

Innovation im Fokus

Informationen zu Forschung, Entwicklung und Validierung



Themenübersicht

- D-KULT
- DFS Speech Detection and Transcription Tool
- Validation of a complexity tool in live operations
- GIS-basierte Radarkartenherstellung
- Mode N
- Genauigkeitsanalyse von Sichtweitendiagrammen
- Studentische Abschlussarbeiten



Liebe Leserinnen und Leser,

ein neues Jahr liegt vor uns – eine Zeit des Aufbruchs und der Chancen. Zu Beginn des Jahres richten wir unseren Fokus auf die Möglichkeiten, die vor uns liegen.

Innovation heißt, die Zukunft zu gestalten.

In einer Welt, in der Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Sicherheit eng miteinander verbunden sind, ist Innovationskraft entscheidend, um Herausforderungen zu meistern und unsere strategischen Ziele zu erreichen. Für die DFS bedeutet das, Effizienz und Sicherheit im Luftverkehr weiter zu verbessern, den CO₂-Ausstoß zu reduzieren und neue Technologien in die operative Praxis zu bringen.



In dieser Ausgabe erwarten Sie sieben inspirierende Beiträge, die exemplarisch für die Innovationskraft der DFS stehen und zeigen, dass Innovation bei uns nicht abstrakt bleibt, sondern aktiv gelebt und umgesetzt wird:

- **Das Leuchtturmprojekt D-KULT:** Erkenntnisse zur Vermeidung persistenter Kondensstreifen – ein bedeutender Schritt für mehr Klimaschutz.
- **DFS Speech Detection and Transcription Tool:** Wie moderne Sprachtools die Sicherheitsuntersuchungen revolutionieren.
- **Validation of a complexity tool in live operations:** Praxistests eines Tools, das den Luftverkehrsfluss effizienter gestaltet.
- **GIS-basierte Radarkartenherstellung:** Chancen- und Risikoanalyse für die Umstellung von einer CAD- zu einer GIS-basierten Radarkartenherstellung.
- **Investigation on colocation of legacy Distance Measuring Equipment (DME) with upcoming Mode N ground stations:** Mode N (Navigation) ist eine Zukunftstechnologie für den terrestrischen Flugnavigationsdienst. Die technischen Möglichkeiten einer Kollokation von Mode N- und bestehenden DME- bzw. TACAN-Bodenstation wurden untersucht.
- **Genauigkeitsanalyse von Sichtweitendiagrammen:** Neue Perspektiven durch Geoinformationstools, die die operative Praxis unterstützen.
- **Studentische Abschlussarbeiten:** Eine Zusammenfassung aus dem zweiten Halbjahr 2024

Lassen Sie uns gemeinsam vorangehen. „Innovation im Fokus“ soll nicht nur informieren, sondern auch ein Raum für Dialog und Zusammenarbeit sein. Ich lade Sie ein, Ihre Ideen, Perspektiven und Erfahrungen einzubringen, um diese Plattform weiter zu bereichern. Gemeinsam können wir die Zukunft aktiv gestalten.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen und freue mich auf den Austausch mit Ihnen.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'gz'.

Dr. Gerolf Ziegenhain

Herausgeber „Innovation im Fokus“ und Bereichsleiter Planung und Innovation

Inhaltsverzeichnis

Ein Projekt mit Leuchtturm-Charakter, D-KULT: Erkenntnisse der DFS zur Vermeidung des Entstehens persistenter Kondensstreifen.....	8
Ralph Leemüller, Kristina von Sack, Nathalie Waltenberg, Andrea Bach, Maximilian Mendiguchia Meuser* & Alexander Lau* (* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut für Luftverkehr, Hamburg)	
DFS Speech Recognition and Transcription Tool for Safety Investigations	17
Konrad Hagemann, Swaroop Chauhan, Stefan Tenoort, Michael Slotty, Thomas Rüggeberg, Sven Simon, Volker Hack, Matthias Graefenhan & Andreas Buchholz	
Validation of a complexity tool in live operations.....	25
Jascha Runow	
Chancen- und Risikoanalyse für die Umstellung von einer CAD- zu einer GIS-basierten Radarkartenherstellung.....	34
Victoria Wabschitzka (Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt)	
Investigation on colocation of legacy navigation aids DME and TACAN with upcoming Mode N ground stations	38
Patrick Kucharczyk	
Genauigkeitsanalyse und Vergleich von Sichtweitendiagrammen mittels Geoinformationstools.....	47
Claudia Feßler	
Studentische Abschlussarbeiten.....	55
DFS Dual Studierende & in DFS Fachbereichen betreute Studierende	
Impressum	59

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

Ralph Leemüller, Kristina von Sack, Nathalie Waltenberg, Andrea Bach, Maximilian Mendiguchia* Meuser & Alexander Lau* (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. Hamburg): Ein Projekt mit Leuchtturm-Charakter, D-KULT: Erkenntnisse der DFS zur Vermeidung des Entstehens persistenter Kondensstreifen –

Der Artikel beschreibt das Forschungsprojekt D-KULT, das mit wichtigen Stakeholdern aus dem ATM-Betrieb in Deutschland durchgeführt wird. Ziel des Projekts ist es, die Entstehung persistenter Kondensstreifen zu vermeiden, die zum Klimawandel beitragen. Durch die Analyse von Wetterdaten und die Entwicklung eines angepassten Flugsicherungsverfahrens sollen diese Kondensstreifen reduziert werden. Eine mit der Niederlassung Karlsruhe durchgeführte umfangreiche Realzeitsimulation zeigt, dass das Konzept grundsätzlich umsetzbar ist. Jedoch noch Herausforderungen in der praktischen Anwendung bestehen, die ausgiebig diskutiert werden.

Konrad Hagemann, Swaroop Chauhan, Stefan Tenoort, Michael Slotty, Thomas Rüggeberg, Sven Simon, Volker Haack, Matthias Graefenhan & Andreas Buchholz: DFS Speech Recognition and Transcription Tool for Safety Investigations - Der vorliegende Artikel berichtet zu den Innovationsaktivitäten, die im Frühjahr 2023 im DFS- Forschungszentrum begonnen wurden mit dem Ziel, eine Transkriptionssoftware für ATC-Sprechfunk für DFS-Vorfalluntersucher bereitzustellen. Die Arbeiten wurden von einem interdisziplinären Team bestehend aus Vertretern des DFS-Simulatorzentrums, des DFS-Systemhauses und der DFS-Abteilung Strategische Zukunftsinnovationen (ehemals Simulationen, Forschung und Entwicklung) in enger Kooperation mit dem DFS-Safetymanagement durchgeführt. Es wurde eine erste Machbarkeitsbetrachtung anhand einiger Datenproben durchgeführt. Eine initiale Marktsichtung hatte ergeben, dass derzeit für den Bereich der Deutschen Flugsicherung kein adäquates fertiges Softwareprodukt für die Transkription verfügbar ist, jedoch andererseits Tools verfügbar sind, die für die angedachten Zwecke mit überschaubarem Aufwand einsetzbar gemacht werden könnten. Daraufhin wurden in einem kleinen Rahmen Entwicklungsaktivitäten gestartet, die bislang eine Nutzungskontextanalyse, einen Mock-up, einen Anforderungsworkshop, sowie zwei Usability Workshops umfassen. Im September 2024 wurde der SDUkoto genannte Prototyp an die Niederlassung Bremen zum Zwecke einer zeitlich befristeten, ersten Teststellung geliefert. Basierend auf den Nutzungserfahrungen der Investigatoren können nun weitere Anforderungen erhoben und nächste Schritte abgeleitet werden.

Jascha Runow: Validation of a complexity tool in live operations - Präzise Verkehrsprognosen und eine flexible Personaleinsatzplanung nehmen eine immer wichtigere Rolle im System Luftverkehr ein. Heutzutage ist für die erwartete Belastung eines Sektors in erster Linie der Entry Count maßgeblich, der wiederum eng an die veröffentlichten Capacity Default Values der Sektoren gekoppelt ist. Mit sogenannten Komplexitätstools soll zusätzlich zu den bereits etablierten Flow Management Tools zunehmend auch der Faktor Komplexität sowie die mit den erwarteten Verkehrskonstellationen einhergehende Arbeitslast der Fluglotsen zusätzlich in den Fokus der Betrachtung rücken. Für den unteren deutschen Luftraum wird diese neue Betrachtungsebene durch das Flow Management- und Planungstool AirMagic erfüllt. Seit dem Jahr 2018 wird AirMagic für den Luftraum der FIR München betrieblich genutzt, seit 2021 arbeitet das Center Bremen operativ mit diesem Tool. Für den Luftraum der FIR Langen befindet sich AirMagic aktuell in der Validierungsphase. Diese nahm im Jahr 2023 ihren Anfang und wird aufgrund der Vielzahl an EBGn, Sektorkonfigurationen und Sektoren bis Ende 2024 anhalten. Die Inbetriebnahme für das Center Langen ist für 2025 avisiert. In diesem Artikel wird der Validierungsprozess für das System AirMagic Langen vorgestellt. Im Fokus steht dabei die Validierungsmethodik. Darüber hinaus werden die Herausforderungen und Vorteile aufgeführt, die mit dem verwendeten Ansatz und iterativen Prozess verbunden sind.

Victoria Wabschitzka (Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt): Chancen- und Risikoanalyse für die Umstellung von einer CAD- zu einer GIS basierten Radarkartenherstellung –

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde die Überführung essentieller Funktionen des bestehenden Herstellungsprozesses von MicroStation in die freie Geoinformationssoftware QGIS validiert. Als Grundlage wurden die bestehenden Daten von der AddGIS-Oracle-Datenbank (DB) in die PostGIS-DB überführt, um dort mit QGIS weiter verarbeitet zu werden. PostGIS ist eine Erweiterung des objektrelationalen Datenbanksystems PostgreSQL. Es ermöglicht die Speicherung von Geoobjekten eines GIS in der Datenbank. QGIS (Quantum Geographic Information System) ist eine kostenlose Open-Source Software, mit der Benutzer Geodaten erstellen, bearbeiten, visualisieren, analysieren und veröffentlichen können. Der Fokus lag auf der Überprüfung der Zeichenwerkzeuge zur Objekteditierung und dem Export im GML-Format, um die fertigen Produkte (Radarkarten) in die ATS-Zielsysteme zu überspielen. Zum Vergleich der Programme MicroStation, einer CAD-Software des Unternehmens Bentley Systems, und QGIS wurde abschließend eine Chancen- und Risikoanalyse durchgeführt, um daraus Optimierungspotentiale für die DFS abzuleiten.

Patrick Kucharczyk: Investigation on colocation of legacy navigation aids DME and TACAN with upcoming Mode N ground stations –

In diesem Artikel werden für die Zukunftstechnologie Mode N die technischen Möglichkeiten einer Kollokation von einer Mode N- und einer bestehenden DME bzw. TACAN-Bodenstation untersucht. Es werden die Koexistenz der Systeme und die damit einhergehende potenzielle gegenseitige Störung betrachtet. Dies umfasst die Untersuchung einer geeigneten Methode zur Ein- und Ausspeisung von Mode N-Signalen an einer DME-Bodenstation sowie die Kollokation von DME-, TACAN- und Mode N-Bodenstationen über separate Antennen. Hierfür steht ein Testfeld mit den relevanten Bodenstationen zur Verfügung.

Claudia Feßler: Genauigkeitsanalyse und Vergleich von Sichtweitendiagrammen mittels Geoinformationstools –

Der Artikel untersucht die Genauigkeit von Sichtweitendiagrammen für Radaranlagen, indem drei Geoinformationstools (EMACS, SPx Radar Coverage Tool Pro und Predict) verglichen werden. Die Analyse zeigt, dass EMACS die realen Radarreichweiten am besten abbildet, während SPx Radar Coverage Tool Pro die geringste Genauigkeit aufweist. Nach der Analyse der Flugvermessung mit EMACS kann eine Verbesserung der Sichtweite der Radaranlage SMB in einer Höhe von 5000 Fuß über dem Meeresspiegel von 6% des Tools vorgenommen werden.

Studentische Abschlussarbeiten – In dieser Rubrik listen wir die Titel und Autoren von studentischen Abschlussarbeiten. Diese sind in der Zusammenarbeit der DFS mit Hochschulen und Universitäten entstanden und wurden im Halbjahr seit der letzten Ausgabe abgeschlossen. Da einige Arbeiten einen Sperrvermerk enthalten wurden die akademischen Ansprechpartner ergänzt. Zu jeder Arbeit finden sich weitere Angaben, u.a. auch ein kurzes Abstract in deutscher Sprache.

Ein Projekt mit Leuchtturm-Charakter, D-KULT: Erkenntnisse der DFS zur Vermeidung des Entstehens persistenter Kondensstreifen

Ralph Leemüller, Kristina von Sack, Nathalie Waltenberg, Andrea Bach, Maximilian Mendiguchia Meuser* & Alexander Lau* (* Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut für Luftverkehr, Hamburg)

Überblick

Der Klimaschutz war und ist für die DFS schon immer ein wichtiger Bestandteil ihres Handelns. Seit einigen Jahren sind in dem DFS Umwelt- und Klimaschutzkonzept (DUKK) [1] die Leitlinien, Erfolge, Handlungsfelder und Maßnahmen der DFS im Bereich Umwelt zusammengefasst. Die vier zentralen Säulen des Konzepts sind Lärmschutz, Klimaschutz, Ressourcenschonung und Förderung der Biodiversität. Die DFS optimiert kontinuierlich die Effizienz von Flugprofilen, sowohl horizontal wie vertikal. Die horizontale Flugeffizienz (HFE) wurde durch die Einführung von Free Route Airspace so weit optimiert, dass innerhalb Deutschlands eine weitere Verbesserung an ihre Grenzen stößt. Zusätzliche Verbesserungen sind nur grenzüberschreitend mit benachbarten Flugsicherungen möglich [2].

Das Forschungsprojekt D-KULT (Demonstrator Klima- und Umweltfreundlicher Lufttransport, Dauer: Mai 2022 bis April 2025) wurde durch den Projektträger des Luftfahrtforschungsprogramms (LuFo VI 2) als ein Projekt mit Leuchtturm-Charakter bezeichnet [3]. Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz ist es ein wichtiger Schritt, um den Einfluss des Luftverkehrs auf den Klimawandel zu untersuchen. Dieses Themengebiet wird mit einer Vielzahl von Stakeholdern aus dem ATM-Betrieb bearbeitet, um eine valide Grundlage für Entscheidungsträger bereitzustellen. Zu den klimawirksamen Triebwerksabgasen der Luftfahrt gehören nicht nur der CO₂-Ausstoß, sondern auch Non-CO₂-Emissionen, die nach den bisherigen Erkenntnissen deutlich stärker zum Klimawandel beitragen als bisher angenommen [4]. Ein aktuelles Forschungsthema ist hierbei die Vermeidung von Eiswolken (Zirren), die durch Kondensstreifen in eisübersättigten Gebieten entstehen. Diese Gebiete werden als Potential Persistent Contrail (PPC)-Gebiete bezeichnet.

Die Auswirkungen auf den Flugverkehr durch zukünftige Verfahren zur Vermeidung von PPC-Gebieten, insbesondere mögliche Einschränkungen der Luft-

raumkapazität im dichtbeflogenen Mitteleuropa, sind ein Schwerpunkt des Projekts.

