/Vorstudie für SESAR3.
Green Flying-Verfahren	Die Entwicklung von neuen, klima-optimierten Flugverfahren ist Teil der aktuellen DFS-Strategie. Im LuFo-Projekt D-KULT wird zusammen mit Partnern daran geforscht, wie der Einfluss von Contrails auf die Erderwärmung reduziert werden kann. Horizon 2020: CREATE- Innovative operations and Climate and weather modElS to improve ATM resilience and reduce impacts DLR-Projekt "DIAL" (Der individuelle und automatisierte Luftverkehr)	Neue Rollenkonzepte Die Entwicklung neuer Rollenkonzepte im Flugsicherungsbetrieb ist Bestandteil der aktuellen DFS-Strategie. In der Praxis ist "SSO" (Single Sector Operations) fast durchgängig im Bereich der FAA umgesetzt. Fallweise werden die Fluglotsen durch Datenbearbeiter unterstützt. In der DFS wird SSO restriktiv und nur unter bestimmten Voraussetzungen umgesetzt (Verkehrsnachfrage, Wettersituation, Verfügbarkeit technischer Systeme usw.) Multiple use of airspace (MUA): Verfahren Preferred Path, Initial Print / Info, Zuordnung bis 5 EC zu 1 PC, Verfahren Kreuzfeeder. Bereits implementiert. DLR-Projekte ▪ "FALCO" (Flexible ATCO Endorsment and LDACS Complements, SESAR 2020 PJ33-W3) ▪ "DIAL" (Der individuelle und automatisierte Luftverkehr) ▪ „LOKI" (Kollaboration von Luftfahrtoperatoren und KI-Systemen) SESAR Wave 2: ▪ PJ.10-W2-73 CC- Collaborative Control ▪ PJ.10-W2-73 FCA Flight Centric ATC
Spacing-Assistent	LuFoV FUTURE (Fluglotsen-Unterstützung Endanflug) Die Implementierung einer Endanflugassistentz ist derzeit in der DFS in der Planung.	
Spracherkennung	Spracherkennung ist Bestandteil der DFS-Strategie im Feld "Automatisierung und KI". SESAR Wave 2, Horizon 2020: ▪ PJ.10-W2-96 ASR Automatic speech recognition ▪ PJ.16-04 CWP HMI Controller Productivity: Automatic Speech Recognition activity ▪ HAWAII Highly Automated Air Traffic Controller Workstations with Artificial Intelligence Integration.	

Neue Rollenkonzepte	SESAR Wave 2: ▪ PJ.10-W2-73 CC- Collaborative Control ▪ PJ.10-W2-73 FCA Flight Centric ATC ▪ PJ.10-W2-93 – Delegation of ATM services provision amongst ATSUs LuFoV, TeFiS (Technologie für Luftverkehrsmanagement in großen Strukturen), SESAR Joint Undertaking: A proposal for the future architecture of the European airspace, 2019	Lotsenassistenz	iTEC – eFDP Separation management sub-group (NATS/DFS/ENAIRe): (CD&R, FPM, Controller Task Monitoring) iCAS Phase I und Phase II: Lotsenassistenz in iCAS (CD&R [TTM, RKM, MTCD], FPM und Controller Task Monitoring) SESAR 1: ▪ 4.7.2: Separation Task in Enroute TBO environment SESAR 2020 Wave1: ▪ Solution PJ.10-02a1 without ADS-C/EPP (CD&R, FPM) ▪ Solution PJ.10-02a2 with ADS-C/EPP (CD&R, FPM) ▪ Solution PJ.10-02b (CD&R, FPM, WX zones) ▪ PJ.18 (ADS-C EPP Trajectory Display) SESAR 2020 Wave 2: keine Aktivitäten CATO-Anforderungen/DFS Prototyping: (CD&R, FPM, HTO Path Monitoring/CDO, WX zones, Trajektorienverbesserung durch Mode S wind und ADS C EPP Daten) Trajektorienverbesserung für Lotsenassistenz: Mode S wind -> PJ.10.02a ADS-C EPP: DFS Honeywell Studie
Austausch Bord-Boden	Idee stammt aus den 80-er Jahren: GARTEUR Action Group 03 (1990): Final Report of GARTEUR Action Group FM (AG) 03. Integration of Flight Management and Air Traffic Management Systems. Technical Memorandum FM 41 GARTEUR TP 057. Hg. v. Royal Aerospace Establishment. Controller HSMO. London. Makins, N.; Drew, A. (1995): Integrating FMS data into air traffic control. 1995-036 EEC Note 1995/28. Eurocontrol Experimental Centre. Brétigny. ADS-C EPP Mandatiert bis 2027 SESAR Wave 2: ▪ PJ 18 4D Skyways ▪ PJ 38 ADSCENSIO- ADS-C Enables and Supports Improved ATM Operations ICAO communications panel – Data communications infrastructure working group (2019). LDACS White Paper – A Roll-out Scenario	Erteilen von Anweisungen in benachbarten Sektoren	Karlsruhe GAT/OAT: OAT-Verkehr wird in zivilen Sektoren "clear of target" geführt. Release- Verfahren: Freigaben dürfen auch gegeben werden, wenn das LFZ sich nicht im eigenen Sektor befindet (verschiedene Ausprägungen). SESAR Wave 2 ▪ PJ.10-W2-73 CC-Collaborative Control
Lotsenassistenz	Die Weiterentwicklung von Konflikterkennungs- und lösungssystemen ist Bestandteil der aktuellen DFS-Strategie Conflict Detection/Resolution (CD&R) + Flight Path Monitoring (FPM) +Controller Task Monitoring + HTO Path Monitoring/CDO + ADS-C EPP Trajectory Display, WX zones	Arbeitsplatzergonomie	Die Konzeption eines integrierten Frontends für Center-/Tower-Systeme, Gestaltung und Evaluierung

Arbeitsplatz- ergonomie	eines Standardarbeitsplatz Center/ Tower sind Inhalte der aktuellen DFS-Strategie. SESAR Wave 2 ▪ Solution PJ.10-W2-96 HMI Interaction modes for ATC centre.
Wasserstoff- getriebene Flugzeuge	Etliche Flugzeughersteller befassen sich mit Konzepten und ersten Entwicklungen: ▪ Bereits 1988 flog ein russischer Versuchsträger Tu-155 teilweise mit Wasserstoff ▪ Airbus plant, einen firmeneigenen Airbus A380 testweise mit einem zusätzlichen Brennstoffzellentriebwerk auszustatten ▪ Im März 2023 absolvierte eine Dash 8-300 der Firma Universal Hydrogen seinen Erstflug unter Nutzung eines Brennstoffzellenantriebs ▪ Januar 2023 absolvierte eine Do228 (19 Sitzplätze) der Firma Zero Avia den Erstflug unter ausschließlicher Verwendung von Wasserstoff als Antriebsenergie.
Flugleistungs- modelle	Die Entwicklung von Klimaschutzkriterien bei neuen und geänderten Flugverfahren ist Teil der aktuellen DFS-Strategie. Die TU Dresden verfügt mit dem entwickelten Flugleistungsmodell SOPHIA (Sophisticated Aircraft Performance Model) über die Möglichkeit, ökoeffiziente Flugpfade zu berechnen und über die Plattform TOMATO (Toolchain for Multicriteria Aircraft Trajectory Optimization) iterativ zu optimieren.
Lotsenzu- standsmonito- ring	Die so genannte „Genfer“ Ampel als Anzeige der aktuellen Arbeitsbelastung von Fluglotsen besteht als Grundfunktionalität bereits in der Kontrollzentrale München. Projekt MACeLot (Uni Chemnitz): Methodenbasis eines Assistenzsystems für Centerlotsen

Systemunter- stützung bei der Verkehrs- und Wetter- prognose und dem damit ver- bundenen Per- sonaleinsatz in betroffenen Sektoren	Bei der DFS wird das Komplexitätstool „AirMagic“ für eine effiziente Luftraumnutzung im dynamischen Umfeld der Flugsicherung eingesetzt. Basierend auf Schnellzeitsimulationen und dank innovativer Systemfunktionalitäten verspricht „AirMagic“ wesentliche Verbesserungen für das betriebliche Verkehrsfluss- und Kapazitätsmanagement im Flugverkehr.
---	---

VISION

Vernetzte integrierte UAS-gestützte Datenerfassung und -aufbereitung für die Unterstützung von BOS im Bevölkerungsschutz

Andreas Udovic & Douwe Lambers

Einleitung

Im Projekt VISION unterstützen unbemannte Luftfahrtsysteme (Unmanned Aircraft Systems, UAS) bei Einsätzen von Rettungskräften mit Live-Lageinformationen. Das Projekt VISION wurde im Rahmen der Innovationsinitiative mFUND mit insgesamt 2.772.640 Euro durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr gefördert. Das Projekt begann am 1.1.2019 und endete am 31.12.2021. Ziel des Projektes war es, den Nutzen von unbemannten Luftfahrtsystemen für den konkreten Feuerwehreinsatz zu demonstrieren.

Projektpartner

Das Projekt Vision wurde gemeinschaftlich von einem Konsortium aus Forschung, Industrie sowie Vertretern der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) umgesetzt (siehe Abbildung 1). Die Gesamtleitung des Projekts lag beim Unternehmen flyXdrive aus Aachen, welches auch das Kippflügler-UAS entwickelte. Die RWTH Aachen steuerte aus dem Institut für Flugdynamik Erfahrungen aus dem Bereich UAS-Steuerung und -Navigation bei. Der Multikopter für die Erkundung von Gefahren innerhalb von Gebäuden wurde vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt und gebaut. Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, die bereits auf mehrjährige Erfahrung in diesem Bereich zurückblicken kann, setzte die sichere Integration der UAS in den Luftraum um. Die Nutzdatenprozesskette und Cloud-Anwendungssoftware wurde vom Unternehmen M4Com System GmbH aus Salem entwickelt. Die Deutsche Telekom aus Bonn sorgte mit ihrem Mobilfunknetz für die notwendige Datenverbindung mit dem UAS, stellte die Cloud-Infrastruktur für die Prozessierung der Daten zur Verfügung und brachte zudem Expertise zum Datenschutz ein. Das Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie der Feuerwehr Dortmund als Vertreter der BOS-Kräfte legte die Projektanforderungen aus Praxissicht fest und unterstützte durch die Durchführung der verschiedenen Testszenarien und Testflüge.



Abbildung 1: Partner im Projekt VISION.

Frühzeitige und laufende Gefahrenanalyse

Das Projekt hatte das Ziel, UAS zur Erfassung der laufend zu aktualisierenden Lage in einer Notsituation (z.B. Brände, Vermisstensuche) sowohl im Innen- als auch im Außenbereich einzusetzen. Dazu mussten unbemannte Flugsysteme in den Luftraum integrieren werden, die Flugplanung und -durchführung sowie die Datenverarbeitung automatisieren und letztlich die herannahenden und vor Ort befindlichen Einsatzkräfte mit Live-Übertragungen von Bild- und Videomaterial versorgt werden. Zudem wurden zurückliegende, gespeicherte Standortinformationen über eine Web-Cloud-Applikation zur Verfügung gestellt. Der Einsatz von UAS soll BOS so die Möglichkeit verschaffen, die Entwicklung von Gefahrensituationen auf Basis von laufend aktualisierten und gespeicherten Lagedaten noch schneller und umfassender beurteilen und einschätzen zu können. Anhand derart genauer und schneller Informationsverfügbarkeit können die Rettungskräfte in ausreichender Stärke und zielgenau an ihre Einsatzorte geschickt werden und dort sofort die geeigneten Maßnahmen ergreifen. Mit der erfolgreich umgesetzten Live-Demonstration stellte das Konsortium den Mehrwert für die BOS-Kräfte unter Beweis und legte die Basis für weitere Entwicklungen in diesem Bereich.

Projekt Aufbau

Insgesamt war das Projekt in fünf Arbeitspakete (AP) gegliedert. AP 1 beinhaltete die Missions- und Demonstrationsdefinition, das AP 2 befasste sich

mit der Luftraumintegration und Konnektivität. Das AP 3 befasste sich mit der weiteren Automatisierung der Flüge und der Prozesskette, AP 4 enthielt das Datenmanagement und Datenverarbeitung und das abschließende AP 5 die Validierung und Demonstration der Ergebnisse. Die DFS war hauptsächlich in den Arbeitspakete 1, 2 sowie bei der Validierung im AP 5 vertreten.

Arbeiten der DFS

Nachdem im AP 1 „Missions- und Demonstrationsdefinition“ zusammen mit den Projektpartnern die grundlegenden Szenarien diskutiert und besprochen worden waren, konnte auf dieser Basis die weitere Integration der UAS im Luftraum im AP 2 „Luftraumintegration und Konnektivität“ angegangen werden.

Die wesentlichen Arbeiten der DFS im AP 2 des Projekts VISION waren die Definition und die Programmierung der Schnittstelle zwischen dem UAS der Firma flyXdrive und der Flugsteuerung der RWTH Aachen zum Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) System der DFS. Zum einen wurden die Arbeiten im AP 2.2 „Entwicklung eines UTM-Systems zur Überwachung des Luftraums und Unterstützung kooperativer Kollisionsvermeidung“ durchgeführt, welches für die Testflügen genutzt werden konnte, um eine sichere Zusammenarbeit von bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen im Katastrophenfall zu ermöglichen. Dazu wurde das vorhandene UTM-System der DFS weiterentwickelt, so dass Flug- bzw. Missionspläne übermittelt und verarbeitet werden können. Diese Flugpläne können dann auf Konfliktfreiheit mit anderen geplanten UAS-Flügen überprüft werden. Zum anderen sind Arbeiten im AP 2.3 „Konnektivität“ durchgeführt worden. Dazu wurden die Daten (z.B. Positionsmeldungen, Geschwindigkeit) eines Hook in Devices an dem UAS per Mobilfunk an die DFS weitergeleitet und im UTM-System verarbeitet. So können diese Daten dann innerhalb des UTM-Systems verwendet (z.B. Tracking) und ausgewertet (z.B. Konfliktfreiheit) werden.

Das Arbeitspaket 2.1 „Kollisionsvermeidung“ wurde von der DFS zusammen mit den Partnern flyXdrive und der RWTH Aachen durch eine Analyse vorhandener Konzepte zur Kollisionsvermeidung bearbeitet. So wurden verschiedene Ansätze zur Konfliktvermeidung analysiert und Einsatzmöglichkeiten diskutiert.

Durch die COVID-Pandemie ist der Luftverkehr 2020 um über 50% eingebrochen. Dies hatte erhebliche Auswirkungen auf die wirtschaftliche Lage der DFS

und bedingte, dass die DFS Einsparungen vornehmen muss. Daher musste die DFS die geplanten Arbeiten im Projekt VISION reduzieren.

Die durch externe Firmen geplanten notwendigen Programmierarbeiten konnten nicht im vollen Umfang realisiert werden, da die DFS das notwendige Personal nicht bereitstellen konnte. Dies betraf vor allem das AP 2 „Luftraumintegration und Konnektivität“, sowie das AP 4 „Datenmanagement und Datenverarbeitung“. Ebenfalls, wenn auch im geringeren Maße, mussten die Arbeiten im AP 3 „Automatisierung“ und AP 5 „Validierung und Demonstration“ reduziert werden.

Verbesserung am DFS-UTM-System

Innerhalb des Systemhauses der DFS und in Zusammenarbeit mit anderen Projektpartnern wurde ein Konzept für die Kommunikation zwischen dem BOS-Einsatzleiter, dem BOS-UAS-Betreibersystem, dem UTM-System (siehe [1])) und anderen UAS-Betreibern in der Umgebung entwickelt.

Mit Hilfe des UTM/Sentry-Systems kann der BOS-Einsatzleiter eine temporäre Drohnenverbotszone (No Drone Zone, NDZ) oder Flugverbotszone (No Fly Zone, NFZ) um einen Einsatzort einrichten, so dass andere UAS in dieses Gebiet nicht einfliegen dürfen bzw. können (siehe Abbildung 2).

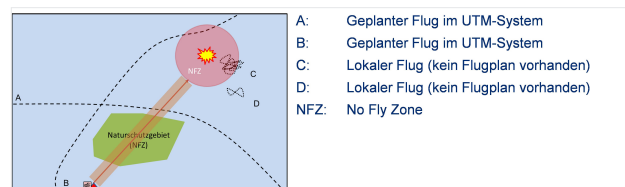


Abbildung 2: Einrichtung einer No Drone Zone/No Fly Zone durch den BOS-Einsatzleiter.

Das UTM-System benachrichtigt dann automatisch auf der Grundlage der Überschneidung eines UAS-Flugplans oder Flugweges mit der NDZ/NFZ in der Flugplandatenbank die Betreiber der betroffenen UAS-Flüge.

Vor dem Start des BOS-UAS übermittelt der Betreiber dem UTM-System einen Flugplan für einen vorrangigen Flug zu und in die NDZ. Das UTM-System verwendet auf der Grundlage der Anmeldeinformationen und der Berechtigungsstufe des BOS-UAS-Betreibers einen anderen Regelsatz als für normale Benutzer. Dieser Regelsatz erlaubt dem BOS-Flug das Einfliegen in die NDZ und genehmigt dem Flug, Gebiete wie z.B. Naturschutzgebiete zu

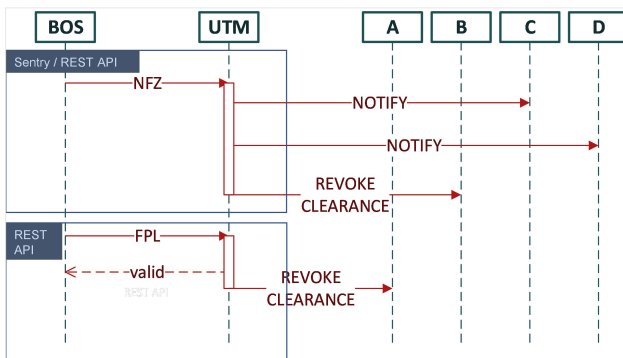


Abbildung 3: Zusammenspiel BOS und UTM.

überfliegen, die normalerweise für Drohnenflüge nicht zugänglich sind (siehe Abbildung 3).

Da es sich bei dem BOS-Flug um einen Prioritätsflug handelt, müssen andere Flugpläne von UAS, die mit dem BOS-Flug in einen möglichen Konflikt stehen, ihre Flugbahn ändern, um dem BOS-Flug auszuweichen.

Während des Fluges kann der Betreiber des BOS-UAS den übrigen Luftverkehr (bemannt und unbemannt) überwachen, um sicherzustellen, dass ein sicherer Abstand eingehalten werden kann. Dies ist besonders wichtig, da nicht alle UAS-Betreiber einen Flugplan einreichen müssen und daher möglicherweise nicht vom UTM-System benachrichtigt werden können, wenn eine NDZ ad hoc eingerichtet wird. Die Verantwortung für den sicheren Betrieb des UAS liegt zu jeder Zeit beim Betreiber der BOS-UAS. Im Rahmen des Projektes wurde ein Teil des Konzeptes in den DFS-UTM-Systemen umgesetzt.

In Zukunft werden die Luftraumdaten über den Single Common Information Service Provider (SCISP) verteilt. Die Polizei und andere BOS werden die Daten der NDZs über ein UTM-System zum SCISP hochladen. Der SCISP wird diese Daten dann an alle betroffenen UTM-Systeme weiterleiten. Eine erste SCISP-Funktionalität wurde von der DFS mit der digitalen Plattform für die unbemannte Luftfahrt (dipul, siehe dipul | Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt und [2]) geschaffen.

Gemeinsam mit den Projektpartnern RWTH Aachen und flyXdrive wurde eine Machine-to-Machine-

Schnittstelle (M2M) für die Einreichung und Genehmigung von Flugplänen entwickelt. Dies ermöglichte RWTH Aachen und flyXdrive die Entwicklung einer Flugplangestaltungssoftware, die es dem UAS-Operator erlaubt, den optimalen Flugweg für die jeweilige Mission zu erstellen und diesen Plan per Knopfdruck mit dem UTM-System zu synchronisieren.

Das Unifly-Sentry-System wurde zur Einrichtung von Drohnenverbotszonen verwendet. Diese Funktionalität war bereits vorhanden. Die automatische Benachrichtigung von Betreibern mit Flugplänen, die mit einer neuen Drohnenverbotszone in Konflikt stehen, konnte im Rahmen des Projekts aufgrund der Einsparungen leider nicht implementiert werden.

Um den UAS-Betreibern ein Bild der Luftlage zu geben, wurde ein Track-Service entwickelt. Dieser digitale Service ermöglicht es dem Betreiber von BOS-UAS, Echtzeit-Positionsdaten aller Flugzeuge im Missionsgebiet und innerhalb einer Reichweite von 10 NM vom UAS zu erhalten.

Die Daten werden über eine M2M-Schnittstelle über das öffentliche Internet bereitgestellt. Für die Implementierung wurde eine Kombination aus einer REST-API¹ und MQTT² über sichere Web-Sockets (WSS) verwendet. Die REST-API wird vom UAS-Betreiber zur Authentifizierung und zur Anforderung eines Datenstroms für das UAS und/oder die Mission verwendet. Auf der Grundlage der Berechtigungsstufe des Betreibers, des UAS und der Mission erstellt die Software einen maßgeschneiderten gefilterten Verkehrsdatenstrom für den Betreiber. Dieser Datenstrom wird dann über eine WSS/MQTT-Verbindung an den Betreiber übermittelt.

Die Filterfunktion im Track-Datenstrom beschränkt die dem Betreiber zur Verfügung gestellten Flugspuren auf den interessierenden Bereich (seitliche und vertikale Grenzen) und kann auch Informationen über bestimmte Operationen (z.B. Militär, BOS) blockieren. Im Rahmen des VISION-Konzeptes wurde sich auf diesen Gebietsfilter konzentriert, aber konzeptionell kann der maßgeschneiderte Filter erweitert werden, um bestimmte Verkehrsklassen zu blockieren oder Datenelemente wie das Rufzeichen umzuschreiben, um die Anonymität des übrigen Luftverkehrs zu gewährleisten.

¹ Eine REST-API ist eine Schnittstelle (Application Programming Interface, API) die webbasierte Anwendungen in der Kommunikation untereinander unterstützt. REST steht dabei für „Representational State Transfer“.

² MQTT (Message Queueing Telemetry Transport) ist ein offenes Netzwerkprotokoll für Machine-to-Machine-Kommunikation, das die Übertragung von Telemetriedaten in Form von Nachrichten zwischen Geräten ermöglicht.

Die Architektur des Track-Service ist für eine horizontale Skalierung ausgelegt. Das heißt, wenn die Zahl der Nutzer des Service steigt, kann die Kapazität des Systems durch Hinzufügen zusätzlicher Server erhöht werden. Die Last wird automatisch auf die verfügbaren Server verteilt. Dies gewährleistet, dass der Dienst skalierbar, aber auch robust ist, falls ein Server ausfallen sollte.

Abschlussdemonstration

Mit einer Praxis-Demonstration in Dortmund Anfang November 2021 und einem virtuellen Abschlusstreffen im Dezember 2021 wurde das Projekt erfolgreich abgeschlossen.

Bei der Praxis-Demonstration hat die Dortmunder Feuerwehr bei einer Live-Vorführung auf dem Gelände des Zentrallagers eines großen Möbelhändlers in Dortmund Ende November 2021 gezeigt, wie unbemannte Flugsysteme bei zeitkritischen Einsätzen effizient unterstützen können. Dabei wurden UAS zur Gewinnung von Lageinformationen über LTE-Mobilfunk Live-Streaming, bei einem simulierten Einsatz zur Vermisstensuche bei ungenauer Ortsangabe und einer simulierten ABC-Lage (Gefahrenstoffunglück in einer Lagerhalle) eingesetzt.

Die vermisste Person konnte per Kippflügler-UAS mit einer Infrarotkamera schnell in einem Feld in der Umgebung ausfindig gemacht werden. Abbildung 4 zeigt den in der Demonstration eingesetzten Kippflügler und Abbildung 5 das Lagebild für den BOS-UAS-Betreiber aus dem UTM-System der DFS.



Abbildung 4: Eingesetzter Kippflügler der flyXdrive.

Per Luftaufnahme mit demselben Flugsystem konnte der Einsatzleiter der Feuerwehr noch vor dem Eintreffen der Rettungskräfte einen Überblick über

das Geschehen bei der simulierten ABC-Lage an einer Lagerhalle erhalten und die Rettungskräfte ohne Verzögerung sofort richtig einsetzen. Eine weitere indoor-fähige Drohne zeigte dann das Gebäude von innen. Dabei konnten sowohl die Anzahl an verletzten Personen als auch der Weg zur Rettung dieser Menschen festgestellt werden. Insgesamt konnte die erfolgreiche Demonstration eindrucksvoll die Möglichkeiten von UAS für BOS-Kräfte aufzeigen.

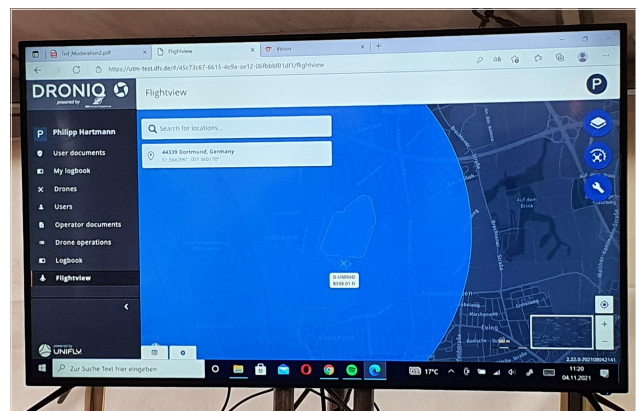


Abbildung 5: Live-Lagebild des UTM-Systems während der Abschlussdemonstration.

Kontakt und weitere Informationen

- <https://vision-mfund.de/>
- <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/vision.html>

Über mFUND

Im Rahmen der Innovationsinitiative mFUND fördert das BMDV seit 2016 datenbasierte Forschungs- und Entwicklungsprojekte für die digitale und vernetzte Mobilität 4.0. Die Projektförderung wird ergänzt durch eine aktive fachliche Vernetzung zwischen Akteuren aus Politik, Wirtschaft, Verwaltung und Forschung und durch die Bereitstellung von offenen Daten auf dem Portal mCLOUD. Weitere Informationen stehen unter <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/mFund/Ueberblick/ueberblick.html> zur Verfügung.

Referenzen

- [1] Ralf Heidger (2018), UAS Traffic Management (UTM) aus Sicht der DFS, Innovation im Fokus 2 - 2018.
- [2] Ralf Heidger, Kristijan Caprdja, Stephan Schuricht & Vincent Lamercy (2022), Die digitale Plattform für die unbemannte Luftfahrt, Innovation im Fokus 1 - 2022.

Abkürzungsverzeichnis

ABC-Lage	atomare, biologische oder chemische Gefahrenlage
AP	Arbeitspaket
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
DFS	DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
dipul	Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt
LTE	Long Term Evolution
M2M	offenes Netzwerkprotokoll für Machine-to-Machine-Kommunikation
MQTT	Ursprünglich Message Queueing Telemetry Transport, seit Version 3.1.1 jedoch kein Akronym mehr
NDZ	No Drone Zone
REST-API	Representational State Transfer – Application Programming Interface
RWTH Aachen	Reinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen
SCISP	Single Common Information Service Provider
UAS	Unmanned Aircraft System – unbemannte Luftfahrtsysteme
UTM	Unmanned Aircraft System Traffic Management
VISION	Vernetzte integrierte UAS-gestützte Datenerfassung und -aufbereitung für die Unterstützung von BOS im Bevölkerungsschutz
WSS	Web-Sockets

Spacing-Assistant for Leipzig and Munich Approach

Eliana Haugg & Jens Konopka

Deutsche Zusammenfassung

Zur Validierung eines neuen Lotsen-Unterstützungstools für den Endanflug wurden objektive und subjektive Daten in einer Echtzeitsimulation mit vier Fluglotsen aus Leipzig und München Approach erhoben. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Spacing-Assistent die mentale Beanspruchung verringert und das Situationsbewusstsein sowie die Vorplanung der Lotsen unterstützt. Bei der Übernahme einer Arbeitsposition zeigt sich das Potential Kapazität einzusparen, indem den Lotsen dabei geholfen wird, sich schnell mit der Situation vertraut zu machen. Des Weiteren kann der Spacing-Assistent dazu beitragen, den Start- und Landebahndurchsatz auch bei schlechtem Wetter zu stabilisieren. Bei der Arbeit mit dem Spacing-Assistenten war der Endanflug kürzer, was auf eine geringere Umwelt- und Lärmbelastung hindeutet.

Abstract

Before the COVID-19 pandemic and as the ATM industry recovers again, there is a growing demand for airport capacity. A possibility to meet this demand is to introduce revised wake turbulence categories and reduced separation minima according to RECAT. To enable air traffic controllers to memorize and apply these, DFS developed a Spacing-Assistant which shows the optimal turning point from the downwind to the final approach, the

minimum separation between aircraft, and their optimal spacing to achieve the separation target. It automatically detects gaps on the final and calculates turning points for aircraft on the downwind to fill these gaps. In mixed mode operations, it can also be actively used to plan gaps for departures between arrivals. Objective and subjective data were collected in a Real Time Simulation with four air traffic controllers from Leipzig and Munich Approach. Results indicate that the Spacing-Assistant supports the controllers' situational awareness and planning. It shows the potential to save capacity when taking over a working position by helping to quickly familiarize with the traffic situation and to stabilize runway throughput. When working with the Spacing-Assistant the final was shorter which implies a reduced environmental and noise impact. *Keywords: Spacing-Assistant; Final Approach; RECAT; Controller Assistance Tools; Automation*

Introduction

Despite the crisis caused by the COVID-19 pandemic and the war in Ukraine, total air traffic numbers in Europe are rising again (Eurocontrol, 2022 [1]). Among European hub-airports, there is a growing demand for airport capacity, especially for runway throughput. Spacing between aircraft on final approach has a significant impact on the efficiency of runway use at highly congested airports. A possibility to meet this demand is the implementation of

Table 1: ICAO wake turbulence categories and separation minima (Eurocontrol, 2018 [2]).

Leader/Follower	A380–800	HEAVY	MEDIUM	LIGHT
A380–800		6 NM	7 NM	8 NM
HEAVY MTOM $\geq$ 136 tons		4 NM	5 NM	6 NM
MEDIUM 7 tons $\leq$ MTOM < 136 tons				5 NM
LIGHT MTOM < 7 tons				

Table 2: ICAO wake turbulence categories and separation minima (Eurocontrol, 2018 [2]).

RECAT-EU Scheme		"SUPER HEAVY"	"UPPER HEAVY"	"LOWER HEAVY"	"UPPER MEDIUM"	"LOWER MEDIUM"	"LIGHT"
Leader / Follower		"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
"SUPER HEAVY"	"A"	3 NM	4 NM	5 NM	5 NM	6 NM	8 NM
"UPPER HEAVY"	"B"		3 NM	4 NM	4 NM	5 NM	7 NM
"LOWER HEAVY"	"C"		(*)	3 NM	3 NM	4 NM	6 NM
"UPPER MEDIUM"	"D"						5 NM
"LOWER MEDIUM"	"E"						4 NM
"LIGHT"	"F"						3 NM

Table 3: Difference in wake turbulence separation minima between ICAO and RECAT (Eurocontrol, 2018 [2]).

Follower		"SUPER HEAVY"	"UPPER HEAVY"	"LOWER HEAVY"	"UPPER MEDIUM"	"LOWER MEDIUM"	"LIGHT"
Leader		"A"	"B"	"C"	"D"	"E"	"F"
"SUPER HEAVY"	"A"	(+0.5) NM	-2 NM	-1 NM	-2 NM	-1 NM	
"UPPER HEAVY"	"B"		-1 NM		-1 NM		+1 NM
"LOWER HEAVY"	"C"		-1 (-1.5)NM	-1 NM	-2 NM	-1 NM	
"UPPER MEDIUM"	"D"						
"LOWER MEDIUM"	"E"						-1 NM

RECAT (Eurocontrol, 2018 [2]), which describes revised wake turbulence categories and reduced separation minima for a large variety of aircraft pairs. The reduction of separation minima is mainly possible due to research and increased knowledge of wake vortex behavior based on recorded data and understanding of physical processes. Today's ICAO separations are based on the certified Maximum Take Off Mass (MTOM) and aircraft are allocated into one of these three main categories: Light, Medium, and Heavy as described in table 1.

RECAT splits the ICAO Medium and Heavy categories

into 'Upper' and 'Lower' based on aircraft type characteristics as wake generation and wake resistance. Table 2 shows the revised separation minima according to RECAT. * means minimum radar separation (MRS), set at 2.5 NM, is applicable as per ICAO doc 4444 provisions.

As ICAO categorizes aircraft in a conservative way, separation is sometimes over-estimated. RECAT allows to reduce separation minima and increase runway throughput whilst maintaining acceptable levels of safety. Table 3 gives an overview of the differences in separation minima between ICAO and RECAT.

The figures provided within brackets correspond to an MRS of 2.5 NM as preference.

Consequently, the introduction of RECAT leads to a higher number of wake turbulence categories and a greater variety of separation minima which need to be memorized and considered by air traffic controllers. To enable the efficient application and successful introduction of RECAT, the Spacing-Assistant was developed by DFS within the FUTURE project (Fischer et al., 2022 [3]). This project was funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action in the 5th National Civil Aviation Research Program with the aim to make efficient use of the limited runway capacities.

„The Spacing Assistant“

The Spacing-Assistant was iteratively developed in four simulations with workshops from 2018 to 2021. During this time, functionalities and parameters were adapted to serve Leipzig and Munich Approach.

To specify where the Spacing-Assistant should be displayed, two Approach Area for the final and two BankIn Areas for the northern and southern downwind were defined. The geographical areas extend vertically up to FL80. The width and length are adjusted to the respective airports, so that downwind and final are each in separate detection areas. Figure 1 shows the Approach and BankIn Areas for Munich.

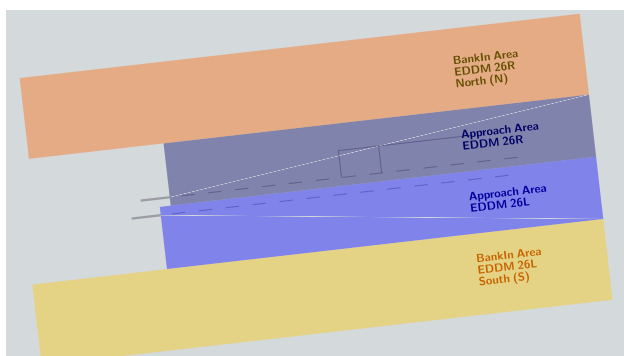


Figure 1: Approach and BankIn Areas for Munich.

As soon as an aircraft enters the Approach Area, it is automatically recognized as leader and marked with 'L' above the aircraft label. The aircraft with the shortest distance behind the leader is identified as follower and marked with 'F' above the aircraft label. The prescribed minimum separation is determined from the aircraft types of each pair, aircraft type information is taken from Mode-S.

The minimum separation is indicated as a red arc behind the leading aircraft. Based on the current traffic situation and prevailing wind, the algorithm calculates the ideal location of the following aircraft at that instant to achieve the separation target. This spacing is indicated by a green arc behind the leader. Furthermore, a circle on the downwind displays the follower's optimal turning point to the final approach. The algorithm considers the northern and southern runway separately but can also accommodate swing overs to the non-standard runway. Figure 2 displays a screenshot from the simulator with red and green arcs as well as turn recommendations.

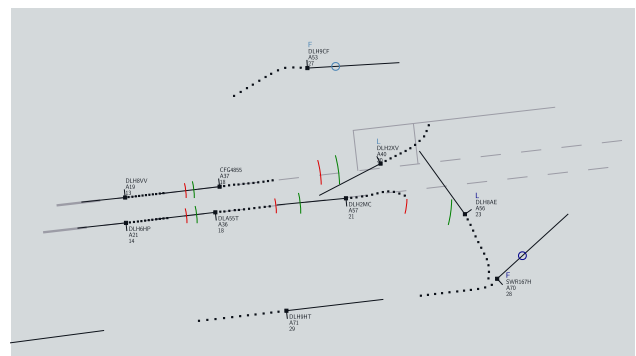


Figure 2: Spacing-Assistant with red/green arcs and turn recommendations.

The Spacing-Assistant can also be used to plan gaps for departures. This can be done using a drop-down menu via the leader 'L' or follower 'F' indicator above the aircraft label. The menu allows the selection of a distance between 5 NM and 10 NM (parameters are adaptable). After a suitable value has been selected, the circle with the turn recommendation for the follower is shifted to a different place on the downwind. At the same time, the letter 'F' or 'L' changes to red color. If the mouse cursor is held over the red letter, an information with the gap size appears. The menu does not need to be opened again to obtain this information.

For the final validation, the Spacing-Assistant was enhanced with an automatic detection of gaps on the final approach. If the distance between two aircraft in the Approach Area is large enough, another aircraft from the downwind can turn into the gap between the aircraft on the final. In this case the earliest and latest possible turning points are shown as circles with a connection in between. Figure 3 shows a turn recommendation for DLH2AC on the downwind for a certain period.

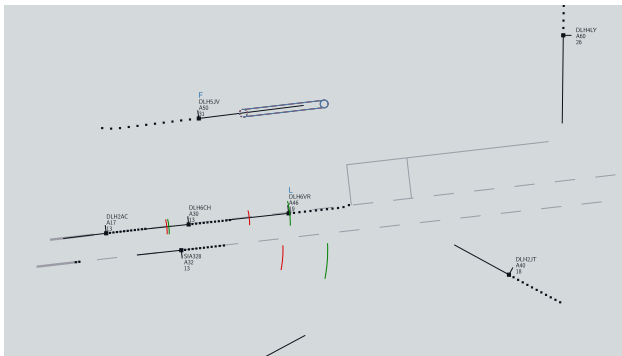


Figure 3: Spacing-Assistant with earliest and latest possible turning point.

In line with the controllers' intent to individually customize their workstation and interface (Huber et al., 2022 [4]), there is the possibility to activate or deactivate the elements of the Spacing-Assistant separately.

Research Question

The final validation assessed whether:

- Controller workload is reduced when using the Spacing-Assistant
- Situational awareness is improved when using the Spacing-Assistant
- Efficiency is improved when using the Spacing-Assistant
- The Spacing-Assistant supports the controllers to handle traffic safely

Method

Simulation environment

After the iterative development with various controllers from Munich and Leipzig, the Spacing-Assistant was finally validated in a one-week Real Time Simulation. Munich has a very busy approach with Arrival Manager for pre-planning of traffic. Leipzig, on the other hand, does not have a conventional approach, but a sector which includes the approach area. The airport is especially busy at night times with cargo aircraft.

Traffic scenarios for Munich were based on pre-pandemic data from July and October 2018. As cargo traffic at Leipzig was barely affected by the pandemic, data from July and March 2020 was used.

Temporally constant and homogeneous wind derived from Mode-S aircraft data was implemented. Two different wind fields were hereby used, one for the movement of the aircraft in the simulator and another for the trajectory calculation of the planning system.

The simulation was carried out on the Real Time Simulation system NewSim of DFS in Langen. A Very Advanced display was used, flight plan data processing and display system were modelled based on the P1/VAFORIT system (operational in Karlsruhe Upper Area Control Center), which can be quickly adapted to new requirements. The simulation set-up comprised one pick-up and one feeder position (serving both runways) for Leipzig and Munich, respectively. The aircraft in the simulation were handled by DFS pseudo-pilots in a different room.

Experimental conditions and data collection

To validate the Spacing-Assistant, three experimental conditions were compared:

- Baseline without tool support
- Red arc only
- Complete Spacing-Assistant (red and green arc, turn recommendation)

Air traffic scenarios of one hour each were presented with moderate or strong wind, respectively. Altogether, twelve simulations runs were conducted. Various data were collected during the validation. Among them were the following objective data recorded by the simulator:

- Number of aircraft with average flight duration and flight distance in the sector
- Number of pseudo-pilot inputs such as directs, altitude, speed, and heading changes, descent rates, ILS clearances, and transfers to tower
- Number and average duration of radio transmissions
- Number of arrivals and departures
- Landing sequence and, if applicable, separation infringements
- Descent profiles

Furthermore, subjective data from questionnaires and debriefings were collected:

- Online questionnaires: Instantaneous Self-Assessment (Endsley, 1995 [5]) and Self-Assessment of Situational Awareness. Every five minutes during the run.

- Post-Run Questionnaire: Bedford Workload Scale (Roscoe & Ellis, 1995 [6]), China Lakes Situational Awareness Scale (Adams, 1998 [7]) as well as individual questions. After each run.
- Debriefing: general comments on the run and system performance, workload, situational awareness, efficiency, and safety, as well as elements of the Spacing-Assistant. After each run.
- Final Questionnaire: questions about satisfaction with the simulation, realism of scenarios and pseudo-pilot performance, questions regarding the Human Machine Interface (HMI) and concluding questions about the Spacing-Assistant. QUESI Questionnaire for Intuitive Use (Hurtienne & Naumann, 2010 [8]), two questions from the MeCUE Questionnaire for the evaluation of interactive products (Minge et al., 2017 [9]). At the end of the validation week.
- Final debriefing: benefit of the complete Spacing-Assistant (red and green arc, turn recommendation) compared to a reduced implementation (red arc only) was discussed, the benefits of the spacing assistant for operational use were concluded. At the end of the validation week.

Participants

The final validation was conducted with four participants, two Munich approach controllers and two Leipzig controllers (age $M = 37$, $SD = 5.2$, working experience $M = 13.5$ years, $SD = 5.6$).

Controllers with a Munich approach license usually only handle the approach and departure area of Munich which results in a very high level of proficiency in this specific task. The controllers from Leipzig, on the other hand, handle the Thuringia sector, which is a lower airspace sector with an approach area. Consequently, they work less frequently in approach and have less routine compared to the participants from Munich. Leipzig controllers reported that high traffic peaks as presented in the final validation are only experienced approximately every six weeks (when they work on the feeder position and have nightshifts with high traffic from cargo aircraft).

Results

At the beginning of the validation campaign, a briefing was held to explain the aims of the validation, the functionalities of the Spacing-Assistant together with the HMI, as well as data collection methods. After-

wards two training runs were conducted to give the participants the opportunity to get familiar with the Spacing-Assistant. Each participant was assigned once to the pick-up and once to the feeder position. After the training runs, a short debriefing took place and a questionnaire on demographics and training was completed. As the controllers stated that the Spacing-Assistant was well explained and the training time was sufficient, it was concluded that the validation could be carried out in a meaningful way.