In diesem Beitrag werden aus der Sicht der Flugsicherung die Umsetzungsmöglichkeiten der Forschungsergebnisse und ein mögliches Betriebsverfahren zur Vermeidung des Durchflugs von PPC-Gebieten vorgestellt. Das entwickelte Betriebskonzept wurde in einer umfangreichen Realzeitsimulation bei der DFS untersucht. Die Ergebnisse zu derzeit gesehenen Potentialen und Schwierigkeiten für eine betrieblichen Einführung werden ausführlich diskutiert.

Idee der Meidung von PPC-Gebieten

Untersucht wird die Verringerung von Eiswolken (Zirren), die aus persistenten Kondensstreifen in eisübersättigten Gebieten (ice supersaturated regions, ISSR) entstehen. Eisübersättigte Gebiete sind Luftschichten mit einer relativen Luftfeuchtigkeit größer als 100%. In diesem Artikel wird jedoch der Begriff „PPC-Gebiet“ bevorzugt, da darin auch das Schmidt-Appleman-Kriterium [5], [6], [7] berücksichtigt wird, ob ein Flugzeug in der betrachteten Höhe überhaupt Kondensstreifen bildet.

Kondensstreifen werden im Allgemeinen in höheren Flugflächen (im Bereich der Tropopause und der unteren Stratosphäre) durch Kondensation des aus den Triebwerken emittierten Wasserdampfs an Rußpartikeln gebildet. Die Lebensdauer beträgt dabei oft nur Sekunden bis wenige Minuten, dadurch haben

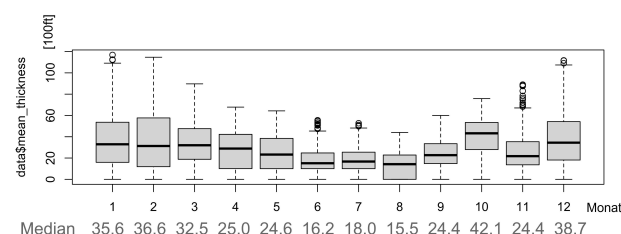


Abbildung 1: Durchschnittliche vertikale Höhen von PPC-Gebieten über der EBG OST im Jahr 2023. Darstellung als Boxplot über Monate in 100 ft Einheiten.

sie keinen merklichen Einfluss auf den Klimawandel. Kondensstreifen jedoch, die in PPC-Gebieten entstehen, können bis zu mehreren Stunden vorhanden bleiben. Diese Gebiete haben eine laterale Ausdehnung von bis zu 450 km. In der Vertikalen gibt die Forschung eine Dicke von 800 ft – 1650 ft an [8]. Eigene Untersuchungen der DFS¹ ergaben dagegen eine mittlere Dicke von 1600 ft bis 3900 ft mit Maximalwerten bis 9500 ft (siehe Abbildung 1). Die Untersuchung wurde in Flugflächen über den östlichen Bundesländern von Deutschland durchgeführt. Dieser Luftraum wird als EBG OST der Niederlassung Karlsruhe bezeichnet.

Die in PPC-Gebieten entstandenen persistenten Kondensstreifen können sich durch Winde und Diffusionsprozesse zu Wolken (Zirren) ausbreiten. Diese Zirren haben einen Einfluss auf die Erderwärmung, da sie die Abkühlung der Erde in den Nachtstunden reduzieren. Entstehen die Zirren dagegen in den Morgenstunden, so haben sie einen kühlenden Einfluss, da sie die Sonnenstrahlen in das Weltall zurückreflektieren. Der Gesamteffekt wird in der Forschung jedoch als erwärmend betrachtet [4]. Die PPC-Gebiete werden auf Basis der Prognosedaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) berechnet. Die Daten des DWD werden alle sechs Stunden neu berechnet mit aktualisierten Vorhersagen für bis zu 48 h in stündlicher Auflösung [9]. Ein naheliegendes Vorgehen zur Vermeidung der Erzeugung von persistenten Kondensstreifen ist das Freihalten der PPC-Gebiete von Luftfahrzeugen, gesteuert durch die Flugsicherungen. In der Klimaforschung wird seit einigen Jahren diese Meidung diskutiert. Die Gebiete können horizontal durch Routenänderung oder vertikal durch Höhenänderung umflogen werden [10], [11], [12].

Herausforderungen

Die vorliegenden Studien betonen, dass einer betrieblichen Einführung nichts im Wege stehen würde. Allerdings fand bisher keine Überprüfung dieser Annahme durch Simulationen oder einen Probebetrieb mit realen Flügen statt – auch im Hinblick auf die Vorhersagegenauigkeit der zu meidenden PPC-Gebiete. Ein seitliches Umfliegen der PPC-Gebiete mit horizontalen Ausdehnungen bis zu 450 km benötigt Platz im Luftraum, welcher im dicht

beflogenen Zentraleuropa kaum vorhanden ist. Ein EASA-Report [11] empfiehlt daher für Transatlantikflüge das laterale Umfliegen, welches auch in Übereinstimmung mit der Studie von Grewe [10] ist. Die Vermeidung einer erheblichen Flugwegverlängerung durch das Umfliegen erfordert dabei eine Optimierung der Routenplanung. Eine längere Route führt neben einer höheren Flugdauer auch zu einem erhöhten Kerosinverbrauch und damit zu vermehrter CO₂-Emission, was es zu vermeiden gilt.

Das vertikale Über- oder Unterfliegen der PPC-Gebiete ist in dicht beflogenen Lufträumen die bessere Wahl. Allerdings sollte die Höhenänderung möglichst gering ausfallen. Dies setzt wiederum voraus, dass die Grenzen der eisübersättigten Gebiete sehr gut bestimmt sind. In der Studie von Gierens [13] wird festgestellt: „Die Probleme sowohl der Wetter- als auch der Klimamodelle, die relative Feuchte korrekt vorherzusagen, und insbesondere die Unterschätzung von Häufigkeit und Grad der Eisübersättigung, führen jedoch zu einer sehr geringen Zuverlässigkeit bei der Vorhersage der Kondensstreifenpersistenz.“

Im Rahmen des Projekts D-KULT erfolgten auf Betreiben der DFS Untersuchungen zur Bestimmung des Schwellwertes der relativen Feuchte. Physikalisch liegt ab 100 % relative Feuchte eine Eisübersättigung bei niedrigen Temperaturen vor. Die Luftfeuchtwerte des DWD in großen Höhen sind in den Modellannahmen für die Anwendung bei PPC-Gebieten noch nicht ausgereift genug gewesen. Was für die bisherige Wetterprognosen ausreichend war, musste nun für diesen Anwendungsfall neu definiert werden. Vergleiche des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) zwischen Wetterdaten und Sensordaten zur Luftfeuchte ergaben eine Unterschätzung der Werte um -7 %. Mit dieser Abschätzung wurde eine projektweite einheitliche Skalierung zur Lagebestimmung der PPC-Gebiete getroffen.

Bei einem weiteren Parameter zur Bestimmung der PPC-Gebiete gab es keine einheitliche Festlegung. In der Literatur finden sich große Variationen der mittleren Triebwerkseffizienz (overall propulsion efficiency, η), die in dem Schmidt-Appleman-Kriterium verwendet wird. Dieser Wert wurde durch Vergleich des Flottenmix durch die DFS vom Januar 2023 auf den Wert $\eta = 0,365$ bestimmt. Mit diesen Werten sind

¹ Die operationellen Wetterdaten des DWD bilden die Basis zur Berechnung der PPC-Gebiete (siehe nachfolgende Kapitel). Aus diesen Daten wurden für jede Prognosezeit des Jahres 2023 und jeden Stützpunkt des Wettermodells die

Höhe der PPC-Säule notiert. Die Mittelwerte der Daten über die Prognosezeit, des Zeithorizonts von 6h, der Summation über die Tage und Monate ergaben die Durchschnittswerte für die gezeigten Boxplot-Diagramme.

zwei Parameter zur Größenbestimmung der PPC-Gebiete definiert, um damit klimatologisch wirksame Gebiete zu bestimmen. Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, ergeben sich daraus beträchtliche durchschnittliche Dicken von 2640 ft im Jahresmittel, mit Maximalwerten bis 9500 ft. Das vertikale Umfliegen dieser Gebiete wird voraussichtlich zu einer erhöhten CO_2 -Emission führen.

Parallel dazu hat der DWD eine neue Modellierung, das sogenannte 2-Momenten-Schema, in einer experimentellen Berechnung eingeführt, welches die relative Luftfeuchte erheblich besser zur Realität darstellt. Die Berechnung dieser Daten kostet jedoch zurzeit noch zu viel Rechenkapazität, sodass sie nur eingeschränkt zur Verfügung stehen. Zusätzlich definierte der DWD erweiterte Datenformate, um klimatologische Daten pro Stützpunkt zur Verfügung zu stellen. Diese Datenpakete sind aktuell in der Erprobung innerhalb des Projekts D-KULT.

Das Auftreten von PPC-Gebieten in verschiedenen Höhen im betrachteten Luftraum der DFS ist in Abbildung 2 dargestellt. Zur Übersichtlichkeit sind die Daten nach Jahreszeiten zusammengefasst. Es ist erkennbar, dass PPC-Gebiete im Frühjahr, Herbst und Winter nicht nur im oberen Luftraum der DFS (ab FL 285), sondern auch im unteren Luftraum auftreten. Dies hat zur Folge, dass ein Verfahren zur Vermeidung auch den unteren Luftraum betreffen wird. Im Rahmen des Projekts wurde bezüglich der Machbarkeit zunächst nur der obere Luftraum der Flugsicherungszentrale Karlsruhe betrachtet.

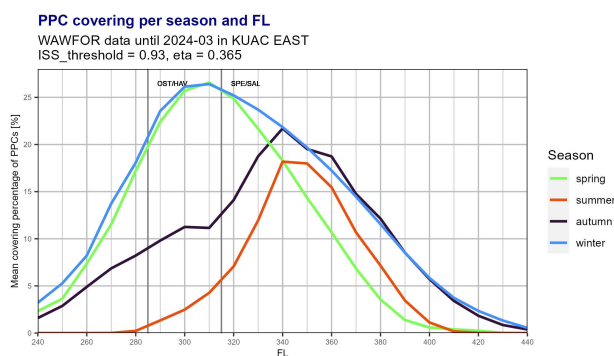


Abbildung 2: Auftreten von PPC-Gebieten in verschiedenen Höhen (Flight Level) zusammengefasst nach Jahreszeiten. In der Statistik wurden die WAWFOR-ICON-EU-Daten des DWD (geografisch über der EBG OST der NL Karlsruhe von November 2022 bis Februar 2024) verwendet.

Der Nachweis des Entstehens von persistenten Kondensstreifen kann unter anderem mithilfe von Satellitenaufnahmen erfolgen. Soll das Nichtentstehen von diesen Kondensstreifen gezeigt

werden, so muss der betroffene Bereich des PPC-Gebiets komplett von Flugzeugen freigehalten werden. Es ist mit der aktuellen Auflösung des Satelliten nur in Einzelfällen möglich, eine Zuordnung zu einem Einzelflug zu treffen.

Es wurde im Projekt angedacht, einen Probebetrieb zur Vermeidung von PPC-Gebieten bei der DFS durchzuführen. Die Ergebnisse der nachfolgend beschriebenen Realzeitsimulation zeigten jedoch sicherheitsrelevante Punkte, die eine zeitgerechte Durchführung im Rahmen des Projektes nicht möglich machen. Ein Probebetrieb sollte nach Möglichkeit in verkehrsarmen Zeiten stattfinden, da hier mehr Optionen in der Flugführung bestehen. Abbildung 2 zeigt jedoch für die verkehrsarmen Jahreszeiten (Winter und Frühling), dass sich die PPC-Gebiete sowohl im oberen als auch im unteren Luftraum ausbreiten. Daher müssen zum Umfliegen dieser Gebiete zwei Kontrollzentralen eingebunden werden, was einen möglichen Probebetrieb aufwändiger macht. Im Sommer ist nur der obere Luftraum betroffen, allerdings sind das die verkehrsreichen Monate. Weiterführende Forschungsansätze zu natürliche Bewölkungssituationen und deren klimatologischen Einflüsse bei der zusätzlichen Entstehung persistenten Kondensstreifen wurden durch das Projekt D-KULT in Zusammenarbeit mit den Organisationen DLR, DWD und DFS initiiert, um in Folgeprojekten weitergeführt zu werden. Das Ziel dabei ist, nur in klimatologisch sinnvollen Situationen eine Vermeidung der PPC-Gebiete durchzuführen.

Betriebsverfahren

In mehreren Workshops mit operativem Personal der Niederlassung Karlsruhe, die für einen großen Teil des oberen Luftraum Deutschlands zuständig ist, wurde ein Betriebsverfahren für Lotsen am Arbeitsplatz entwickelt. Zusätzlich wurde ein Verfahren zur Entscheidung, ob ein PPC-Gebiet zu vermeiden ist, und die dazugehörige Kommunikation betroffener Stellen, wie Expertengremium zur Wetterbeurteilung, Supervisor-Position, FDB-Arbeitsplatz und Lotsenarbeitsplatz, erarbeitet. Das betriebliche Verfahren für den Lotsen hat folgende Merkmale:

- Die PPC-Gebiete werden vertikal oder/und lateral umfliegen.
- Die Nachbar-Kontrollzentralen und Nachbarsektoren müssen bei dem Verfahren involviert werden. Die Übergabebedingungen zu angrenzenden Sektoren sollen möglichst eingehalten oder koordiniert werden.

- Ein Ausweichen in den unteren Luftraum soll vermieden werden.

Wabenstruktur

Für die Darstellung der PPC-Gebiete auf dem Lotsenarbeitsplatz wurde eine Wabenstruktur (Hexagone, siehe Abbildung 3) entworfen. Diese Waben werden über die ausgewählten Sektoren der Ostgebiete des oberen Luftraums der DFS gelegt. Es wurden Hexagone gewählt, da sie nicht mit anderen Gebietsdarstellungen auf dem Radarschirm in Konflikt stehen und gleichzeitig recht einfach zu adaptieren sind.

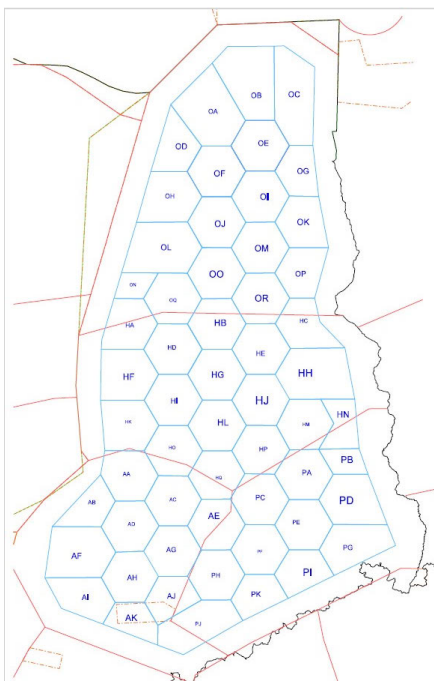


Abbildung 3: Wabenstruktur in Form von Hexagonen. Jede einzelne Wabe hat einen eindeutigen Bezeichner (der erste Buchstabe steht für den Sektornamen: Ostsee (O), Havel (H), Saale (A), Spree (P). Der zweite Buchstabe ist ein fortlaufender Buchstabe aus dem Alphabet.