The total number of participants at the final validation does not allow any statistical significance tests. Therefore, mean values are reported, and tendencies described. The focus of the analysis is on the feeder position as this is where the Spacing-Assistant is used.

Workload

Figure 4 and 5 illustrate the mean online workload ratings from the Instantaneous Self-Assessment at the feeder position for Munich and Leipzig over the simulation period.

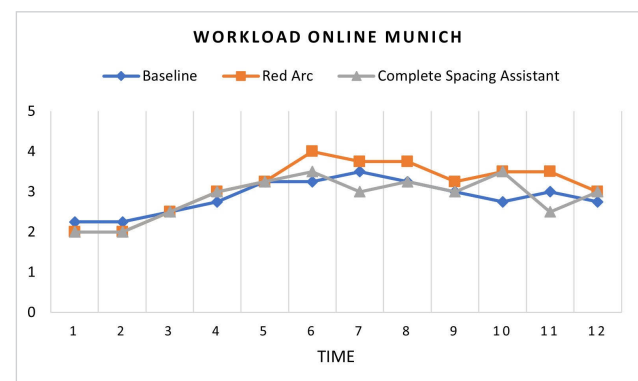


Figure 4: Instantaneous Self-Assessment online Munich.

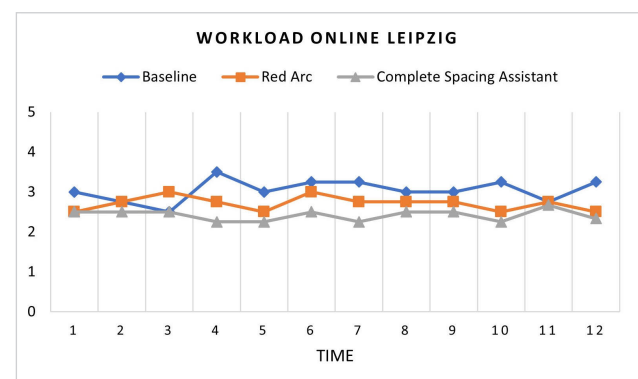


Figure 5: Instantaneous Self-Assessment online Leipzig.

In Munich, slightly higher ratings were reported for the condition with a red arc only.

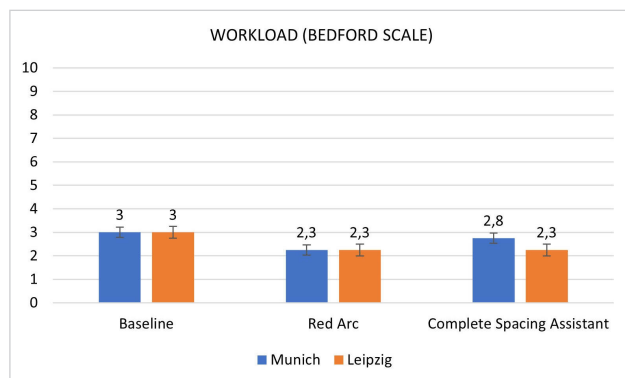


Figure 6: Bedford Workload Scale Munich and Leipzig.

For Leipzig, ISA shows a reduction of workload with the red arc and a further reduction with the complete Spacing-Assistant.

Figure 6 illustrates the mean Post-Run Questionnaire ratings for the Bedford Workload Scale. In Munich, workload tended to be reduced with tool support, the condition with only red arc showing the lowest mean workload. In Leipzig, the workload was reduced equally in both conditions with tool support. In general, however, only a slight reduction in workload was observed.

In the debriefing the controllers stated that the mental demand in runs with Spacing-Assistant was lower. They did not need to memorize the spacing between aircraft pairs and find the optimal turning point themselves. Without these visual reminders, they had to concentrate much more. The result of their work did not differ significantly from the runs with the Spacing-Assistant but was perceived as more demanding and stressful.

The visual reminder made it much easier and more accurate to determine the distance (milage) between two aircraft. The A/C-A/C line, a tool for measuring the distance between two targets on the radar screen, was hardly used in runs with the red arcs or complete Spacing-Assistant. Controllers also found it easier to monitor the arcs than the A/C-A/C lines. The red arc also eliminated the need to search for heavy type aircraft by checking the labels, which also occupies mental capacity.

As the turn recommendation gave the controllers a reference for the ideal moment to instruct the base-turn, they could determine whether they were early or late for the turn and issue an appropriate heading. Consequently, with the Spacing-Assistant less re-adjustments and fewer heading instructions had to be given overall, resulting in lower workload.

Due to their high level of proficiency in approach, the Munich controllers stated that they would use the complete Spacing Assistant when taking over a working position but would then revert to using the red arcs only. Leipzig controllers tended to continue using the complete Spacing-Assistant.

Situational Awareness

Figure 7 and 8 show the mean online ratings for situational awareness at the feeder position for Munich and Leipzig over the simulation period. Overall, a very high level of situational awareness could be observed in all conditions.

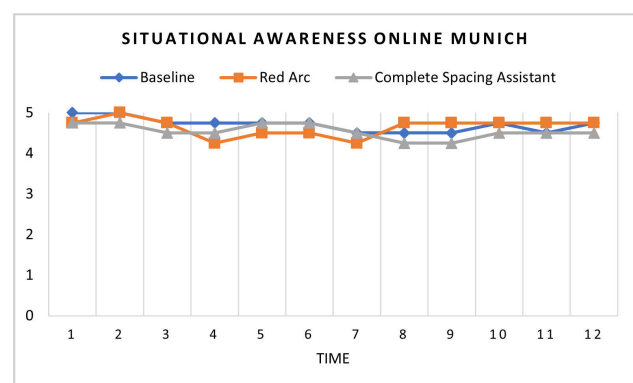


Figure 7: Situational Awareness online Munich.

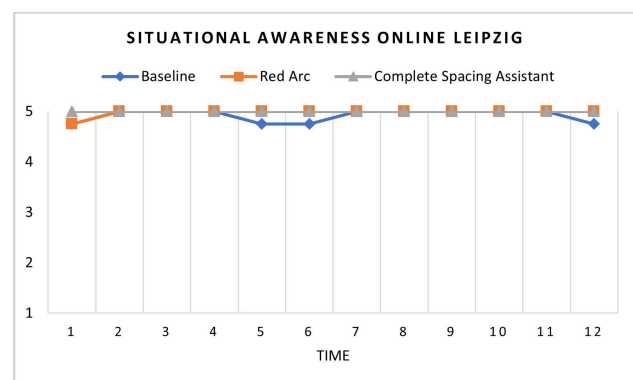


Figure 8: Situational Awareness online Leipzig.

The mean China Lakes ratings from the Post-Run Questionnaire in figure 9 demonstrate a slight increase in situational awareness at the feeder position for Munich with the complete Spacing-Assistant.

The feeders from Leipzig rated the situational awareness with red arc and complete Spacing-Assistant higher than without support tools. The mean rating for the condition with the red arc was $M = 9.0$, the complete Spacing-Assistant even higher with $M = 9.5$.

In the Final Questionnaire, the controllers rated the statement that the Spacing-Assistant improved their

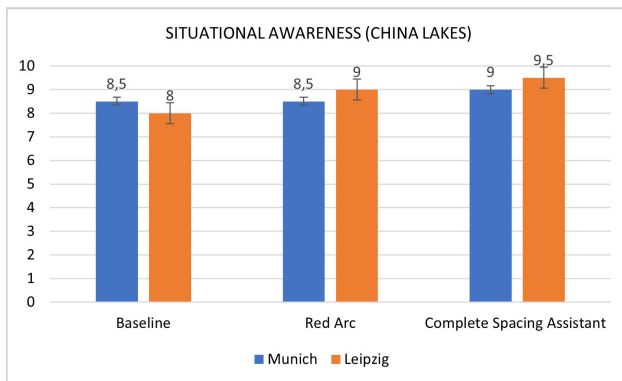


Figure 9: Situational awareness China Lakes Munich and Leipzig.

situational awareness with a mean value of $M = 5.0$ on a six-point scale (1 = not at all true; 6 = completely true). In the debriefings, the controllers also confirmed that the Spacing-Assistant supported their situational awareness. The arcs indicated the minimum separation and optimum spacing immediately. The visual reminder made it less likely to miss the optimal moment for the turn.

The Spacing-Assistant also helped the controllers to structure and plan their work. They could exactly calculate the time to reach the optimal turning point. Depending on this, they could plan and prioritize their next actions. For example, they could issue a speed reduction to an aircraft and send another aircraft to the tower in the remaining time until reaching the turning point. Overall, the controllers felt they were better organized and had more time available, which they could use e.g., for coordination and planning.

Efficiency

Figure 10 shows the mean ratings for efficiency in the Post-Run Questionnaire. The results indicate an equivalent increase for Munich with the red arc only and the complete Spacing-Assistant in comparison

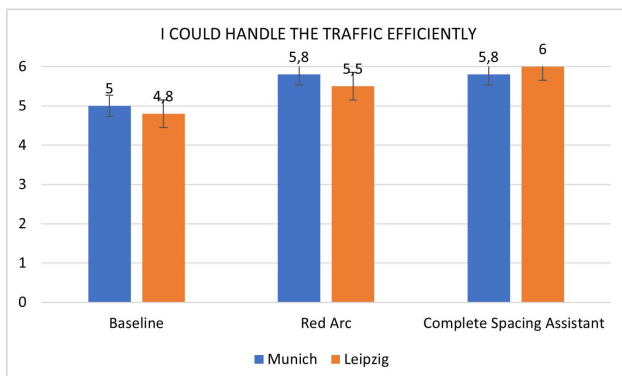


Figure 10: Post-Run efficiency for Munich and Leipzig.

to the baseline, while the participants from Leipzig rated the efficiency of the complete Spacing-Assistant higher than the red arc.

In the Final Questionnaire, the participants also confirmed the statement 'The Spacing-Assistant helped me to make optimal use of the runway capacities' with a mean value of $M = 5.0$ on the six-point scale. In the debriefing, the controllers stated that they could work more efficiently with the Spacing-Assistant. Due to the indication of the optimal turning point, fewer heading adjustments were needed. They were better organized, and the final was shorter which leads to lower fuel consumption, less CO₂-emissions and noise.

With RECAT and the Spacing-Assistant it is possible to reduce the spacing between various aircraft pairs. For example, the spacing of an A300 in front of a B737 is reduced. Without knowing the RECAT value, controllers would calculate 5 NM instead of 4 NM and lose runway capacity. The controllers agreed that an introduction and increased use of RECAT is only possible with appropriate tool support, at least through the red arc indicating the minimum separation between aircraft pairs.

Safety

The analysis of simulator data revealed two actual separation infringements for Munich. One of them occurred in the baseline condition without tool support, the other one in a condition with complete Spacing-Assistant. With this limited occurrence, to tendency can be derived. The mean results of the Post-Run Questionnaire in figure 11 show that the controllers could handle the traffic very safely in all conditions. With support from the red arc or the complete Spacing-Assistant, safety was rated minimally higher than without support.

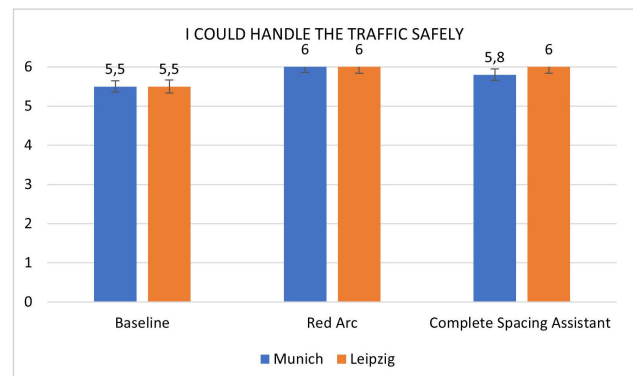


Figure 11: Post-Run safety for Munich and Leipzig.

In the Final Questionnaire, the participants rated the statement 'The Spacing-Assistant helped me to maintain separation minima' with a mean value of $M = 4.75$ on the six-point scale. During the debriefing, the controllers agreed that separation minima were always correct, and the recommendations of the Spacing-Assistant met the controllers' expectations. There was no need to search for heavy type aircraft and no risk of overlooking them. It was also stated that they felt better organized with the support of the Spacing-Assistant. This (subjective) additional mental capacity can be beneficial for safety, e.g., in case of emergencies.

Discussion

The Spacing-Assistant was positively evaluated by the participants. From the limited data gathered during the validation, tendencies toward a reduction of workload and an increase of situational awareness, efficiency and the feeling of safety can be derived. To confirm these results the Spacing-Assistant would have to be validated with a broader sample.

Nevertheless, from the statements collected in the debriefings, it is evident that the controllers from Munich and Leipzig considered the Spacing-Assistant to be reliable and beneficial for operational use.

The Spacing-Assistant was used as a mental support to apply the correct separation minima. Furthermore, it helped to identify aircraft in the wake turbulence category Heavy and reduced the risk of overlooking them. In addition, it enables better planning of the next steps and thus a reduction of clearances and radio transmissions.

In the final debriefing it was discussed in which situations the Spacing-Assistant is most useful. On the one hand, these are situations with high traffic when the downwind is well filled. In low traffic periods when many aircraft are directly routed over the base, the Spacing-Assistant can be applied less often and thus, the benefit is lower. On the other hand, the benefit of the Spacing-Assistant is high at airports with mixed mode operations, as the Spacing-Assistant can be used for an easy and exact planning of departure gaps between arrivals. This is the case for many hub airports.

Moreover, the assistance tool is particularly useful for controllers with less proficiency in approach to find the optimal turning point to the final and make best use of runway capacity.

During shift changes, the Spacing-Assistant simplifies the handover and shortens the familiarization phase. This phase usually lasts up to 15 minutes, during which the controllers acquire a feeling for weather conditions, prevailing wind and turn performance of aircraft. In this way, a capacity gain of 1–2 movements with each shift change is considered possible. Finally, the Spacing-Assistant helps to stabilize runway throughput, for example under adverse weather conditions. The controllers stated that tool support will be necessary for the introduction of RECAT (if the benefits of RECAT are to be fully exploited), as it is not possible to memorize all aircraft pairs and the related separation minima. For the way forward, they agreed on the following priorities for implementation:

1. Red arc
2. Turn recommendation
3. Green arc

If only the red arc would be implemented, the minimum separation between aircraft would also have to be specified as a numerical value.

Acknowledgements

We thank all controllers and supervisors who supported the development and evaluation of the Spacing-Assistant. This article was published in the Proceedings of the 34th Conference of the European Association for Aviation Psychology, Vol. 66, Eliana Haugg, Jens Konopka, Spacing-Assistant for Leipzig and Munich Approach, pp. 292-303, Copyright Elsevier (2022).

Abbreviation

A/C	Aircraft
ATM	Air Traffic Management
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
FUTURE	Project „Fluglotsen-Unterstützung Endanflug“
HMI	Human Machine Interface
ICAO	International Civil Aviation Organization
ILS	ICAO Instrument Landing System
ISA	Instantaneous Self-Assessment
Mode-S	a standard radar format
NM	Nautical Miles
RECAT	Re-Categorization (of Aircraft regarding Wake vortex/turbulence)

References

- [1] Eurocontrol, 2022. Forecast Update 2022–2024. European Flight Movements and Service Units. Recovery from COVID-19 and Russian Invasion of Ukraine.
- [2] Eurocontrol, 2018. RECAT-EU European Wake Turbulence Categorisation and Separation Minima on Approach and Departure, Edition 1.2.
- [3] Fischer, H., Haugg, E., Konopka, J., Marquard, S., Schmand, C. & Stanzel, S., 2022. Luftfahrtforschungsprogramm 2018–2022, Fluglotsen-Unterstützung Endanflug, Schlussbericht der DFS, Langen.
- [4] Huber, S., Gramlich, J., Pauli, S., Mundschenk, S., Haugg, E., & Grundgeiger, T. (2022). Toward Improving User Experience in ATC: Exploring Novel Interface Concepts [In Press]. *Interacting with Computers*. Retrieved May 5, 2023 from <https://doi.org/10.1093/iwc/iwac032>
- [5] Endsley, M., 1995. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors* (37), p. 35, 1995.
- [6] Roscoe, A. H.; Ellis, G. A., 1990. A Subjective Rating Scale for Assessing Pilot Workload in Flight: A decade of Practical Use. (Tech. Rep. No. TR90019). Farnborough, England: Royal Aeronautical Establishment.
- [7] Adams, S., 1998. Practical considerations for measuring Situational Awareness. *Proceedings for the Third Annual Symposium and Exhibition on Situational Awareness in the Tactical Air Environment*, 157–164.
- [8] Hurtienne, J., & Naumann, A., 2010. QUESI-A questionnaire for measuring the subjective consequences of intuitive use. *Interdisciplinary College*, 536.
- [9] Minge, M., Thüring, M., Wagner, I., & Kuhr, C. V., 2017. The meCUE questionnaire: a modular tool for measuring user experience. *Advances in Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations* (pp. 115–128). Springer, Cham.

Human Interface Devices (HID) - Zuverlässigkeit in der Flugverkehrskontrolle

Melanie Vukas (Hochschule Karlsruhe -Technik und Wirtschaft)

Einleitung

Der vorliegende Artikel befasst sich mit der Arbeitsweise und dem Ausfallrisiko von Human Interface Devices (HID) in der Flugverkehrskontrolle. Die dargelegten Ergebnisse sind Gegenstand der Bachelorarbeit der Autorin [1]. Im Verlauf des Dezembers 2021 wurden bei der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH am Standort Karlsruhe mehr als 48 defekte Computermäuse von Fluglotsen ausgetauscht und anschließend entsorgt.

Um die hohe Ausfallrate von Computermäusen zu untersuchen, wurde ein automatisierter Teststand entwickelt. Dieser dient zur Problemeingrenzung und soll in Zukunft auch zur Untersuchung neuer Computermäusemodelle dienen.

Der Teststand führt das Klicken einer Computermouse automatisiert durch, bis diese ein Fehlverhalten aufweist. Neben der im Rahmen dieser Arbeit getesteten Computermouse, ermöglicht der flexible Aufbau des Teststandes die Untersuchung von anderen Computermousemodellen. Diese Untersuchung kann, durch ihre einfache Bedienung, von nicht fachkundigem Personal durchgeführt werden. Die Verwendung eines Minicomputers ermöglicht die Durchführung ohne zusätzliche Endgeräte.

Um zukünftige Ergebnisse des Teststandes vergleichen zu können, werden von den Fluglotsen zusätzlich Statistiken bezüglich des Nutzungsverhaltens der Computermäuse erhoben. Die Statistiken geben Aufschluss über die durchschnittliche Benutzung der jeweiligen Maustasten an ausgewählten verkehrsreichen Wochentagen.

Automatisierter Teststand

Um eine qualitative Aussage über den Ausfallgrund und die Lebensdauer der Computermäuse zu treffen, wird ein automatisierter Teststand nach dem schematischen Aufbau, der in Abbildung 1 dargestellt wird, entwickelt. Der Minicomputer (Raspberry Pi), führt das selbst entwickelte Python-Programm aus

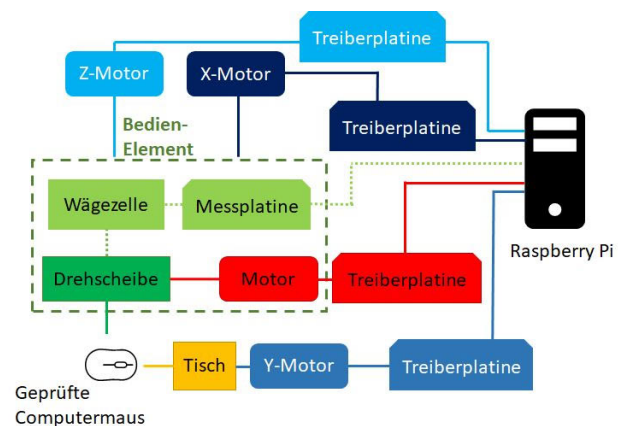


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Teststandes.

und sendet die entsprechenden Signale an die drei Treiberplatinen. Des Weiteren empfängt er die Daten der Messplatine und verarbeitet diese.

Der Tisch selbst verfährt auf der Y-Achse. Das Bedienelement, welches für das Ausführen der Klicks und das Drehen des Scrollrads zuständig ist, setzt sich aus einer Drehscheibe, einem Schrittmotor und einer Wägezelle zusammen. Das Bedienelement verfährt sowohl auf der X-Achse als auch auf der Z-Achse.

Der Teststand ist in seinem mechanischen Aufbau einfach gehalten. Dieser ist mittels Aluminiumprofilsystemen, wie sie in der Industrie verwendet werden, realisiert worden. Dies ist in Abbildung 2 ersichtlich.

Das Bedienelement

Das Bedienelement setzt sich aus der Drehscheibe, dem Schrittmotor, der Wägezelle und der Messplatine zusammen. In Abbildung 3 sind die einzelnen Bestandteile dargestellt und beschriftet.

Aus Sicherheitsgründen darf das Bedienelement zum einen auf der Z-Achse bis maximal 10 mm oberhalb des Tisches verfahren und zum anderen mit einer maximalen Kraft von 8 N auf eine Oberfläche einwirken.

Der Prüfling muss an keiner exakten Position eingespannt werden, was der Vorbeugung von Fehlern dient. Des Weiteren ist das Testen einer Computermaus ohne manuelle Eingabe der Maße möglich.

Der Schrittmotor der Drehscheibe ist über eine Wägezelle mit einem fahrbaren Aluprofil verbunden. Da die Wägezelle starr mit der Drehscheibe verbunden ist, kann die Kraft, die auf die Computermaus einwirkt, direkt bestimmt werden.

Die Messplatine, welche sowohl mit der Wägezelle als auch mit dem Raspberry Pi verbunden ist, versorgt die Wägezelle mit Spannung. Des Weiteren misst sie die Brückenspannung und wandelt das analoge Signal in ein digitales um. Dieses wird vom Raspberry Pi ausgelesen und verarbeitet.

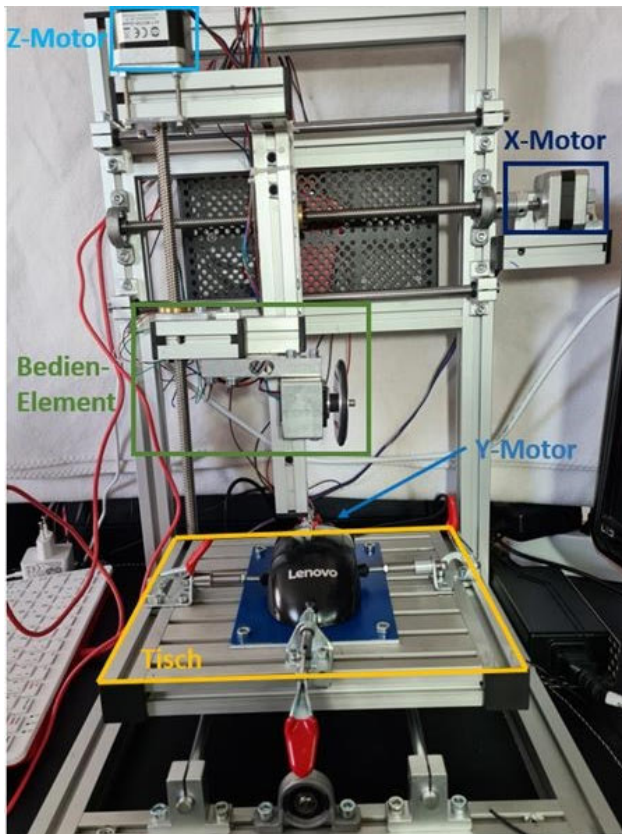


Abbildung 2: Der Teststand, bestehend aus dem Tisch, auf dem der Prüfling eingespannt ist, dem Bedienelement und den Motoren.

Die Steuereinheit

Die Steuereinheit befindet sich auf der Rückseite des Teststandes in einem Kasten. Die Steuerelemente werden durch den Kasten unter anderem vor ungewolltem Berühren geschützt. Um einer Überhitzung vorzubeugen, besitzt dieser Luftlöcher.

Verbunden sind die Hauptplatine und der Raspberry Pi mittels eines Integrated Device Electronics (IDE)-Kabels. Die Computermaus und die Tastatur sind mittels USB-Kabel und der Bildschirm mittels DisplayPort angeschlossen.

Der Raspberry Pi ist die Programmierschnittstelle des Teststandes. Auf ihm wird das Python-Programm zur Steuerung und Bedienung des Teststandes ausgeführt. Bedient wird der Minicomputer über seine grafische Benutzeroberfläche auf dem Bildschirm mittels Computermaus und Tastatur. Er dient ebenfalls als Steuergerät der Motoren und verarbeitet die Messdaten des Sensors, welche ebenfalls für die Steuerung der Motoren ausschlaggebend sind. Des Weiteren verarbeitet er die Rückgabesignale des Prüflings und wertet diese aus.

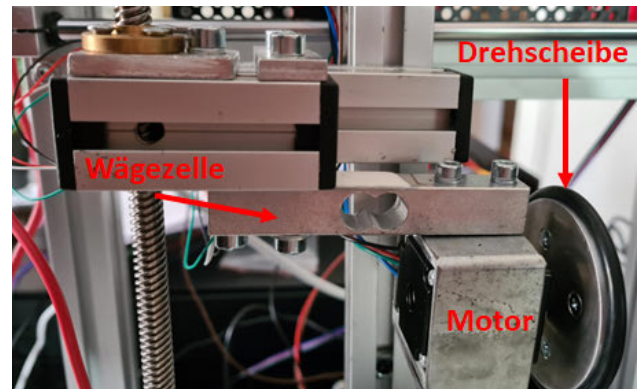


Abbildung 3: Das Bedienelement.

Die Hauptplatine ist im Kasten fest verschraubt. Sie besteht aus zwei Teilplatten, die übereinander mit Abstandshaltern verschraubt sind. Die Teilplatten bestehen jeweils aus zwei einzelnen Treiberplatten und einem Entkopplungskondensator für jede Treiberplatte. Um die Treiberplatte vor Spannungsspitzen zu schützen, wird ein Kondensator von 100 μF zwischen dem Netzteil und den Anschlüssen für die Stromversorgung der Treiberplatte verbaut.

Das Netzteil versorgt die Treiberplatten über zwei Installationsklemmen mit Spannung. Diese sind parallel zueinander angeschlossen. Diese versorgen die Schrittmotoren mit Spannung. Bevor die Motoren eingesetzt werden können, muss mit Hilfe des Potentiometers auf der Treiberplatte die Strombegrenzung für jeden Motor eingestellt werden. Der maximale Strom des jeweiligen Schrittmotors wird vom Hersteller angegeben.

Der Vortrieb der jeweiligen Achsen wird von jeweils einem Schrittmotor mittels eines Spindelantriebs umgesetzt. Um Schwingungen der Gewindestange

zu vermeiden, werden diese auf der X- und Y-Achse an beiden Enden fixiert. Zusätzlich verfahren diese jeweils mit zwei Führungsspindeln. Gesteuert werden die Schrittmotoren mit einem selbst erstellten Python-Programm und den eben beschriebenen Treiberplatinen.

Der Testvorgang

Zunächst muss eine Computermaus eingespannt werden. Dies geschieht mittels Schnellspannern. Die Computermaus soll nicht bewegt werden können, jedoch nicht die Tasten beeinträchtigen. Anschließend wird der Prüfling über einen USB-Anschluss mit dem Raspberry Pi verbunden und das Programm gestartet.

Das Python-Programm fährt die X-Y-Ebene innerhalb der vorgegebenen blauen Fläche auf dem Tisch, wie in Abbildung 2 ersichtlich, systematisch von der Mitte heraus ab.

Währenddessen verfährt das Bedienelement auf der Z-Achse bis maximal 10 mm oberhalb des Tisches. Solange das Bedienelement, vor Erreichen der vorgegebenen Endposition der Z-Achse, einen mechanischen Widerstand feststellt, wird diese Position gespeichert. Des Weiteren wird bei Auftreten eines mechanischen Widerstands geprüft, ob die Computermaus ein Signal zurückgibt. Ist dies nicht der Fall, so gehört diese Position zu einem nicht bedienbaren Bereich der Computermaus.

Verfährt das Bedienelement auf der Z-Achse bis zur Endlage ohne vorherigen Widerstand, liegt diese Position außerhalb des eingespannten Prüflings. Alle weiteren Positionen, welche außerhalb dieses Punktes liegen, werden nicht mehr angefahren.

Nachdem alle bedienbaren Bereiche der Computermaus gespeichert worden sind, werden die einzelnen bedienbaren Elemente an jeweils acht Stellen erneut angefahren. Jetzt wird geprüft mit welcher Kraft mindestens auf die Computermaus eingewirkt werden muss, um einen Rückgabewert zu erhalten.

Mit Hilfe der Mindest- und Maximalkraft wird die Variationsbreite aufgespannt. Die Krafteinwirkung wird mittels Zufallsprinzips generiert. Bei jeder Interaktion mit der Computermaus, sendet diese einen Rückgabewert an den Raspberry Pi. Dieser vergleicht den Rückgabewert mit der ausgeführten Aktion und verarbeitet das Ergebnis. Die häufigsten Ausfallgründe dieser Computermäuse belaufen sich auf das Prellen oder das nicht reagieren.

Beginnt eine Computermaus zu prellen, gibt diese mehr Signale zurück als Aktionen durchgeführt worden sind. Reagiert die Computermaus nicht, werden keine Werte zurückgegeben. Dies wird in automatisiert in einer Textdatei protokolliert. Auf diese Weise kann untersucht werden, ab welchem Zeitpunkt die Computermaus ein Fehlverhalten aufweist und in welchen Abständen dies auftritt.

Erhebung der Nutzungsdaten

Um eine qualitative Aussage darüber zu treffen nach welchem Zeitraum die Computermäuse ein Fehlverhalten aufweisen, werden vergleichbare Statistiken erstellt. Um Statistiken bezüglich der Beanspruchung der Computermäuse von den Lotsen zu erstellen, müssen diese Daten zunächst erhoben werden. Hierfür wurde die Nutzung der Computermäuse der Lotsen, über einen Zeitraum von 20 Wochen protokolliert und gespeichert. Jede Konsole, die zur Überwachung des Flugverkehrs genutzt wird, besitzt einen Rekorder. Auf den einzelnen Rekordern wird für jeden Tag eine eigene Logdatei erstellt. Der Zugriff auf die Logdateien erfolgt über einen Computer mit dem Betriebssystem Linux.

Die VRAPAS ist eine Computerschnittstelle, welche unter anderem mit dem Rekorder verbunden ist. Über die Bash der VRAPAS wird das erste Skript aufgerufen, welches eine Verbindung mit allen Rekordern herstellt. Auf den jeweiligen Rekordern wird eine RAM-Disk, eine virtuelle Festplatte, erstellt. Dort findet die eigentliche Datenerhebung statt. Dies ermöglicht die weitere reibungslose Aufzeichnung der Überwachung des laufenden Flugverkehrs. Das Interpretieren der Logdateien erfolgt mit einem Python Programm. Mit Hilfe von definierten Bitmustern, dessen Entschlüsselung in Tabelle 1 dargestellt wird, werden lediglich die Mausclicks herausgefiltert und interpretiert. Ist die Logdatei vollständig durchsucht und interpretiert worden, wird das Python-Programm beendet. Und das sogenannte Mutterskript auf der VRAPAS informiert. Die neu erstellten Logdateien werden komprimiert und kopiert. Die gesammelten Daten werden anschließend automatisiert in eine Datenbank geschrieben und ausgewertet.

Ein Ausschnitt der Ergebnisse der Nutzungsdaten ist in Tabelle 2 abgebildet. Hierbei werden die Tage mit den meisten aktiven Hosts vorgestellt. Im Einzelnen wird gezeigt, welche Maustasten an den jeweiligen Wochentagen durchschnittlich wie oft betätigt worden sind.

Tabelle 1: Aufschlüsselung des Bitmusters der Computermäuse Aktionen (MT = Maustaste).

Bits	Binär	Aktion
0000 0000	0	Loslassen aller MT
0000 0001	1	Linke MT
0000 0010	2	Rechte MT
0000 0011	3	Mittlere MT
0000 0100	4	Linke und rechte MT
0000 0101	5	Rechte und mittlere MT
0000 0110	6	Linke, rechte und mittlere MT
0000 1000	8	Hochscrollen
0001 0000	16	Runterscrollen

Da nicht immer alle Konsolen online sind, werden zusätzlich die im Schnitt aktiven Konsolen zu diesem Tag aufgezeigt. An einer Konsole werden somit zwischen ca. 630 bis 760 Klicks pro Tag erfasst.

Zusammenfassung

Damit das Sicherheitsrisiko der Luftraumüberwachung durch die DFS in Karlsruhe reduziert werden kann, ist die Minimierung der Ausfälle von HID notwendig. Da vor allem die Computermäuse vermehrt ausfallen, wurde ein automatisierter Teststand entwickelt, der das Fehlverhalten der Computermäuse untersucht. Zunächst wurde eine statistische Auswertung der realen Nutzungsdaten der Fluglotsen erhoben. Mit den Ergebnissen kann eine Aussage über das Nutzungsverhalten der Computermäuse durch die Fluglotsen getroffen werden. Anhand der, vom Teststand zukünftig gewonnenen Daten, lässt sich eine qualitative Aussage über die mögliche Nutzungsdauer, bis zum Auftreten von Fehlverhalten, treffen.

Das Herzstück des Teststandes bildet der Raspberry Pi. Er verarbeitet die Daten der Wägezelle und steuert die einzelnen Aktoren des Teststandes über ein Python-Programm. Die Automatisierung des Teststandes ermöglicht die Bedienung durch nicht fachkundiges Personal. Zudem reduziert die Automatisierung den Zeitaufwand zur Untersuchung der Computermäuse, da der Teststand ohne Unterbrechung arbeiten kann. Die Daten werden automatisch, in Form einer Textdatei gespeichert und sind somit jederzeit, auch nach Beenden des Programms, abrufbar. Der flexible Aufbau ermöglicht zudem die Analyse verschiedener Computermäusemodelle. Der in dieser Arbeit entwickelte Teststand ermöglicht eine kostengünstige Untersuchung von Computermäusen bezüglich des Ausfallverhaltens.

Abkürzungsverzeichnis

Bash	Bourne-again Shell
HID	Human Interface Devices
IDE	Integrated Device Electronics
VRAP	Video Recording And Playback

Referenzen

- [1] Vukas, M. (2022). HID-Zuverlässigkeit in der Flugverkehrskontrolle. Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Karlsruhe: Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft.

Tabelle 2: Durchschnittliche Nutzung der Maustasten über Wochentage (MT = Maustaste).

Wochentag	Linke MT	Mittlere MT	Rechte MT	Hochscrollen	Runterscrollen	Gesamt	Aktive Hosts	Mittelwert
Mo	29778	2460	4090	1613	1453	39394	55	716,25
Di	27969	2286	3710	1576	1426	36967	59	626,56
Mi	28881	2489	3976	1577	1424	38347	60	639,12
Do	29984	2544	4225	1593	1446	39792	59	674,44
Fr	31123	2623	4287	1689	1524	41246	59	699,08
Sa	29779	2441	4060	1695	1511	39486	56	705,11
So	32341	2651	4295	1800	1613	42700	56	762,50

Mode N – A promising Approach for future Navigation

Steffen Marquard (DFS), Volker Gördt (DFS), Morten Grandt (DFS), Felix Butsch (DFS),
Franz Madritsch (IECM) & Frank Adam (WTD 61)

Deutsche Zusammenfassung

Mode N – Mode Navigation – ist ein neues Konzept für ein bodengestütztes System zur Bereitstellung eines Navigationsdienstes für die zivile und militärische Luftfahrt, das gemeinsam von der Deutschen Flugsicherung (DFS), der Wehrtechnischen Dienststelle für Luftfahrzeuge und Luftfahrtgerät der Bundeswehr (WTD 61) und dem Engineering-Partner Interdisciplinary Engineering Consultants Madritsch (IECM) entwickelt wurde. Mode N ist ein terrestrisches System, das auf Signalformaten des Sekundärradars basiert und eine A-PNT-Fähigkeit (Alternative Positioning, Navigation and Timing) zur Sicherstellung von Navigationsdiensten bei Ausfall von globalen Satellitennavigationssystemen bietet. Mode N verbindet maximale Spektrumeffizienz und Abwärtskompatibilität zu Legacy-Systemen. Es erlaubt einen einfachen Übergang von Navigation auf Basis von Entfernungsmessgeräten (DME) hin zu Navigation auf Basis von Mode N. Mode N ist rückwärts kompatibel zu DME und ermöglicht einen einfachen Austausch der Avionik, ohne an ein festes Umrüstungsdatum gebunden zu sein. Somit hat Mode N das Potenzial, die derzeit verwendeten DME zu ergänzen und zukünftig zu ersetzen. In diesem Beitrag werden die Beweggründe für die Entwicklung von Mode N, das Systemkonzept und der erwartete Nutzen beschrieben. Darüber hinaus wird aufgezeigt wie internationale Partner in ein gemeinsames weiteres Vorgehen eingebunden sind.

Abstract

Mode N – Mode Navigation – is a new concept for a ground-based system to provide a navigation service for civil and military aviation jointly developed by German Air Navigation Service Provider DFS Deutsche Flugsicherung (DFS), the Bundeswehr Technical Center for Aircraft and Aeronautical Equipment (WTD61), and an engineering partner Interdisciplinary Engineering Consultants Madritsch (IECM). Mode N is a terrestrial system based on secondary surveillance radar signal formats that provides an

Alternative Positioning, Navigation and Timing (A-PNT) capability to backup global navigation satellite systems. Mode N will deliver maximum spectrum efficiency combined with backward compatibility with legacy systems. It provides an easy transition from navigation based on Distance Measuring Equipment (DME) to navigation based on Mode N. Since the legacy DME functionality can be retained it allows a simple exchange of avionics, without being time-bound. Thus, Mode N has the potential to complement and future replacement of the currently used DME. This paper provides a description of the motivations to develop Mode N, the system concept and expected benefits. It further addresses the involvement of international partners for a joint way forward.

Introduction

Operationally, the International Civil Aviation Organization's (ICAO) Performance-based navigation (PBN) concept, area navigation (RNAV) and required navigation performance (RNP) procedures are about to be implemented and use GNSS as primary system for positioning, navigation, and timing services.

It was well-known though – even before February 2022 – that GNSS is vulnerable to all forms of RF interference (RFI), e.g., degradation, jamming, and spoofing, caused by a variety of actors from governmental organizations in the context of military or security operations up to private persons aiming for privacy. Since at least that time, one must consider GNSS RFI as a European problem, too. However, as aviation is more and more relying on GNSS there is a need for redundancy which can provide the same level of service during interference situations. Thus, to ensure safe and secure PBN operations for both civil and military airspace users the availability of a robust and resilient A-PNT system to backup GNSS in case of jamming, spoofing or (simply) technical failure, is essential.

Current PBN transition activities in Europe following the European Commission's Implementation Regulation 2018/1048 rely on DME/DME multilateration

as a terrestrial A-PNT solution. According to recent decisions made by NATO the terrestrial navigation solution for military air traffic is still formed by the Tactical Air Navigation system (TACAN). The spectrum demand of DME and TACAN is rather excessive. Thus, the number of available DME frequencies in Germany and e.g., westerly neighboring states, is very much limited. Rolling out additional DME facilities to ensure sufficient DME/DME coverage especially for RNAV 1 operations in terminal airspace becomes more and more challenging. Therefore, technological solutions for the provision of A-PNT services beyond DME/DME are discussed (e.g., eLORAN and LDACS-Nav). By combining maximum spectrum efficiency, backward compatibility with legacy systems, easy transition to a new system without a fixed sunset date approach and simple exchange of avionics, Mode N qualifies as one of the most promising A-PNT candidates.

Several civil ICAO-standardized and ICAO-compliant, military Communication, Navigation and Surveillance (CNS) systems use the band 960 to 1215 MHz (aeronautical L-Band). The use of this band by aeronautical systems is based on primary allocations by the International Telecommunication Union to the Aeronautical Radio Navigation Service (ARNS, e.g., used by DME, TACAN, SSR, potentially for Mode N), and the Aeronautical Mobile Route Service (AM(R)S, used potentially for the Digital Aeronautical Communications System LDACS). Moreover, the sub-band 1164 to 1215 MHz is allocated to the Radio Navigation Satellite Service (RNSS, e.g., used by GPS L5, GALILEO E5)

These aeronautical systems in the band have a primary allocation because they provide safety-of-life services and harmful interference to them must be avoided. In addition to the legacy systems in the L-Band, other systems to be introduced to the band need a thorough assessment of compatibility with existing aeronautical systems in the band. Although the aeronautical L-band is already congested in many regions, new systems which are foreseen to use this band are under standardization. They will increase spectrum load and radio frequency congestion even further. Under these conditions the interoperability of systems must be ensured, and all potential incompatibility issues must be resolved before new systems can be brought into operation.

New systems intended for operation in the L-Band shall not only improve performance of legacy services but also provide functions to reduce the spectrum load generated by onboard and ground-

based installations, and with a long-term view to free spectrum for future use in aviation. When introducing new systems and applications it is essential to provide a seamless transition to the new environment while providing support for the legacy system it will replace. The timeline for standardization and implementation effort needs to be considered, changes to avionics should be minimized and allow gradual implementation. Fig. 1 illustrates the current usage of the L-Band. Future systems like Mode N and L-Band LDACS are already included to complete the picture.

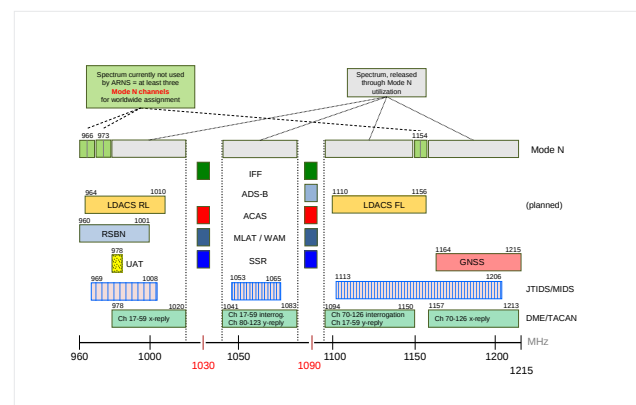


Figure 1: Overview of utilization of the aeronautical L-Band.