Die in der grafischen Darstellungsadaption des verwendeten Flugsicherungssystems hinterlegte Wabenstruktur wurde bewusst nicht bis zu den externen Grenzen geführt, um einen Abstand von etwa 10 NM für die Rückführung der Luftfahrzeuge auf ihren Exit-Level zu ermöglichen. Jedoch zeigte sich in der Simulation, dass dieser Abstand nicht benötigt wird. Eine neue Grundstruktur ist in der Entwicklung.

Es werden für jede Prognosestunde die PPC-Gebiete pro Flugfläche auf Basis der Wetterdaten berechnet

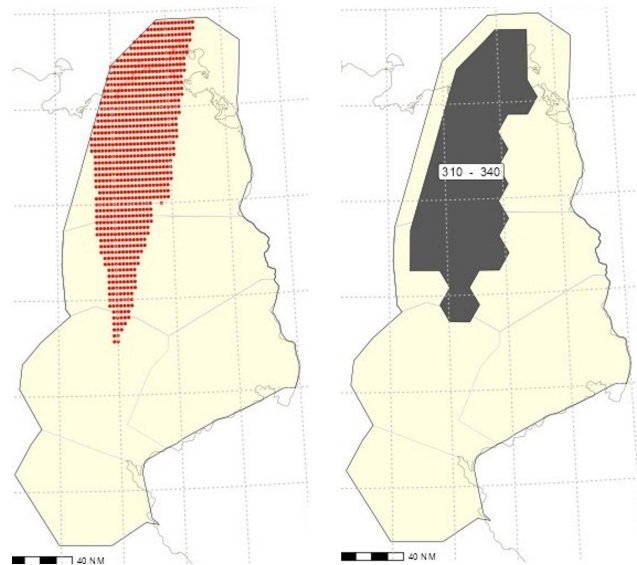


Abbildung 4: PPC-Gebiete (rote Punkte) in einer Flugfläche (links), sowie konvertiert und kumuliert über alle betroffenen Flugflächen in eine Wabenstruktur mit Höhenangaben (rechts).

(siehe Abbildung 4 links). Anschließend werden diese Gebiete in eine dreidimensionale Form auf Basis der Wabenstruktur konvertiert (siehe Abbildung 4 rechts). Diese Strukturen können in einem weiteren Schritt auf dem Radarschirm des Lotsen eingeblendet werden (Abbildung 5).

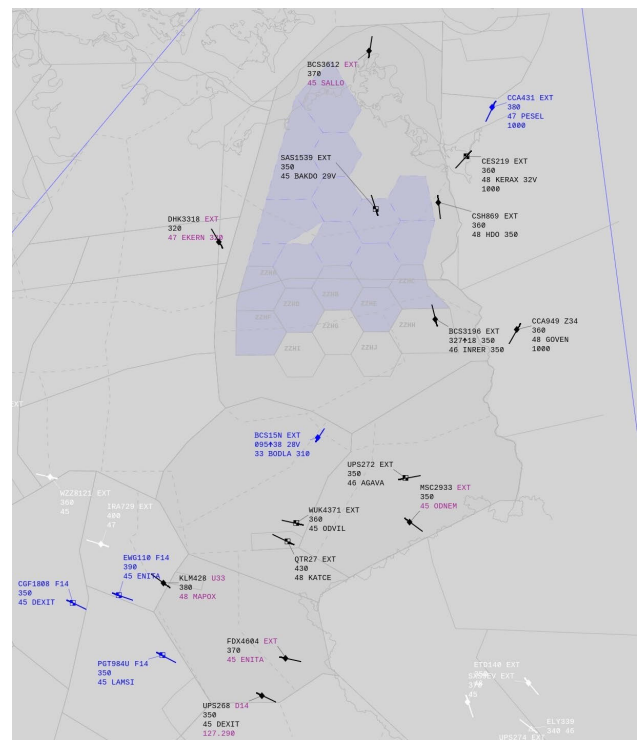


Abbildung 5: PPC-Gebiete auf dem Radarschirm des Lotsen (beispielhafte Darstellung).

Entscheidung zur Durchführung des Verfahrens

Die Entscheidung bei einem Probebetrieb, ob und wann die Vermeidung des Durchflugs von PPC-Gebieten aktiviert werden soll, erfolgt in mehreren Schritten: Aus den vorhergesagten Wetterdaten wird von einem Expertengremium festgestellt, ob und wo PPC-Gebiete existieren (werden). Diese werden grafisch aufbereitet und dem Supervisor in der Kontrollzentrale 6 Stunden vorher zugänglich gemacht.

Der Supervisor hat im Rahmen des aktuellen Betriebskonzepts die Aufgabe zu prüfen, ob betriebliche Gründe, wie z. B. signifikantes Wetter, aktive Militärgebiete, Systemaktivitäten, etc., vorliegen, welche gegen die Anwendung des Verfahrens sprechen würden. Die abschließende Entscheidung, die Vermeidung durchzuführen, liegt immer beim Supervisor. Entscheidet er sich für die Durchführung, dokumentiert er, welche PPC-Gebiete berücksichtigt werden und unter welchen operativen Randbedingungen der (Probe-)Betrieb in dem von ihm gewählten Zeitraum stattfinden wird. Für den Zeitraum der Vermeidung werden die entsprechenden PPC-Waben am Lotsenarbeitsplatz aktiviert. Die Lotsen werden in diesem Zeitraum die geschulten Verfahren anwenden. Bei der Entwicklung des Verfahrens wurde eine Realzeitsimulation eingeplant, da es sich um ein neues Verfahren handelt und dieses erst getestet werden sollte.

Ziel, Konzeption & Durchführung einer Realzeitsimulation

Erste betriebliche Erkenntnisse wurden mit Hilfe einer Realzeitsimulation im 4. Quartal 2023 erlangt. Die Simulation fand an einem Simulationssystem in der Niederlassung Karlsruhe mit angeschlossenem operativem ATS-System (Air Traffic Control System, im Testmodus) statt und betrachtete das Gebiet der Einsatzberechtigungsguppe Ost (EBG Ost) der Kontrollzentrale Karlsruhe. Ziel der Simulationskampagne war es, die Vermeidbarkeit von PPC-Gebieten mit dem entwickelten Betriebsverfahren zu untersuchen und deren Auswirkung auf die Luftraumkapazität zu ermitteln.

In den Simulationsläufen wurden mehrere Variationen vorgenommen:

- Unterschiedliche Szenarien mit Tag- oder Nacht-konfiguration
- Verschiedene Verkehrslasten basierend auf realem, aufgezeichnetem Verkehr

- Unterschiedliche Sektor Konfigurationen
- Arbeitspositionswechsel
- Statische und dynamische PPC-Gebiete

Pro Simulationstag wurden 3 – 6 Simulationsläufe mit 10 Probanden (Lotsen) durchgeführt, dabei wurden manche parallel vorgenommen.

Mehrere Bewertungskriterien wurden in der Simulation erhoben, um belastbare Aussagen zu erhalten. Dazu gehören:

- Regelmäßige Abfrage des Situationsbewusstseins und der Lotsen-Beanspruchung während des Simulationslaufs
- Erfassung aller Daten des Simulationssystems
- Elektronische Post-Run Fragebögen
- Strukturierte Interviews der Lotsen mit freier Meinungsäußerung

Dies diente einer fundierten Bewertung der vorab getroffenen Annahmen.

Ergebnisse aus der Realzeitsimulation

Die Simulation lieferte wertvolle Erkenntnisse in Bezug auf die Vermeidung des Durchflugs von PPC-Gebieten. Das neuentwickelte Verfahren wurde grundsätzlich als durchführbar bewertet. Dennoch hat die Simulation einige Herausforderungen und relevante Punkte aufgeworfen, welche es noch zu lösen gilt, bevor es zu einer betrieblichen Einführung kommen kann.

Das neuentwickelte Betriebsverfahren wurde erfolgreich validiert. Es waren in der Simulation erhebliche Mehrbelastungen der Lotsen sichtbar, welche Kapazitätseinschränkungen für einen operativen Betrieb nach sich ziehen. Diese entstanden durch die Reduktion des verfügbaren Luftraums, da Flugflächen und Gebiete von Luftfahrzeugen freigehalten wurden. Die Simulationsszenarien basierten auf real geflogenem Verkehr in einem der am dichtesten beflogenen Lufträume der Welt. Obwohl die Anzahl der Luftfahrzeuge in den Szenarien schon vermindert war, wurden dennoch Mehrbelastungen durch das neue Verfahren erfasst. Diese erste Simulation war jedoch bewusst noch nicht dafür ausgelegt, die Höhe der Einschränkungen zu erfassen. Weitere Untersuchungen oder Simulationen auch unter arbeitswissenschaftlichen Aspekten sind im Nachgang notwendig, um das Verfahren weiterzuentwickeln, damit es nicht zu einem Verlust des Situationsbewusstseins oder unangemessener Erhöhung der Arbeitsbelastung der Lotsen am Arbeitsplatz führt.

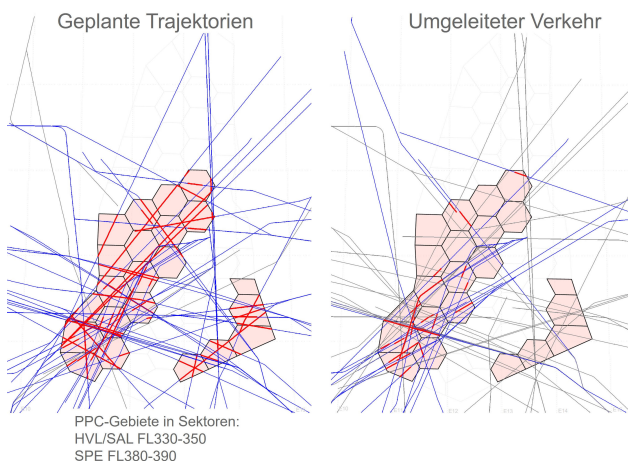


Abbildung 6: Beispiel der Vermeidung eines PPC-Gebiets während der Simulation: Blaue Spuren stellen geplante Flugtrajektorien dar; der Anteil, der durch ein PPC-Gebiet führt, ist rot markiert. Graue Trajektorien wurden erfolgreich über oder unter dem PPC-Gebiet vorbeigeleitet. Links werden die vorgesehenen geplanten Flugspuren und rechts das Ergebnis der Vermeidung gezeigt.

Diese Mehrbelastungen führten auch dazu, dass nicht alle Flüge um das PPC-Gebiet herumgeleitet werden konnten. In Abbildung 6 ist an einem Beispiel der umgeleitete Verkehr in der Simulation dargestellt. Hierbei wurden nur 54% der geplanten Flugzeuge aus dem PPC-Gebiet gehalten.

Als ein wichtiger Baustein zur Umsetzung des Verfahrens wurden verschiedene Darstellungsvarianten der PPC-Gebiete auf dem Radarschirm des Lotsen untersucht. Sie unterschieden sich in der grafischen Ausprägung und der Art und Weise der Aktivierung auf dem Bildschirm. Jede Variante hatte ihre Vor- und Nachteile. Jedoch gab es noch keine zufriedenstellende Version, die allen Ansprüchen gerecht wird. Die Entwicklung und Festlegung einer optimalen Darstellung bleibt ein weiterer wichtiger Schritt für die Umsetzbarkeit des Verfahrens zur Vermeidung von persistenten Kondensstreifen.

Während der Durchführung der Realzeitsimulation wurden sicherheitsrelevante Punkte erkannt und aufgenommen. Es wurden zum Beispiel eine Überlagerung der Flugzeugkennung mit den PPC-Waben festgestellt, die diese Kennung unleserlich machte. Solch eine Label-Überlagerung ist im Simulationsumfeld unkritisch, allerdings darf sie niemals im realen Betrieb erfolgen. Diese Punkte werden in einer Sicherheitsbetrachtung zum Betriebsverfahren erneut eruiert. Erst nach Bewertung und daraus abzuleitenden Änderungen kann eine Genehmigung zu einem zukünftigen Probetrieb erfolgen.

Es zeigte sich zudem ein notwendiger Anpassungsbedarf am operationellen ATS-System für die Umsetzung des Verfahrens. Dies ist ebenfalls erst noch zu bewerten, um die Möglichkeiten und den Aufwand für die Änderungen am System zu bestimmen. Die Verfahren der Einführung in der Flugsicherung zur Aufrechterhaltung des hohen Sicherheitsniveaus der Luftfahrt müssen, wie bei jedem neuen Verfahren, grundsätzlich berücksichtigt werden.

Bei der Anwendung des Verfahrens müssen auch die Airlines informiert werden, da dem Piloten ungeplante Höhenänderungen angewiesen werden, die nicht mit seiner berechneten optimalen Flughöhe übereinstimmen. Eine entsprechende Phraseologie in der Kommunikation zwischen Piloten und Lotsen wurde vorgeschlagen. Diese lautet: "For contrail prevention climb/descent to FL xxx." Jedoch ist sie mit den Airlines abschließend zu vereinbaren, damit es nicht zu unnötigen Nachfragen während des Funkkontaktes kommt und sich damit die Arbeitslast der Lotsen erhöht.

Klimabewertung

Dem Klimaeffekt, basierend auf der Vermeidung von persistenten Kondensstreifen und den daraus entstehenden Zirren, müssen die hinsichtlich des Treibstoffverbrauches nicht optimalen Flugrouten und Höhen gegenübergestellt werden. Durch den erhöhten Kerosinverbrauch entstehen entsprechend mehr CO₂-Emissionen. Es ist nur dann eine Meidung der PPC-Gebiete sinnvoll, wenn die Gesamtklimabilanz positiv ausfällt. Die Berücksichtigung der gegenläufigen Klimaeffekte wurde in der Studie von Teoh [12] ansatzweise in Simulationen durchgeführt, diese müssen jedoch mit real durchgeführten Flugversuchen verifiziert werden. Hierbei ist es wesentlich, dass nicht die Strahlungsantriebe miteinander verglichen werden, sondern die Temperaturreduktion durch die passende Klimametrik errechnet wird, um die Klimabilanz zu erhalten [14]. Dieser Aspekt wird in der aktuellen Klimadiskussion häufig außer Acht gelassen.

Während der Durchführung der Realzeitsimulation der DFS wurde keine Bewertung der Klimaeffekte durchgeführt. Die Klimaeffekte der Trajektorien aus dieser Realzeitsimulation werden aktuell in Kooperation mit dem DLR Institut für Luftverkehr (LV) analysiert, um das Mitigationspotential der Kondensstreifenvermeidung in der Realzeitsimulation zu quantifizieren. Die Flugbeispiele in der Realzeitsimulation basieren auf real geflogenem Verkehr über Deutschland. Dazu sind die Teilstrecken über dem Testgebiet (EBG OST) abgebildet (Abbildung 7).

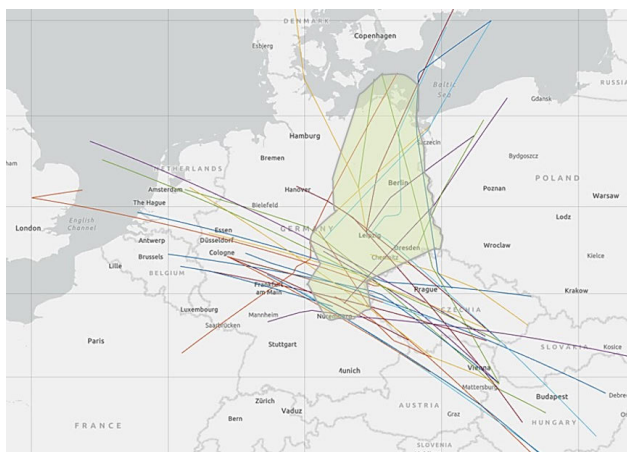


Abbildung 7: Flugspuren eines Szenarios aus der Realzeitsimulation.