The assessment of the spectrum efficiency of an aeronautical CNS system is complex. The spectrum efficiency of a pure communication system is often judged by the raw amount of data that is transferred per unit of time for a given bandwidth. On the other hand, the spectrum efficiency of a navigation and surveillance systems is to be judged by the range and/or azimuth accuracy to be achieved with a signal for a given bandwidth. The aeronautical navigation systems DME and TACAN are the least efficient systems in the L-band since they occupy a wide part of the band, but only achieve a coarse range accuracy (in the case of TACAN also bearing accuracy).

Since Secondary Surveillance Radar (SSR) /Mode S based systems transmit significantly more information in a compressed form requiring much less bandwidth they can achieve a much better ranging accuracy than DME and TACAN.

Mode N

Mode N is a new concept for a ground-based system to provide navigation service by substituting DME with a system based on SSR/Mode S signals while retaining legacy DME functionality. Since Mode N is designed to operate on a single frequency it provides

the opportunity to release a significant part of the L-Band frequencies currently occupied by DME and TACAN. The interoperability of Mode N is ensured by utilizing L-Band frequencies which are currently not used by DME on a global basis. Specifically, these are 960 to 977 MHz and 1151 to 1156 MHz.

Mode N is based on the multilateration (MLAT) principle to measure the time difference of arrival (TDOA) of signals transmitted by Mode N ground stations which are received by the aircraft Mode N system. The frequency-agile multimode Mode N aircraft system can also selectively interrogate Mode N ground stations if two-way slant range measurements are necessary. Mode N could one-to-one replace the existing aircraft DME interrogator. Thus, there is no requirement for additional space or an additional antenna to be integrated into an aircraft. Mode N uses existing SSR/Mode S signal and data transmission specifications already globally defined in ICAO standards. This shortens standardization and design time compared to the standardization and implementation of a completely new system.

Mode N can not only be used in commercial and general aviation but also flexibly and/or spatially limited for special applications where a terrestrial GNSS backup is a prerequisite for operation and to ensure safety and security. An example would be urban areas or airspaces that will be used by unmanned aircraft.

System Concept

The technical functionality of Mode N is sometimes called “reversed MLAT” – what is the commonality and what is the reversal?

In ground based MLAT systems several ground stations synchronized in time receive a signal from an aircraft. Due to the different ranges from the aircraft to the ground stations, the signal arrives at different times at the individual ground stations. The time differences between signals’ arrivals and pseudo-ranges respectively are used to calculate the position of the aircraft. Mode N reverses this method. Several ground stations synchronized in time broadcast signals to aircraft. The aircraft’s onboard receiver measures the time differences between signals’ arrivals and calculates its own airborne position.

Time Synchronization

All Mode N ground stations are synchronized in time. The time synchronization source is a local high precision clock at each ground station which is disciplined to reference stations within the Mode N network. Although it is not necessary for the navigation function of Mode N, the ground stations also provide time-synchronized to UTC realized by connection to timing systems such as terrestrial long wave radio clocks or time distribution networks (e.g., fiber optic) or satellites. If GNSS is available, it can also be used for this purpose. Time synchronization information is distributed via Mode N ground stations radio frequency (RF) interlinks. The Mode N ground stations are organized in a tree structure with a reference ground station on top of the tree, see Fig. 2. It is possible to have multiple reference stations in the ground station network.

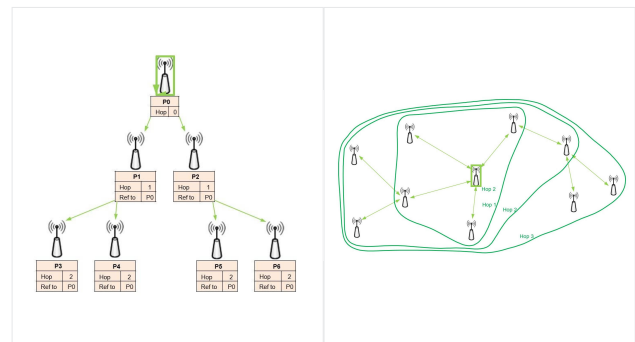


Figure 2: Principle of the Mode N time synchronization network.

Signal Characteristics

Mode N utilizes a Time Division Multiple Access (TDMA) method known as slotted ALOHA protocol [1] to synchronize its ground station network and send Mode N Squitter to the aircraft. As a prerequisite for an onboard aircraft position calculation the ground stations broadcast the following information in the Mode N Squitter:

- ground station’s antenna location in WGS-84 coordinates.
- antenna geometric height.
- time of transmission.
- a unique ground station identifier (ID) that allows the aircraft system to identify the received ground station and retrieve the coordinates from an onboard navigation database, if available.
- the operational status of the ground station.

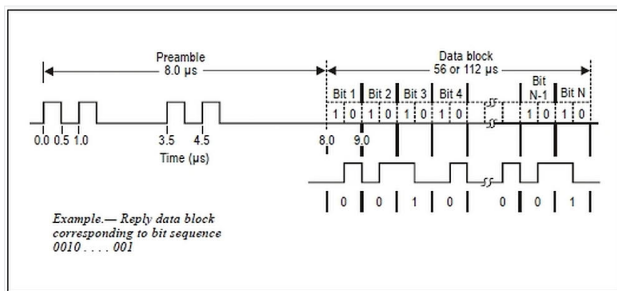


Figure 3: Mode N signal structure derived from SSR/ Mode S, standardized in ICAO Annex 10 Volume IV [2].

Table 1: Mode N Squitter message (112 μs Data block).

Format 0	Station ID	Time Offset	LAT	LON	Height (HAE)	Sync	CRC
3 bit	15 bit	7 bit	25 bit	25 bit	12 bit	1 bit	24 bit

The messages used for information distribution are based on the Mode S signal structure as depicted in Fig. 3. The message content is Mode N specific. Table 1 shows the Mode N Squitter as an example. All messages are defined in detail in the “Mode N Basic Design Document” [2].

Passive and active Operation

The aircraft’s position determination is done fully passively by reception of Mode N Squitter and without any need for active interrogations by the aircraft. Obviously, this mode of operation brings some advantages especially for military applications.

As a complement to passive position determination, an active mode is also possible. The Mode N aircraft system uses the ground station ID to selectively interrogate the desired ground station with a ranging request. The addressed ground station replies with a ranging reply. Both formats together are used in such an interrogation-reply sequence to:

- induce more Mode N Squitter from the ground to accomplish the TDOA measurements – integrity enhancement.
- precisely synchronize the aircraft’s Mode N system clock with the ground station clock and enable the time of arrival (TOA) measurements – accuracy enhancement.
- mitigate a ground station synchronization loss – safety enhancement.
- verify the ground station’s position in case of reasoned doubts about the correctness – security/integrity enhancement; and

- determine the aircraft’s position with a 2-way ranging method and using slant ranges instead of TDOA; This could mitigate an insufficient number of available ground stations for passive operation in low altitudes (e.g., approach and landing phase).

Accuracy

The Mode N position accuracy is dependent on the TDOA accuracy, the geometry of the spatial distribution of ground stations and the position of the aircraft to the ground stations. The dilution of precision (DOP) is an indicator of the system’s performance and must be considered for the complete intended Mode N coverage area and ground station topology versus the required performance. However, the achievable position accuracy is proven by wide area multilateration systems (WAM) for ATC operation, which use the same principle as Mode N and provide a spatial accuracy of 30 to 50 meters.

Integrity Considerations

The integrity of the data content exchanged in Mode N messages is ensured by error detection and correction methods as already defined in the relevant standardization documents of the ICAO [3] and the standardization bodies of the aviation industry [4].

The Mode N navigation integrity concept consists of several methods to check the continuous and error-free functioning of the system and thus guarantee a reliable navigation solution, including reporting capability. The following methods used between aircraft (Air) and ground station (Gnd), onboard the aircraft and between ground stations and their combination makes the Mode N system reliable against malfunctions within the system and interferences from outside:

- Authentication (Gnd-Air).
- Autonomous Integrity Monitoring (Air).
- Status Reports (Gnd-Air).
- Active Probing (Air-Gnd), and optional
- Database comparison (Air).

Implementation Options

A new development allows some freedom in the design of the system. Instead of having separate devices installed onboard an aircraft (e.g., SSR/Mode S transponder, DME, the airborne collision avoidance

system ACAS, and LDACS) it is possible to combine such type of L-Band systems in one box, see Fig. 4 and Fig. 5.

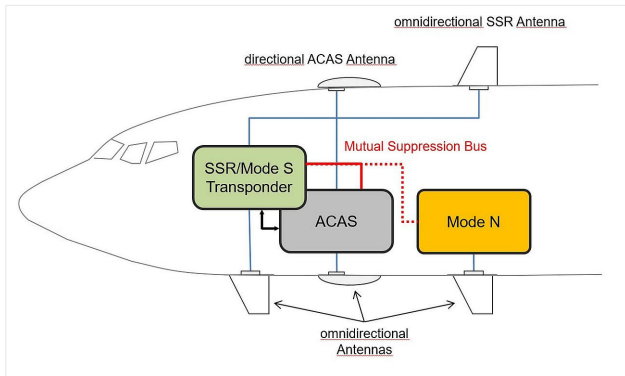


Figure 4: Option 1 – DME substitution by an external Mode N Box.

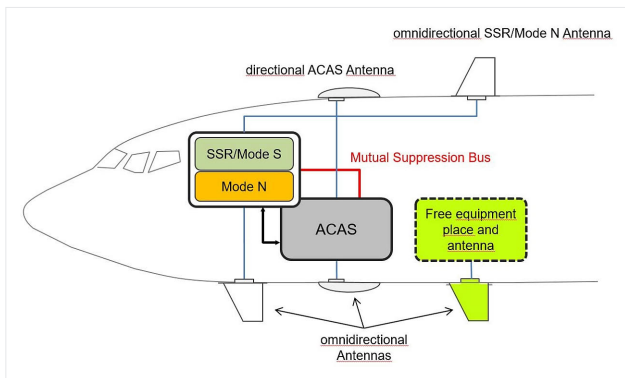


Figure 5: Option 2 – DME substitution by an integrated Mode N Box.

Since a Mode N aircraft system uses different frequencies for Mode N and its DME backwards-compatibility, the system is not having interoperability issues with other L-Band systems. The result is a reduced need for onboard mutual suppression and will improve SSR transponder availability when the SSR/Mode S and Mode N operate in parallel. In addition, a single box design will save installation space. Furthermore, the interoperability of Mode N with DME will allow, once the Mode N frequency is selected either regionally or worldwide, that Mode N can co-exist with a ground DME infrastructure and is not bound by a fixed date to introduce it.

Ground Component

The installation and distribution of ground stations can be oriented on existing ground installations (e.g., CNS sites). Results of a preliminary study show that current DME sites in Germany can be used for

Mode N installations providing gap free navigation coverage at 5000 ft and above, see Fig. 6. However, in this case additional ground stations or time beacon sites are needed to close gaps in a RF based time synchronization network.

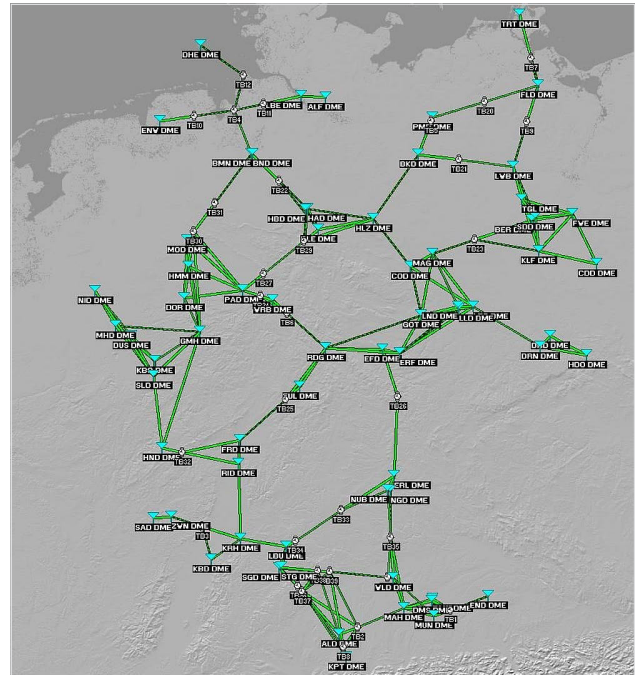


Figure 6: Mode N network using DME sites and time beacons.

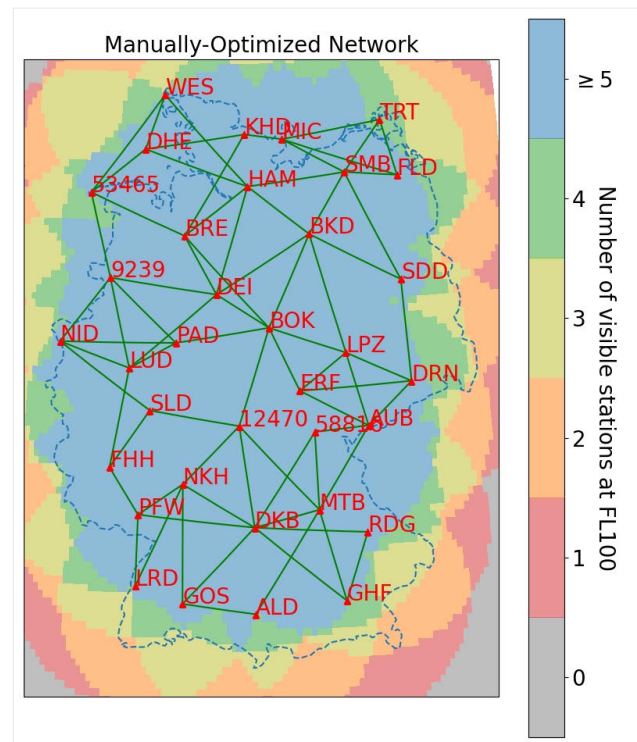


Figure 7: Mode N network using an optimized site distribution.

In a recent study, the Mode N ground station network was remodelled and optimized. That study demonstrated that a ground station network of 35 stations in Germany is sufficient to provide RF time synchronization and a navigation coverage at FL100 and above. Time beacons are not required for this type of network, see Fig. 7. Additional ground stations are required to cover altitudes below FL100. The side effect is a denser time synchronization network with multiple alternative paths and a wider range of available stations for navigating at high altitudes.

Applications beyond A-PNT

Mode N for Unmanned Aircraft – Mode N-UA

In addition to being used for global navigation and as an A-PNT for commercial and military aviation, Mode N is also capable of providing navigation for other user groups such as general aviation, air taxis and unmanned aircraft (UA). Air taxis and delivery drones are planned to be operated in urban areas where interruption of satellite service for navigation will have a significant safety and/or security impact. Mode N as GNSS backup can resolve this problem. The idea is to create a navigation environment specifically for this dedicated user group. The application case for unmanned aircraft would be a 'spatially (and possibly temporally) flexible' Mode N system that is specially developed for the target air space at low altitudes. Recent technical developments show that software defined radio (SDR) based Mode N devices are so small and lightweight that they can be carried on small drones.

Mode N as Surveillance Backup

Mode N can also be used as an ADS-B backup since Mode N equipped aircraft provide position information independent from GNSS availability. The advantages are (1) the Mode N position can be used as a redundant onboard position source for ADS B data and transmitted via an ADS-B link (e.g., 1090ES, UAT), and (2) the onboard derived Mode N position can be directly transmitted from the aircraft through the Mode N ground station network as redundant surveillance information. Since synchronized in time, the Mode N ground station network can provide position information from active Mode N aircraft systems by multilateration in the same way as conventional MLAT systems. For the transfer of surveillance data from Mode N ground stations to the user a suitable ground communication network must be available.

Expected Benefits

Advantages of Mode N are not limited to navigation. The Mode N design combines benefits, technical parameters, and functionality of Mode N, DME, ADS-B and MLAT in one system. It offers a variety of benefits with respect to efficient spectrum use, transition from legacy to the new system, and new applications like A-PNT. It provides the opportunity to introduce new and reallocate legacy systems within the L-Band without frequency/channel competition or limitations due to legacy systems. Mode N is a system concept that opens the opportunity to be used globally in civil and military applications in the future. The benefits of a Mode N system are:

- Continuous operation of CNS systems relying on GNSS, e.g., ADS-B while GNSS is not available.
- Common civil and military utilization without any restrictions and provision of common ATC procedures, e.g., PBN.
- Introduction of new systems providing more capacity and safety/security due to removal of legacy systems bandwidth limitations.
- Single channel operation on unused L-Band frequencies provide system inherent frequency compatibility to legacy L-Band systems and allows the removal of DME channels. This could:
 - gradually release a significant part of the L-Band,
 - decrease the demand and reduce the RF-Load on 1030/1090 MHz by reallocation of legacy services, including military,
 - allow to establish additional channels for new CNS systems (system enabler).

The Mode N aircraft system:

- provides, beside Mode N, also DME and TACAN interrogator functionality for legacy navigation support in areas without Mode N ground infrastructure.
- allows a flexible use of the system in a diverse ground environment (DME-only, DME/Mode N mixed, pure Mode N) and therefore offers a smooth transition from a DME to a Mode N infrastructure without a "fixed sunset date".
- operates passively but can also interrogate ground stations of interest with adjustable power needed for a safe link, offering an additional reduction of spectrum impact.

- is intended to replace the existing onboard DME or TACAN interrogator. Neither additional space nor an additional antenna is needed to install Mode N on an aircraft.
- will reduce onboard interference and mutual suppressions by the ability of operation also during SSR/Mode S transmissions and hence improve the transponder availability.

Mode N ground station hardware is as easy to deploy as e.g., DME or ADS-B ground systems. Mode N can utilize existing CNS sites and infrastructure as necessary, including onsite hardware like DME antenna, communication and power supply infrastructure, and cabling. Mode N uses existing ICAO standards and specifications for SSR/Mode S signals and data transmission. This significantly shortens standardization and design time compared to the standardization and implementation of a completely new system. Mode N is an A-PNT system for a terrestrial GNSS backup that may enable a significant release of spectrum within the L-Band.

Development Status

In 2012 the first time the Mode N idea was published in the research magazine of the DFS Deutsche Flugsicherung GmbH and was updated in 2017 including new developments [5]. The development of the “Mode N Basic Design Document” [4] started in 2014, which was further developed in the Single European Sky ATM Research (SESAR) program in 2015 [6]. As a result, Mode N is set as a long-term solution for an A-PNT system in the Eurocontrol Civil-Military CNS Interoperability Roadmap [7]. 2015 started the detailed work on signal formats, time synchronization and system design. Signal generation and reception was successfully tested with software-defined radios (SDR) [8]. The layout of a Mode N ground station system, the detection of gaps in the navigation coverage and the development of a time synchronization network were topics in a study, which ended with positive results in early 2017 [9].

2018 started the four-year national aviation research project FUTURE / NexT CNS, where the DFS together with industry developed a Mode N testbed for performance tests based on Adalm Pluto SDRs from National Instruments, see Fig. 8 and Fig. 9.

In parallel and in cooperation with the DFS, the German Aerospace Center DLR conducted performance analyses and optimization of the ground station network [10]. Tests have been executed on spectrum conformance, signal generation and reception, time synchronization accuracy, time stamping, and positioning.

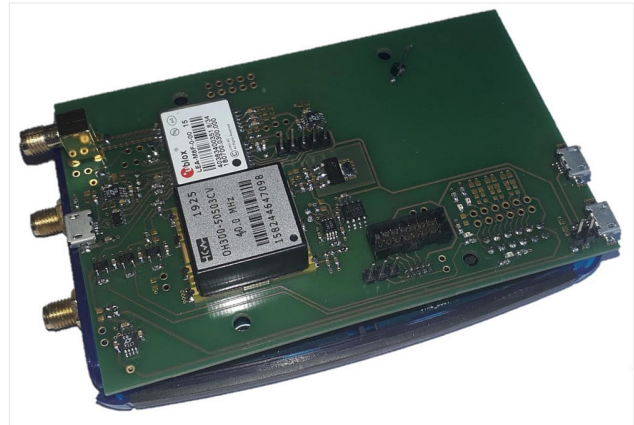


Figure 8: Adalm Pluto SDR with added time synchronization

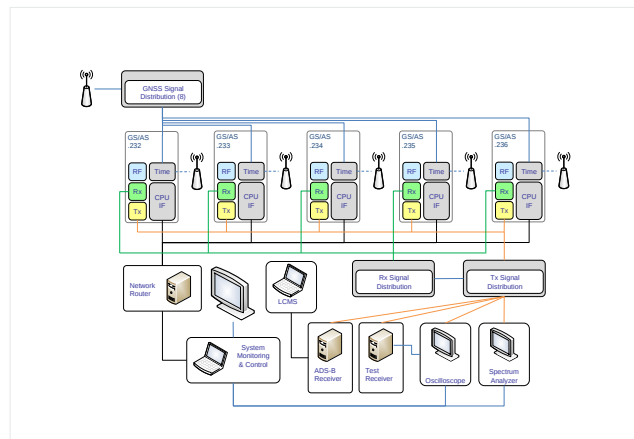


Figure 9: Schematic diagram of the Mode N testbed.

All testbed results and simulations show a very good match with the predictions and prove the feasibility of Mode N with a good performance [11]. The result achieved by the testbed is a position accuracy of 20 meters for a static target using the Bancroft 85 algorithm for positioning, see Fig. 10.