Für die Untersuchung der Klimabilanz wird jedoch eine Gesamttrajektorie von Startflughafen bis Zielflughafen zur genaueren Abschätzung der Änderungen der Flugzeugmasse und des Treibstoffverbrauchs benötigt. Diese sind für eine realitätstreue Nachrechnung der Flugleistung und damit der entstehenden Emissionen notwendig (Abbildung 8). Detaillierte Informationen zur Masse sind aus der Realzeitsimulation entnommen. Eine Herausforderung bestand nun darin, die verwendeten Teiltrajektorien sinnvoll zu einer Gesamtflugspur zu erweitern.

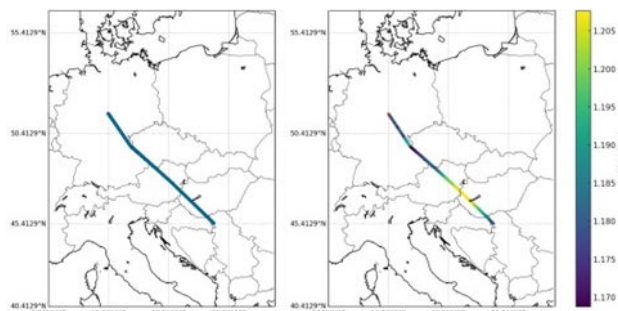


Abbildung 8: Beispiel einer untersuchten Trajektorie. Links: Flugspurdaten der DFS. Rechts: Klimawirkung (farblich kodiert) entlang der Trajektorie basierend auf aCCFs und Klimametrik F-ATR50.

Basierend auf den Flugspurdaten wird das Trajectory Calculation Module (TCM) des DLR-LV verwendet (Abbildung 9) [15]. Dieses berechnet 4D-Trajektorien auf der Grundlage vorgegebener Flugleistungsparameter. Die entsprechenden Emissionsmengen werden durch Korrelationsmethoden (BFFM2, DLR) abgeschätzt [16]. Die verwendeten PPC-Gebiete der Realzeitsimulation basieren auf realen Wettersituationen. Für diese Tage werden die historischen Wetterdaten des DWD und des ECMWF (European

Centre for Medium-Range Weather Forecasts) verwendet, um mit Hilfe der Klimafunktionen aCCF (algorithmic Climate Change Functions) [17] die jeweilige Klimawirkung abzuschätzen. Ein abschließendes Ergebnis kann im Moment noch nicht angezeigt werden. Es wird jedoch noch in der verbliebenen Laufzeit des Projekts D-KULT vorgelegt werden.

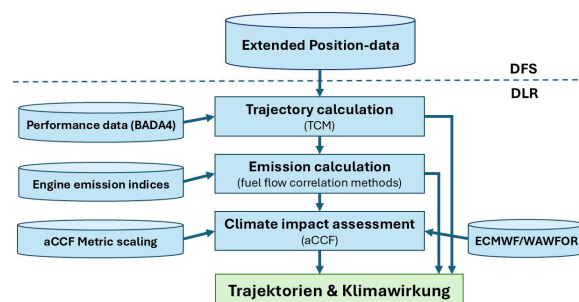


Abbildung 9: Blockdiagramm des Prozesses zur Berechnung der Trajektorien inkl. Flugleistung und Abschätzung der Klimawirkung.

Im Nachgang zu den Auswertungen wäre eine klimatologische Klassifizierung der PPC-Gebiete hilfreich, welche auf jeden Fall zu vermeiden sind und bei welchen eine aktive Vermeidung nicht zielführend wäre. Für die Klassifizierung wird eine Kombination des zeitlichen Verlaufs der PPC-Gebiete mit dem erwarteten Flugverkehr bzw. den angenommenen Änderungen notwendig. Damit kann eine Abschätzung der Effizienz hinsichtlich der Vermeidung getroffen werden. Dies könnte den Supervisor dabei unterstützen eine Entscheidung zu treffen, welche PPC-Gebiete „aktiviert“ und dann vermieden werden sollen. Auch die Fragestellung, ob eine positive klimatologische Wirkung zunichte gemacht wird, wenn zwei bis drei Luftfahrzeuge durch das PPC-Gebiet fliegen, im Vergleich zu 10 bis 15 Luftfahrzeugen, die aus dem PPC-Gebiet herausgehalten werden, wurde in der Forschung noch nicht ausreichend diskutiert. Nur eine nachweisbare positive Klimabilanz und damit ein effektiver Beitrag gegen den Klimawandel wird eine operative Nutzung in Europa möglich machen.

Schlussfolgerung

Die Realzeitsimulation der DFS hat gezeigt, dass ein Umfliegen klimasensitiver PPC-Gebiete, in denen sich langlebige Kondensstreifen bilden können, mit nennenswerten Kapazitätsreduktionen einhergeht. Deutschland, mit seinem in Europa am dichtesten beflogenen Luftraum, ist davon besonders betroffen. Und auch das hat die Realzeitsimulation gezeigt: ein Umfliegen konnte gut erfolgen, wenn Szenarien mit

reduzierter Verkehrsmenge simuliert wurden. Ebenso sollten die zu untersuchende Gebiete großräumiger (beispielsweise über ganz Europa) gefasst werden [18], damit präzisere Aussagen zur Kapazitätsreduktion getroffen werden können.

Es bedarf darüber hinaus weiterer Überlegungen und Forschungsarbeiten auch außerhalb von D-KULT auf nationaler und internationaler Ebene, bevor von einer operationellen und standardisierten Anwendung gesprochen werden kann. Auf europäischer Ebene wurden bereits Arbeiten an regulativen Mechanismen begonnen [19]. Diese stellen Anreizverfahren zur Vermeidung von PPC-Gebieten in den Mittelpunkt. Darauf aufbauend und unter Berücksichtigung der offenen Forschungsfragen gilt es über mögliche gesetzliche Regelungen und Vorgaben zu diskutieren.

Abkürzungsverzeichnis

aCCF	algorithmic Climate Change Functions
ATM	Air Traffic Management
ATS-System	Air Traffic Control System
BADA	Base of aircraft data – EUROCONTROL's Flugzeugparameter Datenbank
BFFM2	Boeing Fuel Flow Method 2
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CO ₂ -Emissionen	Kohlenstoffdioxid-Emissionen, Treibhausgas Emissionen
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
D-KULT	Demonstrator Klima- und Umweltfreundlicher Lufttransport
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DLR-LV	DLR Institut für Luftverkehr (LV), Hamburg
DUKK	DFS Umwelt- und Klimaschutzkonzept
DWD	Deutscher Wetterdienst
EBG Ost	Gebiet der Einsatzberechtigungsgruppe Ost
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
FL	flight level (Flughöhe)

ISSR	eisübersättigte Gebiete (ice super-saturated regions)
LuFo	Luftfahrtforschungsprogramm, gefördert durch das BMWK der Bundesrepublik Deutschland
NM	Nautische Meilen
PPC-Gebiet	Potential Persistent Contrails-Gebiete
TCM	Trajectory Calculation Module
WAFOR-Daten	digital aeronautical meteorological data set des DWD

Referenzen

- [1] DUKK DFS Umwelt- und Klimaschutzkonzept (2022).
- [2] DFS Mobilitätsbericht (2023). Luftverkehr in Deutschland. Mobilitätsbericht 2023.
- [3] D-KULT Förderantrag. Internes Dokument (2022).
- [4] Lee D. S., Fahey D. W., Skowron A., Allen M. R., Burkhardt U., Chen Q., Doherty S. J., Freeman S., Forster P. M., Fuglestedt J., Gettelman A., DeLeon R. R., Lim L. L., Lund M. T., Millar R. J., Owen B., Penner J. E., Pitari G., Prather M. J., Sausen R. & Wilcox L. J. (2020). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing in 2018. *Atmospheric Environment*.
- [5] Schumann U., On conditions for contrail formation from aircraft exhausts. *Meteorol. Z.*, 5 (1996). 4–23.
- [6] Schumann U., (2000). Influence of Propulsion Efficiency on Contrail Formation, *Aerospace Science and Technology*, 4, 391–401.
- [7] Schumann U., (2005). Formation, properties and climatic effects of contrails. *C. R. Physique*, 6, 549– 565.
- [8] Gierens K., Wilhelm L., Sommer M. & Weaver D., (2020). *Meteorol. Z.*, 29, 165–176.
- [9] WAWFOR Datensatz für die Luftfahrt, World Aviation Weather FORecast. Flyer Deutscher Wetterdienst DWD.
- [10] Grewe V., Matthes S., Frömming C., Brinkop S., Jöckel P., Gierens K., Champougny T., Fuglestedt J., Haslerud A., Irvine E. & Shine K. (2017). Feasibility of climate-optimized air traffic routing for trans-Atlantic flights. *Environ. Res. Lett.* 12. 034003. ISSN 1748–9326 doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5ba0>
- [11] EASA-Report (2020). Updated analysis of the non-CO₂ climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to the EU Emissions Trading System Directive Article 30(4). Arrowsmith Arrowsmith S., Lee D., Owen B., Faber

- J., van Wijngaarden L., Boucher O., Celikel A., Deransy R., Fuglestad J., Laukia J., Tronstad Lund M., Sausen R., Schaefer M., Skowron A., Stromatas S., & Watt A., 23.11.2020.
- [12] Teoh, R., Schumann, U., Majumdar, A. & Stettler, M. E. J., (2020). Mitigating the climate forcing of aircraft contrails by small-scale diversions and technology adoption. *Environmental Science and Technology*, 54(5), pp. 2941–2950.
- [13] Gierens K., Matthes S. & Rohs S. (2020). How well can persistent contrails be predicted? In '3rd ECATS Conference, Making Aviation Environmentally Sustainable' Book of Abstracts Matthes S. and Blum A. (eds).
- [14] Leemüller, R. (2022). Von der Forschung zur Inbetriebnahme am Beispiel von klimaoptimierten Flugrouten. Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt – Lilienthal-Oberth e.V. <https://doi.org/10.25967/570064>.
- [15] Linke, F. (2016). Ökologische Analyse operationeller Lufttransportkonzepte. DLR-Forschungsbericht. DLR-FB-2016–10. Dissertation. Technische Universität Hamburg-Harburg.
- [16] Zengerling, Z., Linke, F., Weder, C. & Dahlmann, K. (2022). Climate-Optimised Intermediate Stop Operations: Mitigation Potential and Differences from Fuel-Optimised Configuration. *Applied Sciences*, 12 (23) <https://doi.org/10.3390/app122312499>.
- [17] Matthes, S., Dietmüller, S., Dahlmann, K., Frömming, C., Peter, P., Yamashita, H., Grewe, V., Yin, F. & Castino, F.(2023). Updated algorithmic climate change functions (aCCF) V1.0A: Evaluation with the climate-response model AirClim V2.0, *Geosci. Model Dev. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/gmd-2023-92>.
- [18] Leemüller R. (2024). Mitigation von Non-CO₂-Effekten durch Optimierung der Routenführung, CENA-Konferenz der hessischen Landesvertretung, Berlin 2024.
- [19] Niklaß, M., Linke, F., Dahlmann, K., Grewe, V., Matthes, S., Plohr, M., Maertens, S., Wozny, F. & Scheelhaase, J., Decision parameters of an MRV scheme for integrating non-CO₂ aviation effects into EU ETS. UBA Climate Change 30/2024.

DFS Speech Recognition and Transcription Tool for Safety Investigations

Konrad Hagemann, Swaroop Chauhan, Stefan Tenoort, Michael Slotty, Thomas Rüggeberg, Sven Simon, Volker Hack, Matthias Graefenhan & Andreas Buchholz

Deutsche Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel berichtet zu den Innovationsaktivitäten, die im Frühjahr 2023 im DFS-Forschungszentrum begonnen wurden mit dem Ziel, eine Transkriptionssoftware für ATC-Sprechfunk für DFS-Vorfalluntersucher bereitzustellen. Die Arbeiten wurden von einem interdisziplinären Team bestehend aus Vertretern des DFS-Simulatorzentrums, des DFS-Systemhauses und der DFS-Abteilung Strategische Zukunftsinnovationen (ehemals Simulationen, Forschung und Entwicklung) in enger Kooperation mit dem DFS-Safetymanagement durchgeführt. Es wurde eine erste Machbarkeitsbetrachtung anhand einiger Datenproben durchgeführt. Eine initiale Marktsichtung hat ergeben, dass derzeit für den Bereich der Deutschen Flugsicherung kein adäquates fertiges Softwareprodukt für die Transkription verfügbar ist, jedoch andererseits Tools verfügbar sind, die für die angedachten Zwecke mit überschaubarem Aufwand einsetzbar gemacht werden könnten. Daraufhin wurden in einem kleinen Rahmen Entwicklungsaktivitäten gestartet, die bislang eine Nutzungskontextanalyse, einen Mock-up, einen Anforderungsworkshop, sowie zwei Usability Workshops umfassen. Im September 2024 wurde der SDUkoto genannte Prototyp an die Niederlassung Bremen zum Zwecke einer zeitlich befristeten, ersten Teststellung geliefert. Basierend auf den Nutzungserfahrungen der Investigatoren können nun weitere Anforderungen erhoben und nächste Schritte abgeleitet werden.

Abstract

This article reports on the innovation activities that were started in spring 2023 at the DFS Research Center, with the aim of providing transcription software for ATC radio transmissions for DFS incident investigators. The work was carried out by an interdisciplinary team consisting of representatives from the DFS Simulator Centre, the DFS system development department and the DFS Department for Strategic Future Innovations (formerly Simulations, Research and Development) in close cooperation

with DFS Safety Management. An initial feasibility study was carried out on the basis of some data samples. An initial market review has shown that there is currently no adequate operational software product available for the transcription of German ATC transmissions, but on the other hand, tools are available that could be used for the intended purposes with manageable effort. Thus, development activities were started on a small scale, which so far include a context of use analysis, a mock-up, a requirements workshop, and two usability workshops. In September 2024, the prototype, called SDUkoto, was delivered to the Bremen branch for the purpose of a temporary, initial test installation. Based on the investigators' user experience, further requirements can now be raised, and next steps can be derived.

Keywords: Air traffic control, speech-to-text, safety investigation, transcription tool, probabilistic language models

Introduction

During a possible safety incident investigation (e.g. a separation infringement), the safety experts in the air safety management team have a tiresome and mundane job when it comes to understand and transcribe air traffic controller (ATCO) and pilot audio communication. This is achieved by recurrently hearing the partly low-quality audio signal from pilots and the audio signal from ATCOs and preparing a report. At DFS, a commercial software is used for this purpose. Through which, the relevant audio parts can be sliced and replayed at different speeds. This enables to investigate the conversation step-by-step, which further has to be manually transcribed in a predefined word formular. The final transcription report needs to be highly accurate ("court-proof") as it is i.a. officially required by the department of public prosecution for their investigations. With the emergence of new speech-to-text (STT) tools and technologies and by using their capabilities to predict ATCO and pilot communications, STT software can become a key tool for Air Traffic Safety Management.