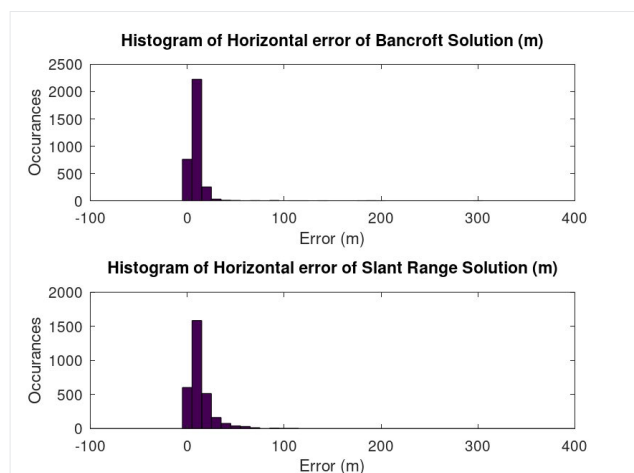


Figure 10: Position accuracy derived by testbed measurements.

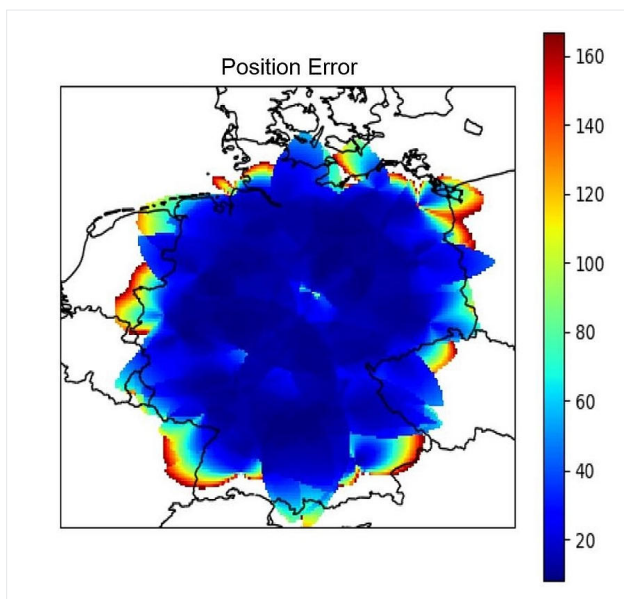


Figure 11: Position accuracy derived from simulations.

Simulations show a predicted 95% accuracy of 26 meters, see Fig. 11.

Purpose-built Mode N devices have a high potential for significantly better performance since they are not bound by the limitations of the hardware and software used for testing.

In parallel to the civil activities, the 'Bundeswehr Technical Center for Aircraft and Aeronautical Equipment' (WTD 61) in cooperation with DFS also develops a Mode N demonstrator, focusing on specific military aspects. Studies have been performed to assess requirements, such as passive operation, selective availability, and authentication to incorporate them into the system specification at an early stage. WTD 61 established a 'SDR Laboratory' and small and medium distance test-ranges for Mode N ground and flight tests, see Fig. 12.

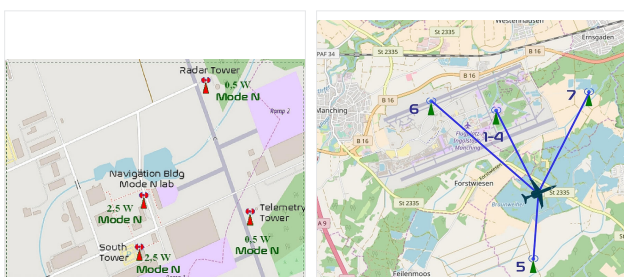


Figure 12: Test-ranges for ground and flight tests at Manching airport.

This includes the demonstrators for ground station and aircraft system as shown in Fig. 13.



Figure 13: Mode N aircraft system (l) and ground station (r).

Currently, four Mode N ground stations are operational and precision synchronization protocols and algorithms are evaluated. First results show a ranging accuracy below five meters. A long-range reception test was recently conducted with promising results. A radiated power of 300W and two dipole antennas were sufficient to reliably receive the Mode N signal over 125 km (67 nautical miles) from NATO Integrated Air Defense System station „Großer Arber“ to WTD 61 located in Manching, north of Munich.

The demonstration of a minimum scale but full configuration Mode N system as well as the demonstration of the operational range is part of the European Defense Agency (EDA) project, which runs from 2020 to 2023. A follow-up project of the EDA is planned from 2023 to 2026.

Mode N Roadmap

The development of Mode N has been a joint civilian and military project from the start. The objective of having a robust navigation system in place in case GNSS is interfered or not available at all shall result in

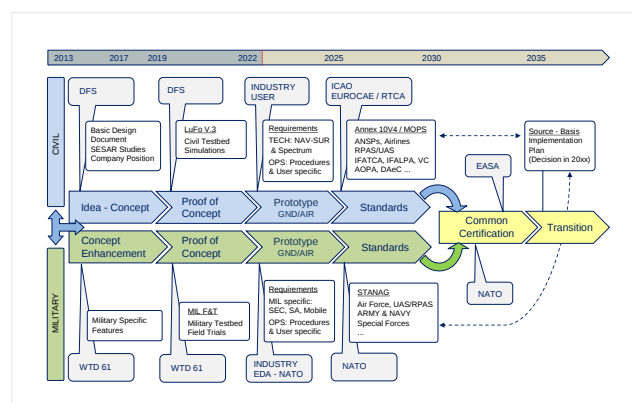


Figure 14: Mode N Roadmap.

a jointly certified system which enables civil and also military aircraft to fly in PBN airspace without any limitations. To achieve this, an implementation roadmap was developed, showing the activities on a timeline, see Fig. 14.

So far, the Mode N activities are on-time. The Mode N development is currently completing the proof of concept and is waiting for the next step, the prototype development.

Way Ahead

Up to now, Mode N has been developed within a purely national framework. Clearly, the further deployment of such technology cannot be fostered on a national level. Therefore, aviation organizations, airspace users, service providers and industry are invited to join the further discussion and development.

List of Abbreviations

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
ADS B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast
AM(R)S	Aeronautical Mobile Route Service
A-PNT	Alternative Positioning, Navigation and Timing
ARNS	Aeronautical Radio Navigation Service
CNS	Communication, Navigation and Surveillance
DME	Distance Measuring Equipment
DOP	Dilution of Precision
EDA	European Defense Agency
eLORAN	enhanced Long Range Navigation
ES	Extended Squitter
FL	Flight Level
GNSS	Global Navigation Satellite System
ICAO	International Civil Aviation Organization
IECM	Interdisciplinary Engineering Consultants Madritsch
LDACS	L-band Digital Aeronautical Communications System
LDACS-Nav	LDACS Navigation
MLAT	Multilateration

PBN	Performance Based Navigation
RF	Radio Frequency
RFI	Radio Frequency Interference
RNAV	Area Navigation
RNSS	Radio Navigation Satellite Service
SDR	Software Defined Radio
SESAR	Single European Sky ATM Research
SSR	Secondary Surveillance Radar
TACAN	Tactical Air Navigation
TDMA	Time Division Multiple Access
TDOA	Time Difference of Arrival
TOA	Time of Arrival
UAT	Universal Access Transceiver
UTC	Universal Time Coordinated
WAM	Wide Area Multilateration
WTD61	Wehrtechnischen Dienststelle für Luftfahrzeuge und Luftfahrtgerät

References

- [1] N. Abramson, "The ALOHA System – Another alternative for computer communications". AFIPS Fall Joint Computing Conference, Vol. 37 of AFIPS Conference Proceedings, 281–285. AFIPS Press, 1970.
- [2] S. Marquard, „Mode N – A Navigation and A-PNT concept for aviation, Basic Design Document“, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Version 2.1, 2023.
- [3] ICAO Annex 10. "Aeronautical Telecommunications – Volume IV- Surveillance radar and collision avoidance systems", 5th Edition, July 2014.
- [4] EUROCAE "ED-73F Minimum operational performance standards (MOPS) for secondary surveillance radar Mode S transponders", December 2020.
- [5] S. Marquard, „Mode N – A Concept of Modern Navigation and an alternative Position, Navigation & Timing System for Aviation“, Innovation im Fokus – Informationen zu Forschung, Entwicklung und Validierung, Edition 2/2017, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, ISSN 2198–8951, 2198–896X.
- [6] S. Marquard, „Mode N A-PNT system concept report“, Single European Sky ATM Research Programme, SESAR WP15.03.04, 2015.
- [7] Eurocontrol "Civil-Military CNS interoperability roadmap", Edition 3.0, October 2020.

- [8] M. Heußner, S. Marquard, „Mode N – Untersuchungen und Verifikation von Elementen und Funktionen des Systemkonzeptes“, University of Applied Sciences Wiesbaden Rüsselsheim, 2015.
- [9] A. Lettmair, „ Mode N – Untersuchung zur Entwicklung einer Mode N Boden-Infrastruktur“, Technische Hochschule Ingolstadt, 2017.
- [10] B. Weaver, G. Zampieri, O. Osechas, DLR German Aerospace Center, „An overview of the proposed Mode N system in the context of Alternative Position, Navigation, and Timing (APNT) development“, Proc. of the 2021 International Technical Meeting, ION ITM 2021, January 2021.
- [11] S. Marquard, U. Berold, „Mode N Testkonzept und Report“, LuFo 5.3 Project future-TP3 Next CNS, March 2022.

Free Route Airspace im unteren Luftraum während der Nacht

Dennis Pietrzik, Jan Höra & Toni Jahn

Einleitung

Der Flugverkehr hat in den letzten Jahrzehnten einen Boom erlebt. Effizientere Flugzeuge und Billigfluglinien ebnen immer mehr Menschen den Weg, sich Flugreisen zu leisten und so Orte zu entdecken, neue Kulturen zu erleben und die Welt zu verbinden. Diese Vorteile haben jedoch auch ihren Preis. Obwohl die Flugzeuge immer treibstoffeffizienter werden, ist die Zunahme der Zahl der Flüge im Hinblick auf den Klimawandel umstritten. Die Luftfahrt ist für 2,5% der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich und daher müssen kontinuierliche Verbesserungen vorgenommen werden, um die Branche lebensfähig zu halten und eine steigende Nachfrage nach Flugreisen mit einer immer wichtiger werdenden Bedeutung des Klimaschutzes in Einklang zu bringen [1].

Eine Möglichkeit, den Luftverkehr effizienter zu gestalten und die Emissionen zu senken, besteht in der Optimierung der Flugroute. Normalerweise folgt ein Flugzeug in der Luft bestimmten Routen, um von einem Punkt zu seinem Ziel zu gelangen. Diese Routen sind wie ein Straßennetz aufgebaut und entsprechen daher nicht immer dem kürzesten Weg zwischen zwei Punkten. Auf einem Globus wie der Erde liegt die kürzeste Entfernung zwischen zwei Punkten auf einem Großkreis, was bedeutet, dass eine optimale Flugroute genau auf diesem Großkreis zwischen zwei Flughäfen liegt. Da Überlegungen zum Lärmschutz, zur Sicherheit und zu lokalen rechtlichen und geografischen Gegebenheiten berücksichtigt werden müssen, kommt es in der Flugphase des Starts und der Landung zu Abweichungen von diesem Großkreis. Daher ist eine Optimierung während der En-Route-Phase eines Fluges von größerer Bedeutung und leichter zu messen und zu vergleichen. Eine Möglichkeit zur Optimierung der En-Route-Phase besteht darin, eine direktere Streckenführung für das Flugzeug zu gewährleisten, ohne zu sehr von der Großkreisdistanz abzuweichen. Das Konzept, mit dem dieses Problem angegangen wird, heißt Free Route Airspace (FRA) und wird in diesem Beitrag erörtert. FRA soll den Luftraumnutzern die Möglichkeit geben, sich bei ihrer Planung nicht nur auf vordefinierte Routen zu verlassen, sondern ihren optimalen Flugweg frei zu wählen. Dies führt im Idealfall zu kürzeren Streckenführungen und einer präziseren Treibstoffplanung, was wiederum zu einem geringeren Treibstoffverbrauch und damit zu weniger Emissionen führt [2].

Die Umsetzung eines FRA ist jedoch mit Herausforderungen verbunden. Rechtliche Strukturen, die Komplexität des Luftraums und die technische Ausrüstung müssen bei der Umsetzung von FRA berücksichtigt werden. Insbesondere der untere Luftraum, in der Regel unterhalb von 7500 Metern, ist mit den oben genannten Herausforderungen konfrontiert, was die Umsetzung von FRA dort erschwert. Aus diesem Grund wird in diesem Beitrag versucht, die Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Einführung von FRA in Deutschland im unteren Luftraum zu untersuchen. Deutschland hat einen der komplexesten und verkehrsreichsten Lufträume der Welt, was einerseits die Umsetzung neuer Konzepte erschwert, andererseits aber auch eine große Wirksamkeit von Optimierungen bietet, die sich auf zehntausende von Flügen pro Jahr auswirken.

Um die Komplexität zu beschränken, befasst sich das Projekt mit Luftfahrzeugen, die ausschließlich im unteren Luftraum operieren. Als zweite Einschränkung des Projektrahmens wurde die Nachtzeit (22:00 bis 06:00 Uhr Ortszeit) gewählt, da hier das Verkehrsaufkommen deutlich geringer und damit weniger komplex ist.

Um die Effizienzgewinne einer Einführung von FRA im unteren Luftraum während der Nachtzeit zu ermitteln, wurde eine Analyse der häufigsten Flüge während dieses Zeitfensters vorgenommen. Diese Auswertung ergab die drei häufigsten Flugrouten, die dann als Beispiele für weitere Diskussionen und Berechnungen ausgewählt wurden. Nach der Identifizierung der Routen wurde eine Machbarkeitsanalyse durchgeführt, die die verschiedenen Aspekte und Sichtweisen beleuchtet und mögliche Hindernisse aufzeigt. Da die Analyse der Daten zu kontroversen Aussagen über die Machbarkeit einer FRA-Implementierung führte, wurde zusätzlich eine Empfehlung für ein alternatives Szenario formuliert, das eine breitere und ganzheitlichere Sichtweise auf das Thema bietet.

Air Traffic Management

Die Funktion ATM

Nach der Definition der International Civil Aviation Organization (ICAO) ist das Flugverkehrsmanagement (Air Traffic Management, ATM) das

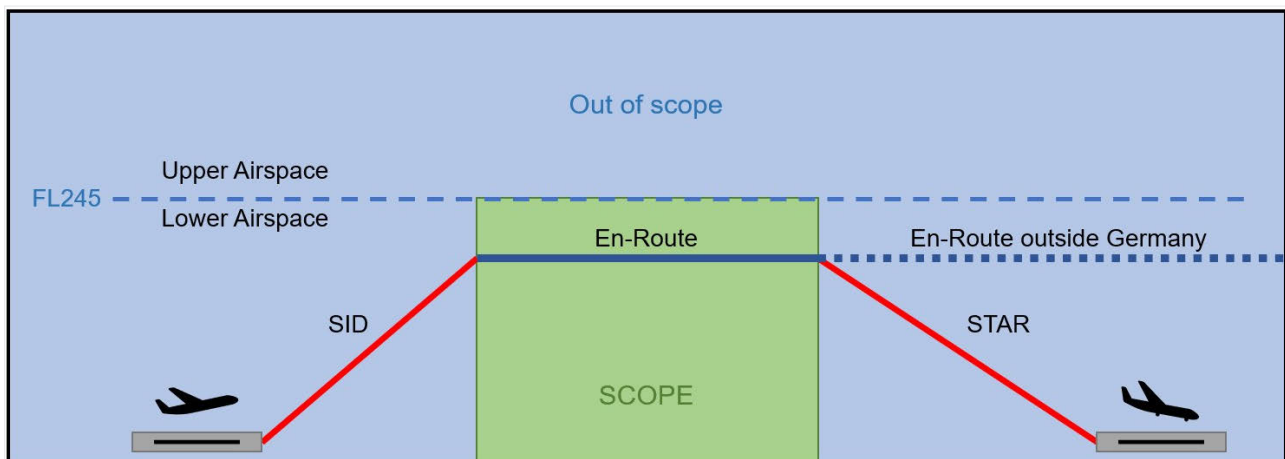


Abbildung 1: Visualisierung des Umfangs der Projektarbeit (eigene Darstellung).

„dynamische, integrierte Management des Luftverkehrs und des Luftraums, einschließlich der Flugverkehrsdienste, des Luftraummanagements und der Verkehrsflussregelung – sicher, wirtschaftlich und effizient – durch die Bereitstellung von Einrichtungen und nahtlosen Diensten in Zusammenarbeit mit allen Beteiligten und unter Einbeziehung luft- und bodengestützter Funktionen“ [3].

Der Dienst, der von den Luftraumnutzern hauptsächlich in Anspruch genommen wird, ist der Flugverkehrskontrolldienst, der „zum Zweck der Verhinderung von Kollisionen (...) und der Beschleunigung und Aufrechterhaltung eines geordneten Luftverkehrsflusses erbracht wird“ [3]. ICAO Doc. 4444 unterscheidet zwischen Bezirkskontrolldienst, Anflugkontrolldienst und Flugplatzkontrolldienst. Das in dieser Arbeit thematisierte Projekt konzentriert sich auf die Streckenkontrolle. Hier können weitere Unterscheidungen getroffen werden: der obere Luftraum wird (in den meisten Regionen Europas) oberhalb von FL245 (entspricht ungefähr 24.500 ft) betrachtet, während der untere Luftraum unterhalb dieser Grenze liegt.

Grundsätzlich sind Fluglotsen (Air Traffic Controller Officers, ATCO) dafür zuständig, mit Privat-, Berufs- und Militärpiloten zu kommunizieren und innerhalb eines bestimmten Luftraums Anweisungen oder Hinweise zu geben. Für diese kontrollierten Lufträume werden bestimmte Verfahren veröffentlicht. In der Regel navigieren Piloten entlang einer veröffentlichten Luftstraße, die bestimmte Navigationshilfen (Wegpunkte) miteinander verbindet, vergleichbar mit einer Autobahn und den jeweiligen Ausfahrten [3].

Die Planung dieser Verfahren und das Luftraummanagement sind Aufgaben der DFS, während

die Steuerung des Verkehrsflusses durch den Network Manager durchgeführt wird. Das Network Manager Operations Center optimiert die Verkehrsströme über Europa, indem es Angebot und Nachfrage nach Kapazität auf Netzwerkebene ausgleicht [4].

Bei der Landung und insbesondere beim Start sind die Flugzeugtriebwerke am lautesten. Vor diesem Hintergrund werden Flugverfahren, die in unmittelbarer Nähe eines Flughafens stattfinden, sensibel geplant. Dabei müssen vor allem Sicherheitsaspekte beachtet werden. So muss beispielsweise die Notwendigkeit, möglichst wenige Menschen durch Lärm zu stören, gegen die Notwendigkeit abgewogen werden, möglichst direkte und vor allem sichere Routen zu fliegen. Zu diesem Zweck nutzt die DFS das Noise Impact Reduction and Optimization System (NIROS). Es enthält alle Flugzeugtypen, deren technische Ausstattung, Geodaten und Informationen über die Bevölkerungsdichte bestimmter Gebiete. Mit Hilfe dieser Daten liefert NIROS eine sehr genaue Grundlage für die Planung von An- und Abflugrouten (STAR und SID). Vor diesem Hintergrund werden die bestehenden SID- und STAR-Verfahren als „bereits optimal“ für das vorliegende Projekt angesehen [5]. Daher konzentriert sich diese Arbeit auf die Möglichkeiten zur Optimierung des Flugweges zwischen dem Endpunkt des SID und dem Startpunkt des STAR.

Free Route Airspace Konzept

FRA ist ein Konzept, das den Luftraumnutzern die freie Planung einer Route zwischen einem definierten Eintrittspunkt und einem definierten Austrittspunkt in einem Luftraumvolumen ermöglicht. Die Einhaltung bestimmter Luftstraßen und Routen ist nicht erforderlich [4].

Dieses Konzept wurde von Eurocontrol im Jahr 2008 vorgestellt und ist ein wesentliches Merkmal zur Steigerung der Effizienz des europäischen Luftraums. FRA fördert kürzere Routen und eine effizientere Nutzung des Luftraums, was zu weniger Treibstoffverbrauch und Emissionen von Treibhaus- und Verbrennungsgasen führt [6]. In Bezug auf die Treibstoffeinsparungen ist FRA das vielversprechendste Konzept zur Verbesserung des europäischen Luftraummanagements. Die Umweltauswirkungen der Umsetzung von FRA in Europa sind erheblich. Eurocontrol schätzt, dass pro Tag 10.000 Tonnen Kohlendioxid eingespart werden können [7].

Die Europäische Kommission strebte mit ihrer Verordnung Nr. 716/2014 im Rahmen des Single European Skies die verpflichtende Einführung von FRAs ab dem 1. Januar 2022 oberhalb von FL310 an [8]. Mit der Durchführungsverordnung (DVO) Nr. 2021/116 wurden die Pläne für europäische FRAs aktualisiert. Die verpflichtende Umsetzung von initialen FRAs soll bis zum 31. Dezember 2023 durchgeführt werden und die Einführung von grenzüberschreitenden FRAs mit mindestens einem benachbarten Staat soll bis zum 31. Dezember 2025 sichergestellt werden. Eine Umsetzung von FRAs unterhalb der Höhengrenze, wie in diesem Projektbericht dargestellt, ist auf freiwilliger Basis möglich.