However, the main challenge still lies in the accurate transcription, due to the partly poor audio quality in the radiotelephony communication between pilot and ATCO. Moreover, a thorough analysis of the use context is required to achieve a smooth integration of such a new tool into the existing workflow and workspace of a safety investigator.

This article describes the work that started in the department for planning and innovation in spring 2023 together with the DFS department of occurrence management and the local safety management in the control centres in Bremen and Langen. The latest milestone of the still ongoing activities was a first, temporary delivery of the “SDUKoto” prototype for test purposes in fall 2024.

Background

In 2021, MITRE published their work on the development of a transcription tool, which is used by the FAA to support the transcription of transmissions for safety investigations [1]. In 2024, some European ANSPs presented their developments for transcription services which are designed for use within their companies [2][3]. Since 2010, speech recognition is used in DFS training and education (cited after [4]). The UFA ATC Voice Recognition and Response (VRR) software is integrated into DFS simulators. Through which, specific scenarios are prepared for each simulation run that provide the required context for the grammar-based recognition system. The audio signal in this environment is free from any noise, which usually is part of operational audio data. In the VRR training sessions, the trainees and pseudo-pilots are instructed to closely follow the predefined ATC phraseology, as the practice of the phraseology is one of the goals in this setting. Lately, the VRR system was expanded to also include probabilistic language models in a hybrid mode and a boost in recognition performance could be demonstrated [5]. For research & development purposes the new system which is based on probabilistic methods shall be available in 2025.

Apart from the context of training and education additional use cases have been investigated by DFS e.g. in the SESAR programme [6] and in other prototyping activities e.g. for radar label maintenance [7][8]. However, a transcription service for safety

investigations has not yet been looked at in detail by DFS. Current grammar-based speech recognition systems reach their limits with noisy audio data and when off-phraseology is used in a dynamic context (non-predefined call signs, way points etc.).

Recently, probabilistic models combined with pretrained ATC language models are available that have a high potential to be able to process noisy audio data and a high variety of non-predefined content. These pretrained large language models (LLMs) based on transformer architecture [9] are provided off the shelf through the Huggingface website [10][11]. In our case, after testing different versions of wav2vec 2.0 [12] and Open AI Whisper [13][14], the LLM's that best satisfied our requirements were wav2vec 2.0 and Whisper medium both fine-tuned with ATCOSIM data [15][16]. Through this we could obtain relatively stable word error rates [17] of individual test cases.

When looking at the commercially available software on the market today, none of it could be applied “off-the-shelf” for a use case which includes the processing of the noisy operational ATC audio data. There is currently no solution “for buy” that would fully cover DFS needs, e.g. with respect to third-party access to data, the protection of personal rights (GDPR), and an unwanted possibility to control the human performance of DFS personnel¹. This is one of the reasons, why in the current approach a local installation of software without any cloud-based service has been chosen as a first step. Nevertheless, with the present technical capabilities it is feasible to build a SDUKoto webtool [18].

Methods

Data Screening and initial tests

In summer 2023, an initial test with operational audio data from three cases of about 11 min length in total revealed first insights into the capabilities of available speech recognition software based on probabilistic language models. UFA's ATVoice VRR system, Open AI's Whisper and wav2vec 2.0 software were used to run a comparison on the available data samples. Together with the department of occurrence management at the DFS headquarters in Langen the results were reviewed, and next steps were coordinated.

¹ Solving these data privacy issues is found to be the prerequisite before large amount of sensitive operational DFS speech data can be accessed to effectively adapt a speech

recognition software by model training.

The results of a second test using additional operational data of 20 min length led to the decision in 2023 to continue the efforts in building a first transcription support prototype using Whisper and wav2vec 2.0.

Mock-up development and site visits

Prior to the visit, a screening of transcription tools on the market e.g. for television subtitles [21] or the purpose of studies in social sciences (see Figure 1 for an example) was performed to derive potential functions for the development of a mock-up for ATC transcriptions.

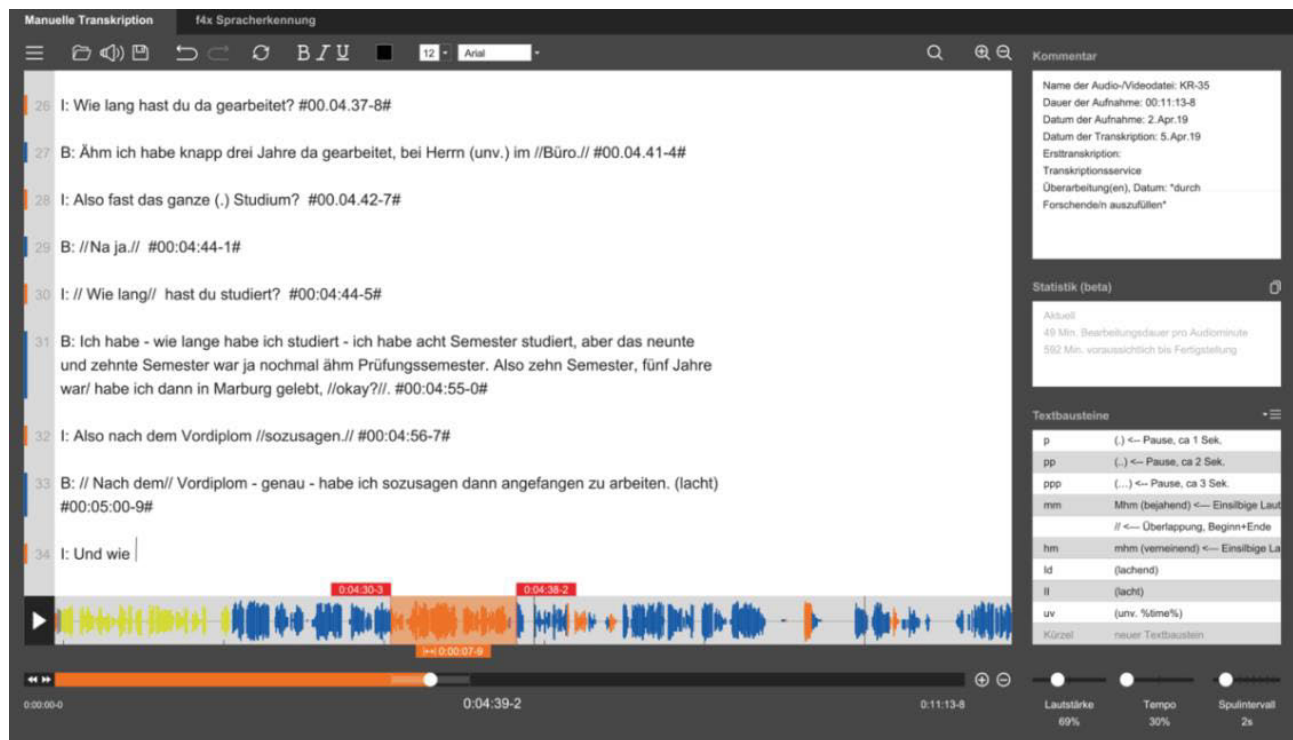


Figure 1: Screenshot of f4transcript software [21].

In October 2023, a site visit [19] at the local safety management in the control centre Langen revealed insights into the tasks of a DFS safety investigator, the organisational structure, the workplace and the available software tools. Two investigators were interviewed (following the procedure published by DAKs [20]) and the local audio replay software for operational ATC data could be inspected. For the clarification of open software related questions, subsequently the DFS software product management was visited and software manuals were obtained for further analysis of the GUI and the available functions.

Another site visit took place in December 2023 at the local safety management in the control centre Bremen and again the use context was assessed via an interview with the safety manager, an observation of the workplace and available tools.



Figure 2: DFS SRT editor mock-up.

Following this, a mock-up was developed to convert audio data into transcribed text (see Figure 2). It includes the possibility to replay audio data in order to validate the transcript and to edit the automatic transcription. This mock-up was presented during the site visit at the control centre Bremen and a very early usability test was run with one safety investigator by using a scripted scenario. Altogether 15 usability issues were observed based on which design recommendations for the prototype were derived. In addition, the wireframe of a speech-to-text converter was shown and discussed as a potential quick win alternative compared to a more extensive replay and editor software. The results of the usability test together with the context of use analysis from both sites were used as input to model the task flow for safety investigations at DFS.

Requirements gathering

Besides a task flow, several requirements for a software transcription tool were derived. In a user workshop together with safety experts from Langen and Bremen the requirements were discussed, and a final set was agreed. In addition, an update of the mock-up was presented that demonstrated the technical possibilities to run the software as a webtool, i.e. a cloud-based service. Finally, the discussion confirmed the decision to focus on a converter tool as a quick win in the first step and to continue the development of a more extensive editor tool with interactive audio replay function in a later step. In addition, for the webtool it was decided to consider its further DFS-internal development at a later stage.

Iterative Prototyping and usability tests

Starting in 2024 the DFS system development department joined the project and transformed the existing wireframe into a prototype that was based



Figure 3: Picture of one of two usability tests with the development team and two DFS safety experts who tested the DFS SRT tool at the DFS Research Centre in Langen.

on the collected requirements. Two usability tests in April and May 2024 with a total number of 8 safety experts from Langen and Bremen were run (see Figure 3).

The events were part of an iterative prototyping process in which the tool was continuously improved with respect to usability and the pre-existing workflow of DFS investigators. One of the major challenges was to provide sufficient computing power to assure a quick conversion result to the investigators. Over the summer 2024, the software tool was set-up by the DFS system development department on a specific high-performance computer with AI-capable hardware (Intel® Core™ i9 14900K processor 14th generation with 36 MB cache, 24 cores, 32 threads, 3.2 GHz to 6.0 GHz, 125 W, NVIDIA GeForce RTX 4090, 24GB GDDR6X) to ensure a smooth and fast processing of the transcription. A comparison with the previously used standard hardware without dedicated GPU revealed here an improvement in speed by a factor 60. Besides speed the higher computing power also had a measurable influence on recognition performance.

Results

In September 2024, a PC workstation with the prototype tool SDUkoto (see Figure 4) has been delivered to the safety management team in Bremen for a temporary testing period of three months. Two members of the development team travelled to Bremen to conduct a briefing workshop and to accompany the first steps of software usage together with the designated user group of investigators. Further, a quick reference document was prepared to explain the usage of the software, and which contains help for troubleshooting including points of contact from the developer team in Langen.

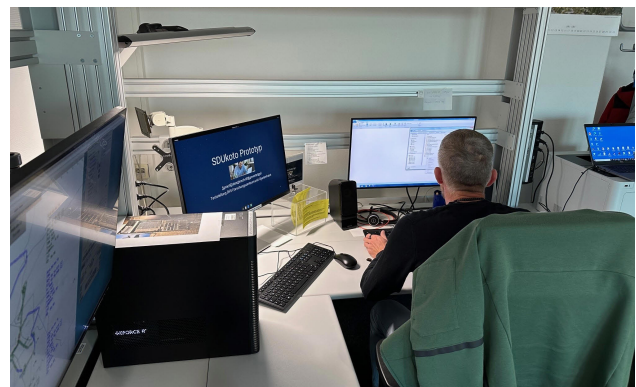


Figure 4: SDUkoto testing prototype delivered by the development team (planning and innovation and system development department) in Langen to the safety management Bremen in September 2024.

The delivered testing prototype of SDUKoto is a converter tool that allows the selection and naming of input (audio data files) and output files (DFS report form) and provides feedback on the progress of the conversion (see main tab in Figure 5). A second tab shows a log file of the conversion in progress and a third tab shows a preview of the conversion outcome.

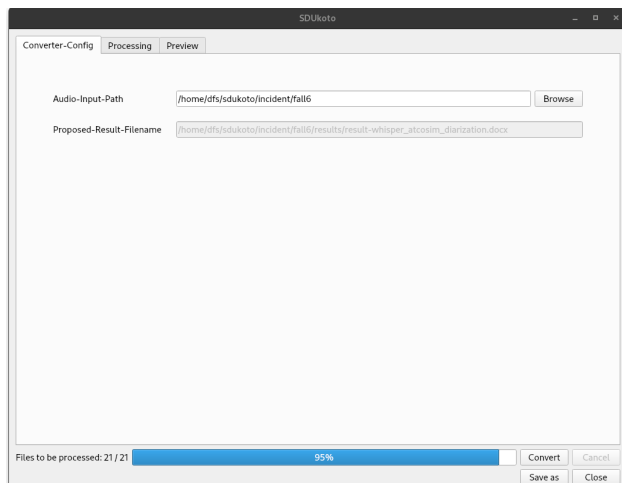


Figure 5: SDUKoto software GUI.

The higher the recognition rate the lower the effort for any corrections in the investigators' validations of the automatic transcriptions. The recognition rate is reflected by the word error rate and has been analysed beforehand. With the help of the safety experts in Bremen, ground truth data has been created on two sample data sets of operational ATC speech data that included ATCO as well as pilot voices.

The snapshot results confirm the observation from user tests that the results from the two recognizers can only provide a baseline for a following manual validation by the safety investigator. In addition, it can

be observed that Whisper tends to occasionally drop complete sentences, while wav2vec 2.0 provides results for the same sentences that are incorrect, but still resemble a phonetic match of the audio. However, in the user workshops the safety investigators considered the correction of misspelled words to impose more effort than to detect and add manually dropped sentences in the operational audio. Therefore, for the SDUKoto prototype it has been decided to only provide the Whisper recognition in the test delivery of the software to the centre Bremen.

The software has been designed such that it smoothly integrates into the existing workflow at the investigator's workplace. The challenge was in quickly providing a solution that could be run without any additional installations on preexisting systems so to not risk any interference with the current work of the investigators. This was solved by providing a completely autarkic system to the user that was standalone and without any network connections. The latter being especially important as sensitive ATC audio data is processed with requirements for maximum data security.

The data is exported from the audio replay system by using a fast USB-C stick (see Figure 6). It is used for transferring the audio data onto the SDUKoto PC where the user directly converts them onto this stick. Finally, the resulting report document with the transcription is transferred back to the audio replay station for final validation in MS word by simultaneously listening to the audio for a check of the transcription. Via this process it is ensured that no operational ATC audio data need to be stored on the SDUKoto prototype system.

Prior to the testing period, the data assessment was agreed with the local working council in Bremen. It comprises a survey (to be applied midterm of the

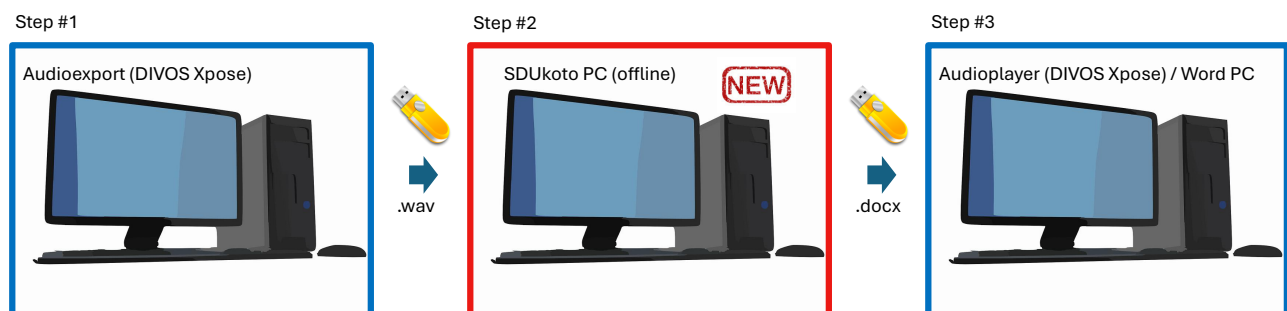


Figure 6: Easy integration of the SDUKoto software into the existing workflow by transferring the data to another workstation for the conversion.

testing period), observation notes (concerning e.g. usability issues) and logfiles (shutdowns and software errors recorded only). The data is recorded anonymously so to avoid any possibility of human performance measurement.

Conclusion and Outlook

SDUKoto addresses the ATC use case of assisting safety investigators with their job that includes the tedious and time-consuming work of operational ATC speech data transcription. SDUKoto provides an automatic transcription report of the audio data in the form, which is required by the DFS safety management. Instead of manually writing down word-by-word on a blank report sheet, the investigator is merely validating a transcript provided by the SDUKoto transcription service.

However, SDUKoto cannot provide a fully automated solution and probably never will. Even in potential future versions, investigators will most likely always have to validate the transcription results by listening to the audio themselves. Nevertheless, early feedback from investigators, who tested SDUKoto, indicate that the development is on the right track and has potential to save a substantial amount of time in the future. An effect that sums up when taking into consideration that a transcription can take from 20 min up to 1.5 days and that there are 400 – 500 safety related transcriptions at the centre Bremen every year. This figure is even higher in other DFS centres as stated by DFS safety experts e.g. in Langen.

Previous tests with audio samples from Bremen reveal that there is still significant potential for further improvement of speech recognition performance in SDUKoto. So far, recognition performance of ATC speech data is limited as long as there is no DFS-specific acoustic model connected to the speech recognition engine. Very recently, May, Klei- nert and Helmke [22] reported significant improvements in recognition rate in a simulation environment by fine-tuning ATC models by using just 10 hours of voice recordings from the operational ATC target environment. Earlier, Zuluaga-Gomez et al. [23] used recorded operational ATC voice data and stated that significant improvements should already be possible with trainings based on ATC data of around 10.000 utterances.

In 2025, UFA's VRR nG system including BBN technology will be available for extensive testing in the simulator in Langen. Given its compatibility with other applications, it shall then also be tested with

the SDUKoto prototype. Early demonstrations in a simulator environment in 2024 in Boston promised a very high and robust ATC speech recognition performance. Together with the fine-tuning of existing ATC models or even the training of a DFS-own acoustic model by using representative operational DFS voice data, this could be a viable option to pave the way to a fully functional "speech recognition as a service" at DFS. A development, which would be completely in line with the DFS Future Delivery Model for technical systems.

The Future Delivery Model is the defined framework for any upcoming system developed at DFS. It describes the transformation to an architecture of software services. It has been demonstrated, that SDUKoto can be built as a webtool which is cloud-capable in principle. As reported above, a student project run in parallel at the University of Marburg is currently further exploring such a solution. For the first SDUKoto prototype delivered to the DFS safety management in fall 2024 a local and non-connected solution has been selected since it poses a quick win that is free of any larger data security concerns right now.

The testing period of the SDUKoto prototype at the centre Bremen started in fall 2024 and is limited to 8 weeks. It follows the goal to collect initial data on user experiences and stability of the software. Based on the data, additional requirements can be derived to guide a potential future development of the software in 2025. Such development will then take into account a service-oriented architecture more closely. Figure 7 shows the screenshot of a transcription webtool which is currently under development by a student project class at the University of Marburg [18] and that demonstrates the technical capability of transcription as a service.

The context of use analysis at the local safety management at the centre in Langen shows that 80% of the safety occurrences happen at the Flight Information Service (FIS). To be able to address these with the SDUKoto prototype further investigations are needed on these types of speech data.

Acknowledgements

The SDUKoto development team thanks Andreas Buchholz and all involved colleagues at the control centre Bremen as well as the local work council for providing sample data, which enabled to test and mature the tool. Moreover, we thank the safety management team in Langen for the possibility of a site visit and to run a context of use analysis. In addition, we thank all DFS safety experts who supported

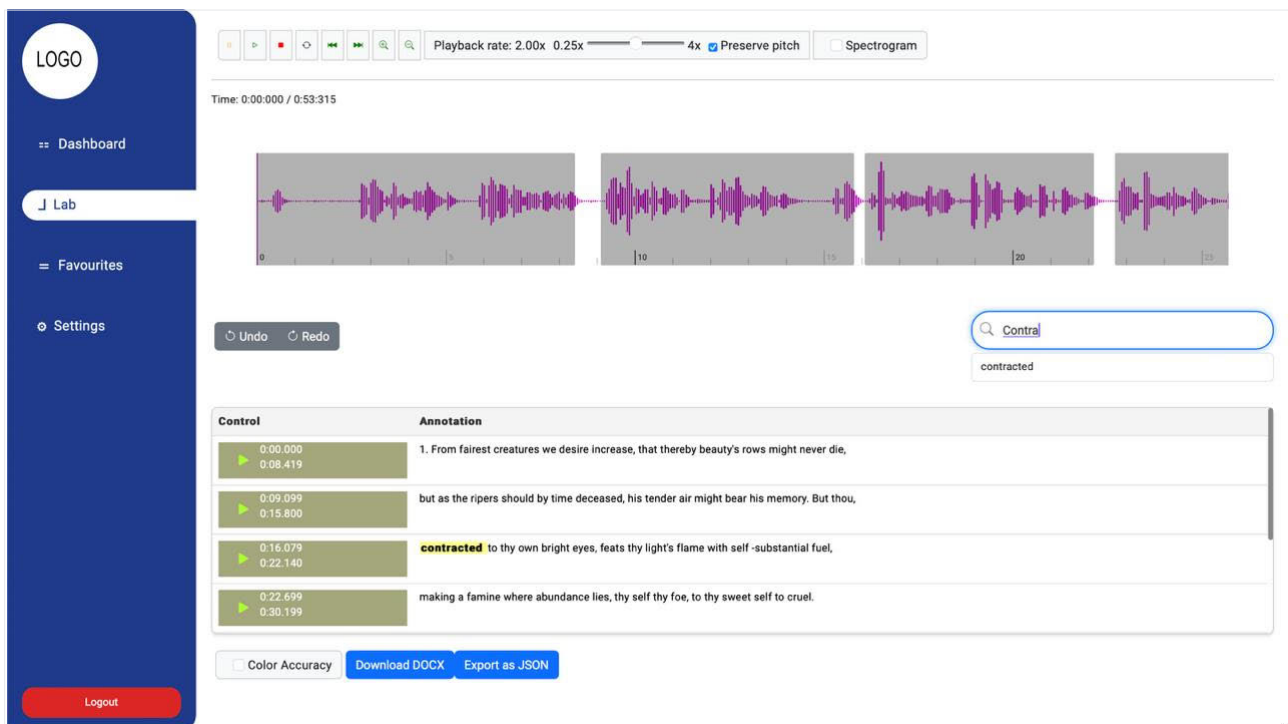


Figure 7: Transcription webtool developed in a student project at the University of Marburg mirroring requirements from DFS activities.

us with their invaluable user input in several workshops, tests and meetings. We also thank the DFS DIVOS product management for an introduction to the system and the provision of user manuals.

Abbreviations

ATC	Air Traffic Control
DIVOS	Digital Integrated Voice Operating System
FDM	Future Delivery Model
FIS	Flight Information Services
SDT	Speech data transcription
SDUkoto	German abbreviation for „Sprachdatenumschrift“ (speech data transcription) + jap. „thing“
STT	speech-to-text
VRR	Voice Recognition and Response
WER	Word error rate

References

- [1] Chen S., Kopald, H., Ma, W., Tarakan, R. & Wei, Y.-J. (2021). Air Traffic Control Speech Recognition. Draft paper August 2021. HAWAII Satellite

- Workshop on Interspeech 2021 conference on August 30, 2021. Brno, Czech Republic. URL retrieved on June 6, 2024: <https://www.hawaii.de/wp/wp-content/uploads/2021/08/ATC-speech-recognition-The-MITRE-Corporation-draft-August-2021.pdf>
- [2] Roques, T. (2024). Scribe ATC Speech Recognition. Power Point Presentation. Fly AI Forum Eurocontrol Brussels. RL retrieved on Nov. 1, 2024: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2024-04/20240430-flyai-forum-session-5-roques-carol.pdf>
- [3] Longobardi, A. (2024). STORY (Speech Transcription for safety). Fly AI Forum 29/04/2024–Eurocontrol Brussels. RL retrieved on Nov. 1, 2024: <https://www.eurocontrol.int/event/fly-ai-forum-2024>
- [4] Buxbaum, J., Helmke, H., Rühl, O. & Slotty, M. (2015). Spracherkennung im Flugsicherungsumfeld. Innovation im Fokus, 01/15, Langen: Deutsche Flugsicherung GmbH, pp. 23–29.
- [5] Slotty, M., Gagliardi, A. & Roehl, O. (2024). Spracherkennung VRR – Einsatz in den Tower und Enroute Simulatoren. DFS-internal R&D colloquium, Oct. 23, 2024, Langen.
- [6] Hagemann, K., Slotty, M. & Albrecht, T. (2020). Speech Recognition for ATCO Assistance. Innovation im Fokus, 1/20, Langen: Deutsche Flugsicherung GmbH, pp. 19–27.

- [7] Tenoort, S. Rüggeberg, T., Hagemann, K., Simon, S., Pudwell, B. & Linke, A. (2023). Spracherkennungs-basierte Eingabeunterstützung für Lotsen und Technologieevaluierung – SALT. Innovation im Fokus 2/23. Langen: DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, pp. 27–35.
- [8] Helmke, H., Kleinert, M., Ahrenhold, N., Ehr, H., Mühlhausen, T., Ohneiser, O., Klamert, L., Motlicek, P., Prasad, A., Zuluaga-Gomez, J., Dokic, J., Chauvin, E.P. (2023). Automatic speech recognition and understanding für radar label maintenance support increases safety and reduces air traffic controllers' workload. Fifteenth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2023).
- [9] Vaswani, A. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems. URL retrieved on Nov. 1, 2024: <https://arxiv.org/abs/1706.03762>
- [10] Wolf, T. (2019). Huggingface's transformers: State-of-the-art natural language processing. URL retrieved on Nov. 1, 2024: <https://arxiv.org/abs/1910.03771>
- [11] Hugging Face. The AI community building the future. Website. URL retrieved on Nov. 1, 2024: <https://huggingface.co/>
- [12] Baevski, A., Zhou, H., Mohamed, A. & Auli, M. (2020) wav2vec 2.0: A Framework for Self-Supervised Learning of Speech Representations. URL retrieved on Nov. 4, 2024: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.11477>
- [13] Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2023). Robust speech recognition via large-scale weak supervision. In International conference on machine learning (pp. 28492–28518). PMLR.
- [14] Openai Whisper (2024). URL retrieved on Nov.1, 2024: <https://github.com/openai/whisper/tree/main>
- [15] Zuluaga, J.P. (2024). Models. Personal website on hugging face. URL retrieved on Nov. 1, 2024: <https://huggingface.co/Jzuluaga>
- [16] Saetta, L. (2024). Spaces. Personal website on hugging face. URL retrieved on Nov. 1, 2024: <https://huggingface.co/luigisaetta>
- [17] Jiwier. URL retrieved on Nov. 1, 2024: <https://jitsi.github.io/jiwier/>
- [18] Graefenhan, M. (2024) Transkriptionsunterstützung als Webanwendung. Projektarbeit Uni Marburg, t Masterstudierende April 2024 -April 2025. DFS-internal presentation. June 25, 2024.
- [19] Hackos, J.T. & Redish, J.C. (1998) User and Task Analysis for Interface Design. John Wiley & Sons, Inc.
- [20] DAKKS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (2010). Leitfaden Usability. Version 1.3
- [21] Amberscript. Website. URL retrieved on Nov. 1, 2024: [f4transkript](https://www.audiotranskription.de/f4transkript). Website. URL retrieved on Nov. 1, 2024: <https://www.audiotranskription.de/f4transkript>
- [22] May, M., Kleinert, M. & Helmke, H. (2024). Automatic Transcription of Air Traffic Controller to Pilot Communication. DLRK Hamburg.
- [23] Zuluaga-Gomez, J. et al. (2022). How does pre-trained wav2vec 2.0 perform on domain-shifted ASR? An extensive benchmark on air traffic control communications. IEEE Spoken Language Technology Workshop (SLT), Doha, Qatar.

Validation of a complexity tool in live operations

Jascha Runow

Deutsche Zusammenfassung

Präzise Verkehrsprognosen und eine flexible Personaleinsatzplanung nehmen eine immer wichtigere Rolle im System Luftverkehr und speziell bei der Flugsicherung ein. Heutzutage werden Flow Management-Tools verwendet, um die erwartete Belastung eines Kontrollsektors mit Flugbewegungen vorherzusagen. Dies geschieht mit Hilfe der berechneten Entry Counts der geplanten Flüge, die mit den veröffentlichten Capacity Default Values (CDV) abgeglichen werden. Mit den sogenannten Komplexitätstools soll zunehmend auch der Faktor Komplexität der erwarteten Verkehrskonstellation und sein Einfluss auf die Arbeitslast der Fluglotsen betrachtet und berücksichtigt werden. Für den unteren deutschen Luftraum wird diese neue Betrachtungsebene durch das Komplexitätstool AirMagic abgedeckt. Seit dem Jahr 2018 wird AirMagic für den Luftraum der FIR München betrieblich genutzt, seit 2021 arbeitet das Center Bremen operativ mit diesem Tool. Für den Luftraum der FIR Langen befindet sich AirMagic aktuell in der Validierungsphase. Diese nahm im Jahr 2023 ihren Anfang und wurde aufgrund der Vielzahl an EBGn, Sektorkonfigurationen und Sektoren bis Ende 2024 durchgeführt. Die Inbetriebnahme für das Center Langen ist für 2025 avisiert.

In diesem Artikel wird der Validierungsprozess für das System AirMagic Langen vorgestellt. Im Fokus steht dabei die Validierungsmethodik. Darüber hinaus werden die Herausforderungen und Vorteile aufgeführt, die mit dem verwendeten Ansatz und iterativen Prozess verbunden sind.

Complexity tool AirMagic/WIZer ACC

An essential prerequisite for the safe and efficient use of airspace is the availability of reliable and accurate forecasts of the expected air traffic situation. At DFS, the German Air Navigation Service Provider, this development started about 10 years ago [1]. For just over six years now, DFS has been using fast-time simulations operationally in addition to the established flow management tool CHMI (collaboration

human machine interface) by EUROCONTROL to provide forecasts for air traffic control in lower German airspace. The traffic forecasts are prepared using the complexity tool AirMagic, which is marketed by Transoft Solutions under the name WIZer ACC [2]. The system calculates the traffic forecasts every two minutes, taking into account a continuous flow of incoming data. These data include radar, Airport-CDM, the Airspace Use Plan (AUP), the central flight plan storage system (zFPLS), the staff scheduling system (STANLY_TEP) as well as weather information. Moreover, it is the first time that local military flights are considered in such a complexity tool. The EFD data from the EUROCONTROL Network Manager form the basis for these calculations and forecasts.