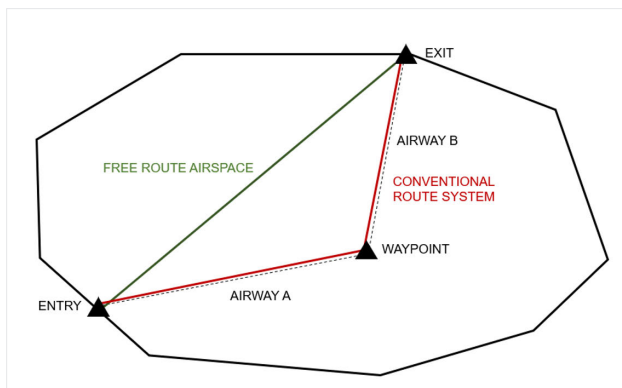


Abbildung 2: FRA kann Flugrouten signifikant verkürzen (eigene Darstellung).

Die langfristige Realisierung von FRAs in Europa wird mit der anspruchsvollen Umsetzung begründet. ATM-Systeme müssen mit neuer Technologie ausgestattet werden, damit sie Lufträume ohne Luftstraßen bedienen und mit angrenzenden Lufträumen kommunizieren können, und Fluglotsen müssen intensiv geschult werden, da dies eine signifikante Änderung der Arbeitsabläufe darstellt [9].

Standardisierte Prozesse zur Einführung von Luft-

raummaßnahmen beschreibt Eurocontrol in den „European Airspace Design Methodology Guidelines – General Principles and Technical Specifications for Airspace Design“ die allgemeine Methodik zur Einrichtung von Luftraumkomponenten in Europa. In Kapitel 10 wird die Methodik für die Umsetzung der FRA in europäischen Lufträumen beschrieben. In diesem Kapitel werden auch mögliche Beschränkungen für den Luftraum erwähnt. Eine zeitliche Begrenzung während der Nachtzeit, wie sie für eine FRA vorgesehen ist, ist möglich und sogar sinnvoll, um FRAs so früh wie möglich einzurichten [10] [10].

Aktuelle Luftraumstruktur

Jedes Land besitzt die Souveränität über seine Land-, See- und Luftgebiete. In der Bundesrepublik Deutschland ist die Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) per Gesetz mit der Aufgabe betraut, einen sicheren, geordneten und zügigen Ablauf des Luftverkehrs zu gewährleisten. Um diese Aufgabe zu erfüllen, ist der Luftraum über Deutschland in verschiedene Regionen aufgeteilt. Zum einen gibt es eine vertikale Teilung bei 24.500 Fuß (ca. 7.500 Meter) und in einigen Bereichen bei 31.500 Fuß (ca. 9.500 Meter), die den Luftraum in einen unteren Luftraum unterhalb dieser Werte und einen oberen Luftraum oberhalb dieser Werte unterteilt. Außerdem ist der Luftraum in verschiedene Fluginformationsgebiete (FIR) unterteilt. Diese Regionen sind die FIRs Bremen, Langen und München, die den unteren Luftraum kontrollieren und von jeweils einer Kontrollzentrale (Area Control Centre, ACC) überwacht und kontrolliert werden und die UIRs Rhein und Maastricht (Upper Flight Information Regions), die den oberen Luftraum kontrollieren [11]. Die FIRs und UIRs werden dann in kleinere Luftraumblöcke (Sektoren) mit unterschiedlicher Form und Höhe unterteilt, um den Luftverkehr auf sie zu verteilen und ATCOs in ihrer Aufgabendurchführung nicht zu überlasten. Bislang sind diese Lufträume entsprechend den Hauptverkehrsströmen entlang des etablierten Streckensystems gestaltet.

Im folgenden Ausschnitt (Abbildung 3) ist die Luftraumstruktur mit der Sektorisierung (rote Linien) und der Luftverkehrsstraßen (schwarze Linien) in einem Teilbereich Ostdeutschlands zu sehen.

Außerdem werden die Flugrouten so geplant und veröffentlicht, dass die Verkehrsströme getrennt werden und Konflikte durch sich kreuzende Flugzeuge reduziert werden. Diese Bedingungen führen also zu einer Ineffizienz im Vergleich zum optimalen Szenario aller direkten Streckenführungen. Darüber hinaus ist es wichtig zu erwähnen, dass es nicht

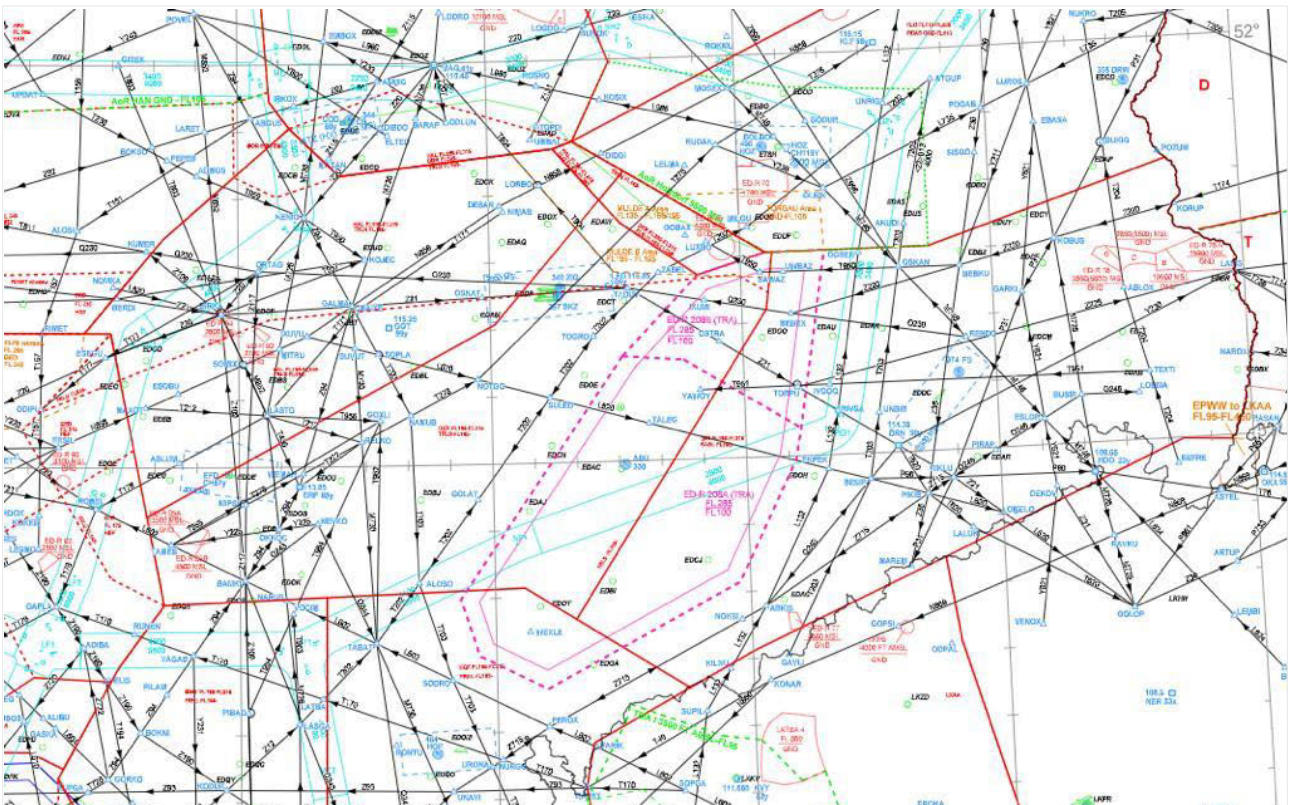


Abbildung 3: Luftraum über Ostdeutschland an der polnisch-tschechischen Grenze [13].

einfach ist, die Ineffizienz des Systems der Luftraumstrukturierung in den Griff zu bekommen, da es aufgrund von Veränderungen des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsströme, von Flugbeschränkungen wie z. B. militärisch bedingten Luftraumsperrungen sowie von personellen und technologischen Entwicklungen, die die Unterstützung der ATCOs verbessern, ständigen Veränderungen unterliegt.

Methodik

Auf den zuvor dargestellten theoretischen Rahmen folgt nun eine Analyse der in Deutschland vorherrschenden Situation. Dazu wurde eine generelle Übersicht über alle Flüge im unteren Luftraum Deutschlands während der Nacht erstellt. Diese Übersicht wurde mit Hilfe vom zentralen Flugplanspeicher (zFPLS) durchgeführt, einem allgemeinen Flugplandaten-Tool der DFS, welches eine Datenbank aller Flugpläne in einem bestimmten Zeitraum enthält. Anschließend wurden diese auf die zu fliegende Gesamtdistanz hin überprüft. Diese Berechnung wurde mit dem webbasierten Open-Source-Programm Skyvector durchgeführt. Zusätzlich zur Bewertung der ursprünglichen Routen wurden diese Routen dann angepasst und erneut mit dem

FRA-Konzept berechnet, wobei die Ergebnisse mit den ursprünglichen Routen verglichen wurden. Um einen breiteren Blick auf die aktuelle Situation zu werfen und die Ergebnisse der Berechnungen in einen Kontext zu stellen, wurde eine tiefgreifende Stakeholder-Analyse durchgeführt. Aufgrund eines Sperrvermerks dürfen keine detaillierten Erkenntnisse dieser Stakeholder-Analyse veröffentlicht werden. Aus diesem Grund werden nur wesentliche Kernthesen wiedergegeben, die nicht dem Sperrvermerk unterliegen.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der Diskussion über die Durchführbarkeit von FRA im unteren Luftraum Deutschlands während der Nacht wird eine weitere Diskussion über ein alternatives Szenario geführt. Grundlage für diese weitere Diskussion sind Vorschläge und Annahmen zu möglichen technologischen und rechtlichen Anpassungen des Systems, um die Chancen einer Einführung von FRA im unteren Luftraum zu nutzen.

Projektanalyse

Verkehrstromanalyse

Für die Analyse wurden die Daten der Woche vom

4. April 2022 bis zum 11. April 2022 verwendet. Diese Woche wurde als geeignet eingestuft, da es sich um eine Woche handelt, die nicht wesentlich durch besondere Ereignisse unterbrochen wurde. Außerdem fallen in diesen Zeitraum keine Feiertage oder Ferienzeiten. Die Daten dieser Woche scheinen auch repräsentativ zu sein, da der Monat April - zwischen Winter- und Sommerzeit - in der Mitte zwischen den saisonalen Extremwerten liegt. Auch die Covid 19-bedingten Sondereffekte wirken sich in der Nacht kaum aus, da der nächtliche Frachtverkehr, der den überwiegenden Teil der Flugbewegungen ausmacht, bereits auf Vorkrisenniveau oder darüber liegt [12].

Die in zFPLS verfügbaren Flugpläne wurden nach folgenden Kriterien gefiltert:

- IFR-Flüge (Flüge nach Instrumentenflugregeln), die in Deutschland starten oder landen;
- EOBT (Estimated Off-Block Time) von 20:00z bis 03:59z (22:00 bis 05:59 Ortszeit), aufgrund des Projektrahmens „nighttime“ und
- Angefragte Flugfläche (Requested Flight Level – RFL) von FL240 oder tiefer

Die folgenden Daten wurden ausgeschlossen, da sie für dieses Projekt nicht relevant sind:

- Verspätete Flüge, die in der Regel vor dem für dieses Projekt interessanten Zeitrahmen ankommen sollen;
- Hubschrauberflüge von Wilhelmshaven (ICAO-Code EDWI) zu Offshore-Plattformen;
- operative (militärische) Luftverkehrs-, Ambulanz-, GAT- und Repositionierungsflüge, da diese Flüge nur unregelmäßig und nicht nach einem Zeitplan durchgeführt werden.

Außerdem wurde bei der Analyse festgestellt, dass es einige Linienfrachtstrecken gibt, die von Turbo-prop-Flugzeugen bedient werden und große Teile Deutschlands im unteren Luftraum durchqueren. Einige Strecken, die nur einen kleinen Teil Deutschlands berühren (z.B. EDDK-LSGG und EDDK-LFSB im Südosten), werden hier nicht berücksichtigt, da sie nicht von einem Free Route Airspace (FRA) in Deutschland profitieren würden.

Insgesamt wurden 258 Flüge pro Woche als potenzielle Profiteure identifiziert. Um zu ermitteln, wo ein FRA installiert werden könnte, stehen die Städte-

Tabelle 1: Summe der Flüge der analysierten Woche (Montag 4.4., 20 Uhr bis Montag, 11.4., 3:59 Uhr; Daten aus zFPLS vom 17.04.2022).

ADEP/ADES	EDDB	EDDC	EDDF	EDDK	EDDM	EDDP	EDDS	EDDV
EDDB	-	0	0	7	0	0	5	0
EDDF	0	7	-	0	0	17	2	2
EDDK	11	0	1	-	5	15	3	0
EDDM	0	6	1	5	-	4	7	12
EDDP	0	0	10	14	4	-	4	0
EDDS	5	0	0	4	0	5	-	5
EDDV	0	0	0	0	4	0	3	-

Tabelle 2: Summe der Flüge mit Turboprop Maschinen aus Köln/Bonn (EDDK) im unteren Luftraum in der analysierten Woche (Daten aus zFPLS vom 17.04.2022).

ADEP/ADES	EYKA	EPGO	EPWR	EPPO	EPKT	LKMT	LDZA	LJLJ	LBSF
EDDK	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Tabelle 3: Summe der Turboprop Maschinen nach Köln/Bonn (EDDK) im unteren Luftraum in der analysierten Woche (Daten aus zFPLS vom 17.04.2022).

EYKA	EPGO	EPWR	EPPO	EPKT	LKMT	LDZA	LJLJ	LBSF	ADEP/ADES
5	5	5	5	5	5	5	5	5	EDDK

paare (beide Richtungen zwischen den Flughäfen) mit dem höchsten Verkehrsaufkommen im Mittelpunkt. Diese sind:

- EDDF-EDDP (und zurück): 27 Flüge pro Woche;
- EDDK-EDDP (und zurück): 29 Flüge pro Woche;
- EDDK-EDDB (und zurück): 18 Flüge pro Woche.

Alle anderen Städtepaare weisen ein deutlich geringeres Verkehrsaufkommen auf. Auffallend ist jedoch, dass einige der Turboprop-Flüge auf fast genau der gleichen Strecke stattfinden. Die Flüge von EDDK nach EPKR und EPWR (und zurück) verlaufen auf genau denselben Strecken wie die Flüge von EDDK nach EDDP (und zurück). Darüber hinaus verlaufen die Flüge von EDDK nach EPGD, EPPO und EYKA auf einer Strecke, die nur wenige Kilometer südlicher liegt als der Flug von EDDP nach EDDB. Daher wurde beschlossen, eine detailliertere Analyse der folgenden Strecken durchzuführen:

- EDDF-EDDP (und zurück): 27 Flüge pro Woche;
- EDDK-EDDP (und zurück): 29 Flüge pro Woche;
- EDDK-EPKT & EDDP-EPWR (und zurück): 20 Flüge pro Woche;
- EDDK-EDDB (und zurück): 18 Flüge pro Woche;
- EDDK-EPGD & EDDK-EPPO & EDDK-EYKA: 30 Flüge pro Woche.

In der folgenden Analyse stehen die Einsparpotenziale im Mittelpunkt. Es wird davon ausgegangen, dass in einem FRA die Flugzeuge direkt vom Ende der SID bis zum Anfang der STAR fliegen können. Diese Strecke wird mit der Flugroute verglichen, die nach dem Flugplan ohne FRA geflogen wird. Bei grenzüberschreitenden Flügen wird der Wegpunkt an der deutsch-polnischen Grenze als Grenze des FRA angenommen.

Auf der südlichsten untersuchten Strecke zwischen EDDF und EDDP könnten durch den Einsatz einer FRA folgende Einsparungen erzielt werden: Die Strecke von EDDF nach EDDP könnte um 2,1% verkürzt und der Flug von EDDP nach EDDF um 4,8% reduziert werden, was im Vergleich zur durchschnittlichen horizontalen Flugeffizienz ein hoher Wert zu sein scheint.

In dem jährlichen Mobilitätsbericht, der der Öffentlichkeit und den Kunden zugänglich gemacht wird, gibt die DFS die „Horizontal Flight Efficiency“ an, die die Abweichung vom direkten Flugweg in Prozent angibt. Dieser Wert kann als Key Performance Indicator (KPI) der DFS hinsichtlich der Umwelteffizienz betrachtet werden. Im Jahr 2019 betrug er 1,19%, im Jahr 2020 nur noch 0,85%, wobei hier Sondereffekte durch die Pandemie anzunehmen sind [13].

Das am stärksten frequentierte Städtepaar ist die Flugstrecke von EDDK nach EDDP. Auf dem Hinweg ergibt sich ein Einsparpotenzial von 1,5%, auf dem Rückweg sogar noch mehr. Von Leipzig nach Köln können 2,0% eingespart werden.

Interessant ist, dass die von den Turboprops genutzten Routen von und nach Süd-Polen (LASIS und NAROX als Wegpunkte an der deutschen Grenze) auf einem ähnlichen Kurs liegen. Auf dem Weg nach Osten können 5,6% eingespart werden. Diese Potenziale sind die höchsten, die im Rahmen des Projekts ermittelt werden konnten. In der Luftfahrtbranche sind solch hohe Einsparpotenziale durchaus als beeindruckend zu bezeichnen. Auf dem Weg nach Westen – also von Kattowitz oder Breslau nach Köln – könnten durch die Einführung von FRA weitere 2,2% der Strecke eingespart werden.

Der nächste Schritt war die Untersuchung der Strecke von Köln in die deutsche Hauptstadt. Auf dem Hinflug sind Einsparungen von 2,6% möglich, was ein guter Wert ist. Die Potenziale auf dem Rückweg von Berlin liegen mit 0,3% eher im unteren Bereich.

Auch für diese Strecke gibt es eine Verbindung in Richtung Osteuropa (Nordpolen und Litauen mit dem Wegpunkt SUBIX an der deutsch-polnischen Grenze), die nur leicht südlich verläuft.

Hier lassen sich sowohl auf dem Weg nach Osten (0,8%) als auch auf dem Weg nach Westen (0,3%) nur geringe Einsparungen erzielen. Setzt man diese Werte jedoch in Relation zur Horizontal Flight Efficiency oder in einen branchenweiten Kontext, sind die Einsparungen dennoch erwähnenswert.

Zusammenfassend lässt sich darlegen, dass die Einführung von FRA auf den ausgewählten Strecken Einsparungen bei der Flugdistanz im niedrigen einstelligen Prozentbereich im Vergleich zu den aktuellen Flugplanstrecken ermöglicht. Unter der Annahme, dass alle in diesem Kapitel vorgestellten Flugprofile realisiert werden können, könnte das Projekt pro Woche 633,9 NM an Flugstrecke einsparen. Basierend auf dem Flottenmix von ungefähr 40% Turboprop- und 60% Jetflugzeuge auf den untersuchten Strecken würde dies etwa 14,4 Tonnen CO₂ pro Woche einsparen (zur Berechnung siehe Tabelle 4).

Umsetzbarkeit eines FRA im unteren Luftraum

Die EU-Verordnung Nr. 716/2014 beschreibt mehrere technische und systemtechnische Anforderungen für die Umsetzung von FRA [9].

Tabelle 4: Potenzielle CO₂ Einsparung (eigene Berechnung auf Basis von[14]).