The expansion of the data basis has led to a noticeable increase in the quality of the forecasts generated. The focus of the tool is on avoiding overload situations in control sectors, improving the use of available airspace and optimising the traffic flows. In addition, and for the first time, an assessment of the complexity of the expected traffic volume is conducted, which results in a reliable indication of the imminent workload of the air traffic controllers. This complexity-based analysis tries to reflect the short-term dynamics of air traffic much more precisely than before, also in the planning environment. This leads to a relaxation of the constraints imposed by rigid capacity default value (CDV) limits, which are currently a decisive assessment criterion regarding the sector configuration to be selected. As a result, the use of AirMagic enables better planning and control of the sectors to be staffed throughout the day. This guarantees that air traffic controllers are deployed efficiently and in line with demand [3].

AirMagic is already being used operationally as a complexity tool in the control centres for lower airspace, in Munich ACC since 2018 and in Bremen ACC since 2021. In lower airspace in particular, the tool has been able to demonstrate its strengths regarding labour-intensive and complex climb/descent profiles and conflict situations resulting

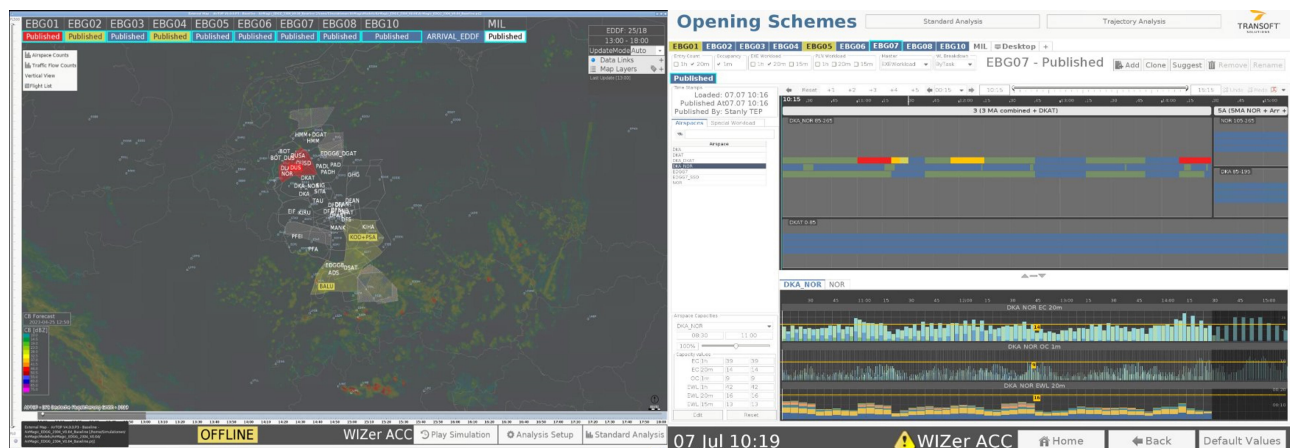


Figure1: GUI of the complexity tool AirMagic.

from this. It is currently in the validation phase for the Langen ACC. The flow management positions (FMP) North and South as well as the supervisor (SV) positions North and South on the bridge in the Langen control centre are equipped with the system. Figure 1 shows the GUI of the complexity tool AirMagic, consisting of map (left) and analysis (right).

Validation basis

The basis for precise forecast and load values is an airspace model that is as realistic as possible. For this initially static model, the entire airspace of the Langen flight information region (FIR) and all military airspaces within it were mapped. To generate the most realistic flight profiles possible, all transfer conditions between the sectors of Langen ACC and adjacent sectors of other centres were considered. The departure and arrival routes (SIDs and STARs) for the profiles of relevant airports were also incorporated in detail with all operating runway directions and separation parameters.

Parallel to this, the numerous flight profiles and transfers conditions were discussed with ATCOs from all Langen sector families (EBG). Details and special features of the respective airspaces were inquired in a large number of interviews. For example, the most common direct routings were covered at these meetings to gain the most realistic scenarios in this regard. In some cases, cross-EBG back-checks were additionally carried out in this context to discuss issues across sectors, such as direct routings and unclear transfers. Once all relevant data had been entered into the airspace model, it was thoroughly checked by the ATCOs of the sector families at acceptance meetings.

As AirMagic focuses on the complexity and workload of an airspace as a basis for its assessment of the traffic situation, the workload model stored in the system plays a central role alongside the airspace model. Initially, standard settings were used, that have been established over the years for fast-time simulations and in operations. As can be seen in Figure 2, this standard workload model is made up of operational tasks for monitoring, radio telephony, clearances and coordination, as well as the two tasks for conflict detection and conflict resolution related to conflict analysis. The time values were initially based on empirical values and on measured times from operations. For each individual flight event in a sector, a standard set of tasks is considered, for example a value of eight seconds for expressing a clearance. These predefined tasks and times represented the basic settings and, thus, one of the basic elements of the validation.

Sector	EDGG
Monitoring	x sec at Entry + x sec every x sec successive
Radio Telephony	x sec at Entry x sec at Exit
Clearances	x sec at Level Change x sec at Direct
Coordination	x sec at Entry
Conflict Detection	x sec - x sec at approximation of 6NM
Conflict Resolution	x sec at approximation of 3,6NM

Figure 2: Workload basis for validation project.

After setting up and accepting the initial, static model, the tool was connected to the continuously incoming data stream before starting the actual validation.

Validation phases

With the prepared airspace and workload models, the validation phase took place after the HMIs had been installed in the bridge of the Langen control centre. The validation essentially consisted of the phases listed below:

- Preparation phase
- Validation phase 1 in 2023
- Validation phase 2 in 2024

Preparation phase

Before the validation could start, various workshops were held in preparation for the actual validation runs. These workshops familiarised the future users with the functionalities of the tool and prepared them for the activities and work steps during the validation. The challenge here was to provide first-time users with all the necessary information without overloading them with too many details. Building on this, three different training programmes were held, with the content strongly tailored to each target group. First, train-the-trainer workshops were held for the

AirMagic core team. These trainers would later coach the actual target group of FMPs, SVs and flow office in train-the-user workshops. Another target group were the validation ATCOs, who were familiarised with the essential validation steps and procedures during train-the-validator workshops. All these workshops were planned as part of the project and supported by the fast-time simulations department.

Validation phase 1

The first validation phase at the Langen ACC took place between July and December 2023. The initial focus of this phase was on entering the validation methodology and checking the relevant flight profiles and flows. The most important questions in this context were whether the main flows were correctly mapped in the system and whether they were allocated to the correct sectors. In addition, initial modifications to the workload model were also made during this phase. Then, the model was tested by the FTS experts and a new release was installed. As outlined in Figure 3, this process took place on an ongoing and recurring basis. In this first phase, the majority of the sector configurations currently in use at the Langen control centre were tested, along with the typical sector combinations.

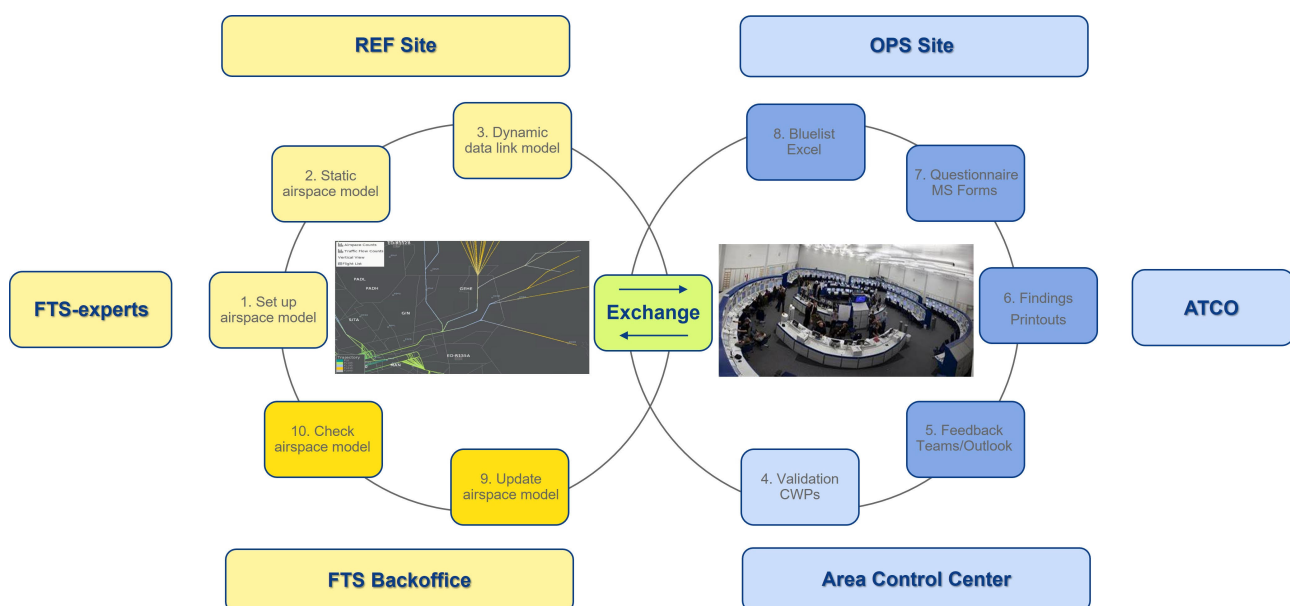


Figure 3: Validation process chain.

Validation phase 2

Building on the results and findings from the first validation phase, a second validation round has been conducted since January 2024. In this second phase, the focus has been on further refining the workload model by entering additional tasks and additional time values for specific flight profiles. Further fine-tuning has also been taking place for conflict detection and conflict resolution. Topics such as training flights, military flights and calibration flights are also playing an increasingly important role in this assessment. By using local military flight plans from zFPLS, all military flight movements are considered in such a tool for the first time, which presents many challenges and requires adjustments to the workload model. Other airspace activities e.g. in connection with the special use of airspace (BNL), such as PJE, were also discussed. While the commonly used sectors were examined in detail in the first validation phase, the second validation phase focussed on rarely activated sector combinations and elementary sectors.

Validation method

In order to adequately record, analyse and track the findings from the large number of sector configurations gained by different validation controllers, it is essential to set up such a validation in a well-considered and well-structured manner.

The underlying conditions for the validation are as follows: Each sector family has its own validation team consisting of two to four validation controllers, depending on staff availability. Usually, the validation controllers are the same controllers who had already played a major role in the preparation and acceptance of the static airspace model. The ATCOs are specifically scheduled for the validation runs and are therefore present in addition to the regularly staffed personal. In order to be able to record and check all traffic constellations and traffic mixes, operational staff from all shifts (early, late and night) were involved. The background to this is that individual sector families sometimes have very specific traffic and workload characteristics. For example, when the traffic pattern is greatly impacted by a cargo hub, such as EDDK, which results in pronounced traffic peaks at night. In contrast, most sector families have regular departure or arrival peaks in the morning or evening hours. The actual validation period lasts approximately one hour with a preparation period of 45–60 minutes beforehand, during which the validation controllers retrieve the forecast information from the AirMagic system.

MS Forms questionnaire

A Microsoft Forms questionnaire was set up for the validation to be able to track and digitally analyse the validation results. In addition to general information on the date and time the forecast was recorded and on the validation period, also the sector family, the sector to be validated and the current runway direction in use for the relevant main airport are entered here.

The actual assessment of the traffic forecast then examines the three parameters entry count, workload and complexity in three steps:

1. Forecast by AirMagic system at FMP
2. Pre-assessment by validation ATCO at FMP
3. Self-assessment by working ATCO at CWP

Forecast by AirMagic system at FMP

As a first step, the AirMagic forecast is recorded by the validation controller on the bridge. With a lead time of 45 to 60 minutes, the assessments of the system for the validation period are recorded digitally. The parameters entry count, workload and complexity are assessed based on predefined load ranges. For the criterion workload, which is the main focus of AirMagic, the predefined categories of underload situation (<50%), medium workload (50–90%), high workload (90%–100%), very high workload (100–110%) and overload situation (>110%) are defined. A workload of 70%, as defined by EUROCONTROL, serves as a reference. In addition, the sector analysis with entry counts, workload and complexity values as well as the flight lists are printed out for the period and, if necessary, comments or markings are added.

Pre-assessment by validation ATCO at FMP

Based on information from the flight plans, such as the expected flows and traffic mix and the resulting traffic constellations, the validation controller gives a pre-assessment for the upcoming validation period as a second step. Another way to better estimate the expected traffic volume is to look at upcoming traffic with the support of a replay function available in AirMagic. This enables an advance display of the expected traffic during the validation period. Other conditions, such as military airspace bookings, expected military traffic or weather data are also considered in the validation controller's subjective assessment.

Self-assessment by working ATCO at CWP

During the validation run, the validation controller closely monitors the traffic situation at the CWP, for example by continuously comparing the printed flight list with the actual traffic on the radar screen or with electronic flight strips in the flight data monitor. As a third step an interview between the validation controller and the working controller takes place. As a result, the subjective assessment of the working controller is recorded related to the actual traffic picture and the associated parameters entry count, workload and complexity.

Validation output

Ideally, the values derived from the forecast, pre-assessment and self-assessment are the same height, meaning the forecast and the assessments of both controllers match. It should be pointed out again that the validation controllers provide their assessment before the validation run, whereas the working controllers provide theirs after the validation period.

If the values are not congruent, the possible causes of the deviations need to be checked. Reasons for these deviations are often unexpected factors such as bad weather, runway changes, special use of airspace (BNL), flow management measures or general traffic shifts. In general, the forecast from AirMagic should tend to higher values than the controller's self-assessment and not vice versa, since the tool should protect the controllers reliably from overload situations.

At the end, the validation controllers can document anomalies and special events. There is also a free text field for a final comment.

Finally, the results of each validation run are analysed and displayed graphically using the Tableau software. This allows a comparison of the forecast from AirMagic, the pre-assessment of the validation controllers and the self-assessment of the working controllers in a bar graph for each run. As the example in Figure 4 shows, there was a high degree of agreement between the assessments in most cases.

In addition to the visualisation of individual runs, an illustration is also produced showing the overall results of a sector family. For this purpose, all validation results of a sector family are analysed together and shown in a graphic display. This makes

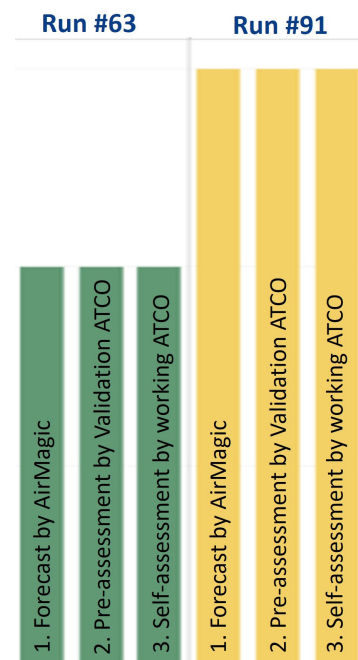


Figure 4: Results for individual validation runs.

it possible to draw general conclusions about the quality of the results for a whole sector family and to compare them with other sector families as part of a holistic view. Figure 5 shows examples of forecasts by AirMagic at the FMP, pre-assessments by ATCO validation at FMP and self-assessments by the working ATCO at the CWP.

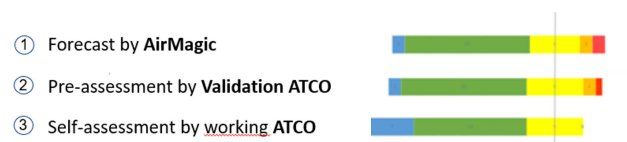


Figure 5: Result of all validation runs of a sector family.