Aircraft Type	Fuel consumption in kg/h	Emissions of CO ₂ in kg/h	Emissions of CO ₂ in kg/NM
A306	4770	15073	36
B752	3320	10491	25
B763	4500	14220	34
<u>Average of Jets</u>	<u>4197</u>	<u>13261</u>	<u>32</u>
<u>AT72</u>	<u>620</u>	<u>1959</u>	<u>9</u>
Average Emission/nm*	23		
*40% Prop and 60% Jet			
saved kg CO ₂ per week**	14375		
**633,9NM/week			

Zu diesen Anforderungen gehören u.a. ein Flugdatenverarbeitungssystem (FDPS), dass in der Lage ist, FRA in Bezug auf eine individuelle Flugbahn zu handhaben und eine systemintegrierte mittelfristige Konflikterkennung (Medium Term Conflict Detection – MTCD), um potenzielle Konflikte mittelfristig zu erkennen und den jeweiligen ATCO zu unterstützen. Die DVO Nr. 2021/116 aktualisierte die Vorgaben dahingehend, dass es sich nur noch um „Kann“-Vorgaben handelt diese einzelnen Systemkomponenten zu integrieren. Es wird nur noch beschrieben, dass ATM Systeme FRA unterstützen müssen. Auch wenn im März 2023 in München das neue System „iCAS II“ eingeführt wurde, welches nativ mit FRAs umgehen kann, basieren die technischen ATM Systeme der ACCs Langen und Bremen auf der Systemarchitektur des in den 1990 Jahren entwickelten Systems P1. Bremen arbeitet mit einer überarbeiteten Version von P1, Langen verwendet P2, ein System, das auf P1 basiert und neue Hardware und verbesserte Softwarefunktionen von P1 verwendet. Diese Systeme haben gemeinsam, dass sie ohne umfangreiche Adaptionen nicht in der Lage sind, FRA zu bewältigen. Wesentliches Hindernis ist hierbei die Flugplanverarbeitung. Jeder von einem Flug betroffener Sektor benötigt einen Wegpunkt auf

den Flugplan, um sicherzustellen, dass alle Sektoren korrekt adressiert werden. Dies kann in einem ganzheitlichen FRA-Luftraum nicht gewährleistet werden. Dies gilt besonders zu den Tageszeiten, in denen eine Vielzahl von Sektoren geöffnet sind. Ein weiteres Problem ist die Kommunikation des FDPS zwischen zwei ACCs. Damit das nächste ACC aktuelle Informationen über den Flug erhält, muss eine Aktivierungsmeldung (ACT) über das Online Data Interchange Protokoll gesendet werden. Falls ein automatischer Austausch nicht möglich ist, müssen die Fluglotsen für jeden Flug eine mündliche Koordination per Telefonanruf vornehmen, was aufgrund der entstehenden Arbeitsbelastung und im Hinblick auf das Sicherheitsmanagement nicht praktikabel ist. Mündliche Telefonanrufe sollen nur eine Ausnahme sein, wenn ein System nicht entsprechend funktioniert. Dem Bremer und Langener ATM-Systemen ist gemeinsam, dass sie nur dann solche ACT-Meldungen senden können, wenn das Luftfahrzeug auf einer Luftstraße geplant ist. Das Senden einer ACT-Meldung ohne festgelegte Luftstraße ist bei diesen Systemen mit hohen Adaptionen aufwänden verbunden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die genutzten ATM-Systeme in Bremen und Langen zwar schon jetzt die Möglichkeit bieten, einen Flugplandatenaustausch für FRA-Luftstraßen zu ermöglichen, dieser aber mit einem sehr hohen Aufwand verbunden ist, da individuelle Adaptionen vorgenommen werden müssen, die zudem stetig überprüft und gepflegt werden müssen. Daher wird der Aufwand zur Umsetzung als sehr hoch und umständlich eingeschätzt.

ATM-Systeme zeichnen sich durch eine hohe Komplexität aus, wobei gleichzeitig ein hohes Maß an Sicherheit und Zuverlässigkeit gewährleistet werden muss. Das macht die Programmierung zu einer Herausforderung. Hinzu kommt, dass die Funktionen für die beiden verschiedenen Systeme entwickelt werden müssten. Obwohl die Systeme auf demselben Ursprungssystem „P1“ beruhen, können nur kleine Teile des Programmcodes universell auf beide Systeme angewendet werden. Eine komplexe Anpassung ist notwendig. Auch im Hinblick auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis ist zu hinterfragen, ob es sinnvoll ist, die Funktion zu implementieren. Der aktuelle Plan sieht vor, die bestehenden Systeme mittelfristig (laut aktuellem Plan in etwa drei bis fünf Jahren) durch neue ATM-Systeme der nächsten Generation zu ersetzen, die in der Lage sind, mit FRA zusammenzuarbeiten, wie dies mit iCAS II in München geschehen ist.

Neben der technischen Komponente müssen jedoch weitere Aspekte in der Umsetzung bedacht werden. Hierzu gehören neben den Veröffentlichungspflichten unter anderem auch Schulungsmaßnahmen für das operative Personal, Sicherheitsbewertungen, Zusammenarbeit mit dem Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung, der Verfahrensplanung, als auch Aspekte der Verkehrsfluss und Kapazitätssteuerung.

Das Ziel dieser Projektarbeit ist die Beantwortung einer Forschungsfrage bezüglich der Machbarkeit der Implementierung einer FRA im unteren Luftraum Deutschlands zur Nachtzeit. Es wurde untersucht, ob es möglich ist und ob die möglichen Einsparungen im Interesse der Beteiligten sind.

Die Frage des Einsparpotenzials wurde vor allem in der Verkehrsflussanalyse untersucht. Hier wurde deutlich, dass vor allem die Fluggesellschaften als Kunden der DFS von einer FRA profitieren würden. Auch die DFS selbst hat ein hohes Interesse daran, die horizontale Flugeffizienz zu optimieren, um ihren wichtigsten KPI hinsichtlich der Nachhaltigkeit zu beeinflussen. Die Untersuchung der Strecken hat gezeigt, dass ein Einsparpotenzial im mittleren bis niedrigen einstelligen Prozentbereich möglich ist. In der Luftfahrtbranche stellt dies eine gute Größenordnung dar. Die Frage nach der Sinnhaftigkeit kann daher positiv beantwortet werden.

Anders verhält es sich mit der Frage nach der Umsetzbarkeit. Unter Berücksichtigung der ermittelten Restriktionen der ATM-Systeme ist es derzeit nicht möglich, einen FRA zu implementieren, da die aktuelle Systemgeneration nicht in der Lage ist, die Flugplandaten in diesem Fall zu verarbeiten.

Aus den aktuellen Zeitplänen für die Einführung der nächsten Systemgeneration im unteren Luftraum geht hervor, dass eine Einführung von FRA im unteren Luftraum nicht vor dem Jahr 2027 realistisch sein wird.

Zu diesem Zeitpunkt könnte diese Machbarkeitsstudie bereits mit der Antwort: **nicht machbar** abgeschlossen werden. Die Autoren der vorliegenden Arbeit sind jedoch über den definierten Projektrahmen hinausgegangen und haben nach einer alternativen Lösung gesucht. Diese wird nun im folgenden Kapitel betrachtet.

Entwicklung eines Alternativszenarios

Direktstrecken als ein Alternativkonzept

Die Umsetzung der FRA ist im untersuchten Luftraum nicht machbar. Um einen komparativen Vorteil für die Luftraumnutzer zu schaffen, hat das Projektteam eine alternative Lösung entwickelt. Die derzeitigen ATM-Systeme benötigen ein Luftstraßensystem zur technischen Kommunikation der Flugplandaten. Außerdem sorgt die Einführung für einen hohen administrativen Aufwand. Neue mögliche Ansätze für das Projekt müssen diese beiden Faktoren vermeiden, um eine mögliche Lösung zu finden.

Eine Umsetzungsmöglichkeit ist die Einführung direkter Luftstraßen, die für die am häufigsten identifizierten Verkehrsrouten ausgelegt sind. Die Luftraumnutzer können diese Streckenführungen nutzen, um eine hohe horizontale Flugeffizienz zu erreichen. Allerdings sollten diese Streckenführungen nur während der Nacht bis zu einer bestimmten Höhe nutzbar sein. Die Einschränkungen für eine Luftstraße müssen im Route Availability Document (RAD) beschrieben werden. Das RAD ist ein öffentliches Dokument, welches für die Flugplanung verwendet werden muss und Struktur- und Ablaufanforderungen enthält, um die Flugplanung zu verbessern und gleichzeitig die Kapazität des allgemeinen ATM-Systems zu optimieren [14]. Luftstraßen können auf bestimmte Zeiten und Höhen beschränkt werden.

Mit diesem Ansatz kann eine aufwändige Implementierung neuer FRAs in den alten ATM-Systemen von Bremen und Langen vermieden werden. Darüber hinaus ist die Einrichtung neuer Strecken innerhalb der DFS gängiges Geschäft. Es sind standardisierte Prozesse vorhanden, die eine einfachere Umsetzung ermöglichen.

Implementierung von Direktstrecken

Als Alternative zu einem allgemeinen FRA wurde eine Möglichkeit zur Einführung spezifischer Direktstrecken für die nächtlich meistgeflogenen Städtepaare ermittelt. Es wird daher vorgeschlagen, die oben beschriebenen Strecken als auf die Nachtzeit restriktierte Direktstrecken einzuführen. Auf diese Weise würden 48,1% aller nächtlich durchgeführten Flüge¹ abgedeckt.

¹ 124 von 258 untersuchten Flügen entsprechen 48.1%.

Um die erläuterten Probleme der Sektoradressierung und des Austauschs von Flugplandaten zu lösen, können so genannte assistierende ACT-Übergabepunkte verwendet werden. Diese Wegpunkte sind im allgemeinen Streckennetz, das von den Fluggesellschaften genutzt werden kann, nicht vorhanden, sondern werden nur von der Systeminfrastruktur genutzt, um den ACT-Austausch an den Sektor- bzw. FIR-Grenzen zu ermöglichen, an denen normalerweise kein ACT-Austausch über die regulären Strecken möglich wäre. So kann jeder Sektor mit Flugplandaten versorgt werden und ist in der Lage, die dargestellten Flüge abzuwickeln.

Diese Strecken werden dann mit einer zeitlichen Beschränkung veröffentlicht. Das bedeutet, dass die Fluggesellschaften die Streckenführung für einen bestimmten Zeitraum nur nachts und nicht tagsüber planen können, da das Verkehrsaufkommen in der Nacht geringer ist. Um die Umsetzung der vorgenannten Streckenführungen abzuschließen, müssen die ACCs von Langen, München und Bremen zusammenarbeiten. Die Einführung von Direktstrecken ist ohne großen Schulungsaufwand für die Fluglotsen und allein durch die Veröffentlichung im monatlichen AIRAC möglich und somit für die verschiedenen Fluggesellschaften nutzbar. Hiermit bietet sich für die Airlines eine kürzere Gesamtstrecke, eine einfachere Treibstoffplanung aufgrund einer realistischeren Routenplanung und die Möglichkeit zur Einsparung von CO₂ während der Nacht wird abgedeckt.

Diskussion der Forschungsergebnisse

Die Einführung von Direktstrecken als Alternative zur herkömmlichen Streckenplanung ist zweifellos eine vielversprechende Möglichkeit, den Luftraumnutzern eine optimierte Planung anzubieten. Allerdings sollten auch bei diesem Verfahren kritische Überlegungen angestellt werden.

Einerseits basiert diese Forschungsarbeit ausschließlich auf den planbaren Flugstrecken und nicht auf den tatsächlich geflogenen Flugstrecken. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die tatsächlich geflogene, von den Fluglotsen aktiv und taktisch freigegebene Flugstrecke bereits näher an der kürzesten Distanz, dem sogenannten Großkreis anliegt, wodurch sich das Einsparpotential reduziert. Weiterhin beschränkt sich das Einsparpotential nur auf Flugstrecken, für welche auch eine veröffentlichte Direktroute vorhanden ist. Die Implementierung einer Direktroute ist jedoch mit einem administrativen Aufwand verbunden und kann daher wahrscheinlich nur auf den meistbeflogenen Strecken umgesetzt werden. Des Weiteren müssten diese

Flugrouten regelmäßig auf den Flugverkehr zugeschnitten werden, um Änderungen in den Verkehrsströmen zu berücksichtigen.

Trotz dieser Nachteile würden Direkttrouten jedoch klare Vorteile für die Luftraumnutzer bieten. Die Treibstoffplanung der Nutzer muss heutzutage anhand der geplanten Flugroute erfolgen. Wenn die Nutzer bereits mit der direkten Route planen können, kann weniger Treibstoff mitgeführt werden, was das Gewicht reduziert und somit Treibstoff einspart. Zudem würde die Einführung von Direkttrouten eine höhere Planungssicherheit für die Airlines bedeuten.

Fazit

Die vorliegende Projektarbeit sollte die Frage nach der Machbarkeit eines FRA im unteren Luftraum in Deutschland zur Nachtzeit untersuchen.

Diese Frage konnte im Rahmen des Projektes beantwortet werden. Da die Antwort jedoch negativ ausfiel, beschäftigte sich das Projekt – über den ursprünglichen Rahmen hinaus – mit der Entwicklung einer Alternativlösung. Diese konnte mit der Empfehlung gefunden werden, beschränkte Direkttrouten auf den verkehrsreichsten Strecken in der Nacht einzuführen. Für die hier betrachteten Strecken in der Nachtzeit ist dies eine einfache und kurzfristig umsetzbare Alternative, die mit geringem Aufwand einen großen Teil des Einsparpotenzials aus dem Projekt realisieren kann. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Alternative nicht beliebig skalierbar ist. Alle Erkenntnisse sind auf das in diesem Projekt untersuchte konkrete Beispiel beschränkt und lassen sich nur bedingt auf andere Regionen mit anderen Lufträumen und anderen technischen Bedingungen übertragen.

Zudem können die im Rahmen der Forschung gewonnenen Ergebnisse nur so gut sein wie die Daten, auf denen sie beruhen. So stellte die DFS den Autoren dieser Arbeit Daten aus Flugplänen zum Vergleich mit direkten Daten zur Verfügung. Es konnten jedoch keine Vergleiche mit den tatsächlich geflogenen Strecken gezogen werden. Diese können in der Realität zum Beispiel aufgrund von Warteschleifen länger als geplant oder aufgrund von kurzfristig gewährten Abkürzungen kürzer sein.

Darüber hinaus könnte der Umfang des Projekts erweitert werden. Möglicherweise lassen sich mit einer Neuberechnung und Anpassung von SIDs oder STARs weitere Einsparpotenziale realisieren. Zudem ist eine Erweiterung des optimalen Routings ist nicht nur im horizontalen, sondern auch im vertikalen Profil denkbar. Passend dazu könnte auch der Übergang

von Flugzeugen vom unteren in den oberen Luftraum (und umgekehrt) in Betracht gezogen werden. Darüber hinaus sollte auch die Möglichkeit einer direkteren Streckenführung über nationale Grenzen hinweg vorangetrieben werden. All diese Themen bieten Stoff für weitere Forschungen.

Kritisch anzumerken ist, dass die aktuelle Systeminfrastruktur der DFS in Deutschland derzeit nicht direkt dafür ausgelegt ist und nur durch individuell und flugroutenspezifische angepasste ACT-Verarbeitung die Möglichkeit bietet, einen FRA zu realisieren. Zudem schreitet die Einführung neuer Systemgenerationen nur langsam voran und wird voraussichtlich nicht vor 2026 abgeschlossen sein. Für diesen Zeitpunkt empfehlen die Autoren dieser Projektarbeit jedoch, die Forschungsfrage des Projekts erneut zu untersuchen.

Auch wenn die in dieser Arbeit skizzierte Alternative keine dauerhafte Lösung ist, ist es wichtig, dass sie die lange Wartezeit bis dahin überbrücken kann. Vor dem Hintergrund der anhaltenden Klimakrise sind sowohl Fluggesellschaften als auch Flugsicherungsorganisationen bestrebt, so schnell wie möglich und so nachhaltig wie möglich zu handeln.

Anmerkungen zur Veröffentlichung

Der vorliegende Artikel basiert auf einer im Rahmen des Studienganges MBA Aviation and Tourism Management an der Frankfurt University of Applied Sciences eingereichten Projektarbeit der Autoren [15].

Abkürzungsverzeichnis

ACC	Area Control Centre
ACT	Activation Message
ADEP	Aerodrome of Departure
ADES	Aerodrome of Destination
AIRAC	Aeronautical Information and Regulation Control
ATC	Air Traffic Control
ATCO	Air Traffic Control Officer
ATM	Air Traffic Management
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DFS	Deutsche Flugsicherung
DVO	Durchführungsverordnung
EC	European Commission

Euro-control	European Organisation for the Safety of Air Navigation
EOBT	Estimated Off-Block Time
FDPS	Flight Data Processing System
FIR	Flight Information Region
FL	Flight Level
FPL	Flight Plan
FRA	Free Route Airspace
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrument Flight Rules
KPI	Key Performance Indicator
NM	Network Manager
nm	nautical mile
RAD	Route Availability Document
RFL	Requested Flight Level
SID	Standard Instrument Departure
STAR	Standard Terminal Arrival Route
UIR	Upper Flight Information Region
zFPLS	zentraler Flugplanspeicher

Referenzen

- [1] Ritchie, H.R. (2020) Climate change and flying: what share of global CO₂ emissions come from aviation? Verfügbar unter: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-aviation> (Aufgerufen am 09. Mai 2023).
- [2] Eurocontrol (2021) ERNIP Part 1: European Airspace Design Methodology Guidelines – General Principles and Technical Specifications for Airspace Design. Verfügbar unter: <https://www.eurocontrol.int/publication/european-route-network-improvement-plan-ernip-part-1> (Aufgerufen am 09. Mai 2023).
- [3] ICAO Doc. 4444 Air Traffic Management: Procedures for Air Navigation Services (2016). Montréal: ICAO.
- [4] Eurocontrol (2022b) Network Operations: Powered by the Network Manager Operations Centre. Verfügbar unter: <https://www.eurocontrol.int/network-operations> (Aufgerufen am 09. Mai 2023).
- [5] DFS (2022a) Fluglärm: Wie wir den Fluglärm reduzieren. Verfügbar unter: <https://www.dfs.de/homepage/de/umwelt/fluglaerm/> (Aufgerufen am 09. Mai 2023).
- [6] Nava Gaxiola, C. A., Barrado, C., Royo, P. and Pastor, E. (2018) 'Assessment of the North

- European free route airspace deployment', Journal of Air Transport Management (Vol. 73), pp. 113–119. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2018.08.008.
- [7] Eurocontrol (2022e) Free route airspace (FRA), 21 January. Verfügbar unter: <https://www.eurocontrol.int/concept/free-route-airspace> (Aufgerufen am 09. Mai 2023).
- [8] European Commission (2014) 'COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) No 716/2014 of 27 June 2014 on the establishment of the Pilot Common Project supporting the implementation of the European Air Traffic Management Master Plan: No 716/2014', Official Journal of the European Union (L190), 19–44. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_2014_190_R_0005&from=ET (Aufgerufen am 09. Mai 2023).
- [9] European Commission (2021) COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2021/116 of 1 February 2021 on the establishment of the Common Project One supporting the implementation of the European Air Traffic Management Master Plan provided for in Regulation (EC) No 550/2004 of the European Parliament and of the Council, amending Commission Implementing Regulation (EU) No 409/2013 and repealing Commission Implementing Regulation (EU) No 716/2014, Official Journal of the European Union (L36), 10–38. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0116> (Aufgerufen am 09. Mai 2023).
- [10] Kraus, J. (2011) 'FREE ROUTE AIRSPACE (FRA) IN EUROPE', Perner's Contacts, 6(4), pp. 129–135. Verfügbar unter: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/908>. (Aufgerufen am 09. Mai 2023).
- [11] Eurocontrol (2022f) Flight information region (FIR/UIR) charts – 2022. Verfügbar unter: <https://www.eurocontrol.int/publication/flight-information-region-firuir-charts-2022> (Aufgerufen am 09. Mai 2023).
- [12] DFS (2021) Mobilitätsbericht 2020: Luftverkehr in Deutschland. Verfügbar unter: <https://www.dfs.de/homepage/de/medien/publikationen/mobilitaets-bericht2020.pdf?cid=81>.
- [13] ICAO (2017) Carbon Emissions Calculator Methodology. Verfügbar unter: https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v10-2017.pdf.
- [14] Eurocontrol (2022c) RAD – Route Availability Document | Aviation Intelligence Unit Portal. Verfügbar unter: <https://www.nm.eurocontrol.int/RAD/> (Aufgerufen am 27. Juni 2023).
- [15] Pietrzik, D., Höra, J. & Jahn, T. (2022). FRAGMENT Free Route Airspace in Germany at Nighttime. Unveröffentlichte Projektarbeit, Frankfurt: Frankfurt University of Applied Sciences.

Innovation im Fokus

Informationen zu Forschung, Entwicklung und Validierung

Innovation im Fokus erscheint halbjährlich und beschäftigt sich bevorzugt mit Informationen zu Forschung, Entwicklung und Validierung mit Beteiligung DFS Deutsche Flugsicherung GmbH. Diese Ausgabe ist elektronisch im Internet (www.dfs.de > Medien > Publikationen > „Schlagworte“ Innovation im Fokus) sowie über das DFS Intranet verfügbar. 90 Exemplare werden in gedruckter Form aufgelegt.

Wie auch der Vorgänger-Zeitschrift „TE im Fokus“ wurde dieser Zeitschrift von der Deutschen Bibliothek eine ISSN (International Standard Serial Number) zugeteilt:

Printversion: ISSN 2198–8951 (vormals: 1861–6364)

Internet-Version: ISSN 2198–896X (vormals: 1861–6372)

Datum dieser Ausgabe: 12.07.2023

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 © 2023 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 eines GM-Eintrages.



DFS Deutsche Flugsicherung

Impressum

Innovation im Fokus
Informationen zu Forschung,
Entwicklung und Validierung

Herausgeber:

DFS Deutsche Flugsicherung
GmbH

Günter Achatz, Bereichsleitung
Planung & Innovation

Redaktion:

Dr. Konrad Hagemann
Tel. +49 (0)6103 707 5745
E-Mail: konrad.hagemann@dfs.de

Stefan Tenoort
Tel. +49 (0)6103 707 5769
E-Mail: stefan.tenoort@dfs.de

Dr. Morten Grandt
Tel. +49 (0)6103 707 1139
E-Mail: morten.grandt@dfs.de

Oliver Haßa
Tel. +49 (0)6103 707 5762
E-Mail: oliver.hassa@dfs.de

Iris Filbrich
Tel. +49 (0)6103 707 1131
E-Mail: iris.filbrich@dfs.de

Anschrift der Redaktion:

DFS Deutsche Flugsicherung
GmbH
Redaktion Innovation im Fokus
Am DFS-Campus 5
63225 Langen
E-Mail: forschung@dfs.de

Nachdruck nur mit Genehmigung.