Calibration of the system

In addition to the more formal query using the digital Forms questionnaire, further insights are gained through printouts such as flight lists and sheets of different findings (see Figure 6).

Collected abnormalities and observations are forwarded to the FTS experts. In addition, there is also a bilateral exchange between the ATCOs and FTS experts to gather additional remarks, information on bugs and enhancement requests in a so-called blue list, which forms the basis for further action as regards fast-time simulations.

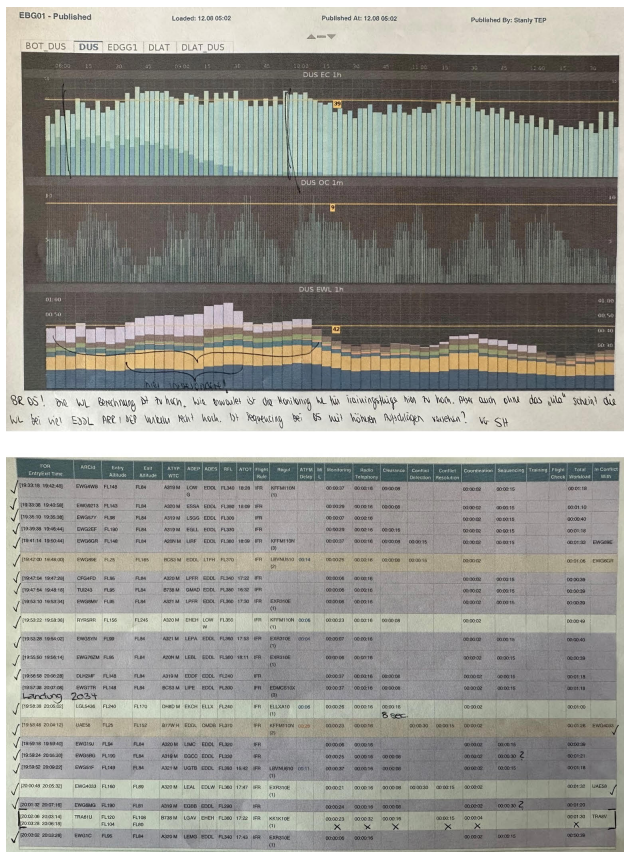


Figure 6: Printouts with findings and observations.

The findings from the Forms questionnaires and the printouts form an important basis to calibrate the AirMagic system: Continuous adjustments can be made to the airspace and workload models. In this way, more and more improvements are gradually being incorporated into the system, so that the forecasts improve with each release and the statements become more precise from run to run. As can be seen in Figure 7, new tasks such as sequencing tasks or efforts for training flights, calibration flights, flight rule changes and traffic below FL100 have been added as the validation progresses. For example, the tool calculates additional workload if a flight rule change from VFR to IFR takes place or if there is a lot of VFR traffic at low levels in good weather conditions. Both tasks require a lot of additional radio telephony, for example when the controller must provide complex traffic information. In addition, times for monitoring or clearance events are adjusted or complex flows and traffic situations are charged with additional times. Here, the granularity is sometimes so high that workloads for flows are adapted to the current operating direction, for example if profiles for operating direction east are more complex to work with.

Validation status

After the calibration phase, the AirMagic Langen system now has over 20 different workload models depending on the sector family or a specific sector

EBGXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Monitoring	x sec at Entry + x sec every x sec successive			x sec at Entry + x sec every 120 sec successive			x sec at Entry + x sec every 120 sec successive	
+ Monitoring Special	+ x sec at Entry of EDDF DEPs when 07 via OBOKA			+ x sec at Entry of EDDF DEPs when 25 via MARUN/TOBAK			+ x sec at Entry of EDDF DEPs when 25 via MARUN/TOBAK	
Radio Telephony	x sec at Entry 8 sec at Exit			x sec at Entry x sec at Exit			x sec at Entry x sec at Exit	
Clearances	x sec at Level Change x sec at Direct			x sec at Level Change x sec at Direct			x sec at Level Change x sec at Direct	
Coordination	x sec at Entry			x sec at Entry			x sec at Entry	
+ Coordination Special	+ x sec at Entry of EDRY ARRs + x sec at Entry of EDDF ARRs			+ x sec at Entry of EDDP DEPs via GISDI			+ x sec at Entry of EDRY ARRs + x sec at Entry of EDDF ARRs + x sec at Entry of EDDP DEPs via GISDI	
Conflict Detection	x sec - x sec at approximation of 6NM			x sec - x sec at approximation of 6NM			x sec - x sec at approximation of 6NM	
+ Detection Special	Ex EDDF ARRs vs EDDF ARRs Ex Conflicts on Parallel Routings EDDF ARRs vs. EDDF DEPs only 50% (X1V + X2V)			Ex EDDF ARRs vs EDDF ARRs Ex Conflicts on Parallel Routings EDDF ARRs vs. EDDF DEPs only 50% (X1V + X2V)			Ex EDDF ARRs vs EDDF ARRs Ex Conflicts on Parallel Routings EDDF ARRs vs. EDDF DEPs only 50% (X1V + X2V)	
Conflict Resolution	x sec at approximation of 3,6NM			x sec at approximation of 3,6NM			x sec at approximation of 3,6NM	
+ Resolution Special	Ex EDDF ARRs vs EDDF ARRs Ex EDDF ARRs vs EDDF DEPs Ex Conflicts on Parallel Routings			Ex EDDF ARRs vs EDDF ARRs Ex EDDF ARRs vs EDDF DEPs Ex Conflicts on Parallel Routings			Ex EDDF ARRs vs EDDF ARRs Ex EDDF ARRs vs EDDF DEPs Ex Conflicts on Parallel Routings	
Sequencing	x sec with Counting Box for EDDF ARRs at ROLIS > 1			x sec with Counting Box for EDDF ARRs at KERAX > 1			x sec with Counting Box for EDDF ARRs at ROLIS x sec with Counting Box for EDDF ARRs at KERAX	
Training	x sec at Entry of EDGS ARRs Training callsigns + x sec every 60 sec from App Leg EDGS ARRs Training						x sec at Entry of EDGS ARRs Training callsigns + x sec every x sec from App Leg EDGS ARRs	
Flight Check	x sec at Entry + x sec every x sec successive			x sec at Entry + x sec every x sec successive			x sec at Entry + x sec every x sec successive	
Flight Rule Change	x sec VFR > IFR x sec IFR > VFR			x sec VFR > IFR x sec IFR > VFR			x sec VFR > IFR x sec IFR > VFR	

Figure 7: Modification of Workload model of Complexity Tool during validation phase.

combination, after originally starting with just one standard for the entire Langen FIR. With the help of nearly 400 digitally completed validation forms, the airspace and workload model for AirMagic Langen has been brought ever closer to reality. The ongoing exchange between the REF and OPS sides assures that the system is being continuously improved and calibrated in an iterative process.

Challenges

The observations and findings from the validation forms show that short-term flight plan changes in particular – often also in connection to late flight plan filing – constitute a limitation for the system and thus the reliability of the forecast data. The exact forecast of departure sequences based on A-CDM data is also complicated in some cases and a different sequence to the one expected may arrive in the sector. However, this has no significant influence on the forecast and the load on the sector in most cases.

Military flight movements that deviate from the original information in the submitted flight plan, for example regarding the stored stated times in TRAs, are difficult to simulate exactly. After validation runs, for example, it was often reported that military flights with a STAY time of 60 minutes in the flight plan left the TRA after just 45 minutes and, as a result, their entry into a sector took place much earlier than originally assumed and predicted by the system. Training flights with several approaches or only very short or poorly filed flight routes are also very demanding and currently still require a lot of manual work on the model. This is always the case when the aerodromes approached by the training flight are very close to each other and the routing only has a single waypoint, for example.

In conclusion, it should be noted that the quality of traffic forecasts depends primarily on the quality of the available data. If data are provided by airspace users very late or in poor quality, these data cannot be fully entered into a flow management and complexity tool and correctly considered in its forecasts.

Benefits and outlook

In addition to the improvements to the AirMagic Langen system, several other benefits have been identified over time. In the area of fast-time simulations it has thus been possible to build up ATC expertise and gain a wealth of experience in the field of ATFM. In addition, the flexibility and speed with

which fast-time simulation projects can be carried out has been significantly improved, since the fast-time simulation department now has an airspace model for the entire lower German airspace that always corresponds to the current AIRAC. As the workload and the specific working methods of the controllers are also taken into account here, this could be called a digital twin, which reproduces reality as accurately as possible.

On the OPS side, the physical proximity and close dialogue with the FTS experts enabled confidence to be built up about simulations in general, but especially with regard to the workload model. In addition, operations also benefit from an up-to-date airspace model, which can be used to quickly assess various alternative airspace structures with fast-time simulations. They can be used to test and compare various test scenarios quickly and easily with alternative airspace structures [4].

Apart from this, the large amount of data on traffic figures, workload and the link to staff scheduling open completely new possibilities in connection with post-OPS analyses, in which, for example, the knowledge and forecasts gained during operations are entered into a post-OPS tool. In this way, important insights could be gained on the implications of certain traffic situations, for example why a specific decision on flow management measures was made at a specific time and how the traffic pattern then actually developed.

After nearly 400 validation runs, there are only a few sector combinations and framework conditions that still require closer examination. In the validation of some sector families, for example, there was a strong imbalance between the observations for operating directions west and east due to weather conditions. In sectors where this is highly relevant to the working methods of the controllers and the associated traffic or conflict situations, the other operating direction must also be conclusively assessed. In addition, sector configurations that have rarely been used in the past also require at least some basic consideration. The same applies to elementary sectors that are currently rarely or hardly ever activated due to the current traffic volume or staffing situation. In addition, it is being considered to which extent AirMagic could also represent added value for the forecasts of the EDDF approach sector family, which was out of scope yet.

In conclusion, it should be noted that the validation of such a system is an ongoing process with no predefined end. Even after the official validation phase has

been completed, with controllers being scheduled for validation runs and prepared validation forms being completed, the tool will continue to be assessed and, consequently, improved. Daily use of the tool in operations means that anomalies and findings are continuously collected and reported back to the FTS experts. In addition, controllers will continue to carry out AIRAC validations in the future, which critically examine both the new airspace structures associated with an AIRAC change and other model adjustments.

Acknowledgements

I would like to take this opportunity to express my sincere thanks to the people who played a key role in the validation process. The validation controllers, who carried out the validations with great commitment, should be mentioned first and foremost in this context. Their recognition of our work and their consistently positive feedback have made us very pleased and motivated us to successively improve both the system as well as the airspace and workload model. We also received great support from the SVs and FMPs on the bridge. The discussions on the various topics relevant to ATC and ATFM were very fruitful. We would also like to thank the people in operational and human resources planning for the Langen control centre as well as the project management team, who meticulously planned and organised the validation of such a large branch with so many people and activities involved.

Acronyms and abbreviations

ACC	area control centre
A-CDM	Airport – Collaborative Decision Making
AM	AirMagic
ATC	air traffic control
ATCO	air traffic controller
ATFM	air traffic flow management
ATS	air traffic services
AUP	airspace use plan
CDV	capacity default value
CHMI	Collaboration human machine interface
CFMU	Central Flow Management Unit
CWP	controller working position

EBG	(Einsatzberechtigungsgruppe) = sector family
EDDF	Frankfurt airport
EDDK	Cologne/Bonn airport
EFD	ETFMS flight data
ETFMS	Enhanced Tactical Flow Management System
FIR	flight information region
FMP	flow management position
FTS	fast-time simulation
GUI	graphical user interface
HMI	human-machine interface
IFR	instrument flight rules
MIL	military
NM	Network Manager (EUROCONTROL)
OPS	operational system, operations
PJE	parachute jumping exercise
REF	reference system
SID	standard instrument departure route
STANLY_TEP	tool for daily scheduling
STAR	standard Instrument arrival route
STAY	indicator to stay in certain air spaces/areas
SV	supervisor
TRA	temporary reserved area
VFR	visual flight rules
WIZer ACC	what/If analyser ACC
zFPLS	central flight plan storage

References

- [1] Theeck, W. und Paul, B. (2015). AirMagic – Traffic Forecast based on Fast-time Simulation. Innovation im Fokus, 01/15.
- [2] Transoft Solutions (2024). AirTOP WIZER ACC – Live Area Control Center Traffic Complexity Forecast and What-if Analysis. Retrieved 11 October 2024 from URL: <https://www.transoftsolutions.com/aviation/software/airport-airspace-real-time-forecasting-what-if/airtop-wizer-acc/>

- [3] Kunitz, M. (2021). Effekte auf eine effiziente Lauftraumnutzung im dynamischen Umfeld der Flugsicherung – Eine Analyse des Komplexitätstools AirMagic. (Effects on efficient use of airspace in the dynamic environment of air traffic control – An analysis of the complexity tool AirMagic). Innovation im Fokus, 02/21, Pp 12–22. Retrieved October 16, 2024 from URL: <https://www.transoftsolutions.com/aviation/software/airport-airspace-real-time-forecasting-what-if/airtop-wizer-acc/>
- [4] Gehres, Alexander (2024). Fast-time simulation to real-time solution. Air Traffic Technology International 2025. Pp 90–92. Retrieved October 29, 2024 from URL: <https://att.mydigitalpublication.co.uk/>

Chancen- und Risikoanalyse für die Umstellung von einer CAD- zu einer GIS-basierten Radarkartenherstellung

Victoria Wabschitzka (Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt)

Einleitung

Zur Erfüllung der Flugverkehrskontrolldienste benötigen Fluglotsen spezielle Radarkarten als Arbeitsgrundlage, die ihnen auf dem Air Traffic Service System (ATS-System) als Hintergrund dargestellt werden. Dadurch erhalten sie ein breites Spektrum an geographischen und luftfahrtspezifischen Informationen, die sie individuell auswählen können, um die Luftfahrzeuge, die als Radarziele in die Radarkarte projiziert werden, in ihrem Sektor sicher zu steuern. Die von der DFS hergestellten Radarkarten ermöglichen somit eine präzise Visualisierung der Luftverkehrssituation. Bisher werden diese Radarkarten mithilfe des CAD-Programms MicroStation erstellt. Jedoch werden bei einem Wechsel zu einer GIS-basierten Lösung Optimierungspotentiale bei der Radarkartenerstellung gesehen.

Im Rahmen der Bachelorarbeit mit dem Titel: „Chancen- und Risikoanalyse für die Umstellung von einer CAD- zu GIS (Geoinformationssystem) basierten Radarkartenherstellung in der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH hinsichtlich Objekteditierung und Datenexport im GML-Format“ [1] wurde die Überführung essentieller Funktionen des bestehenden Herstellungsprozesses von MicroStation in die freie Geoinformationssoftware QGIS validiert. Als Grundlage wurden die bestehenden Daten von der AddGIS-Oracle-Datenbank (DB) in die PostGIS-DB überführt, um dort mit QGIS weiter verarbeitet zu werden. PostGIS ist eine Erweiterung des objektrelationalen Datenbanksystems PostgreSQL. Es ermöglicht die Speicherung von Geoobjekten eines GIS in der Datenbank. QGIS (Quantum Geographic Information System) ist eine kostenlose Open-Source-Software, mit der Benutzer Geodaten erstellen, bearbeiten, visualisieren, analysieren und veröffentlichen können.

Der Fokus lag auf der Überprüfung der Zeichenwerkzeuge zur Objekteditierung und dem Export im GML-Format, um die fertigen Produkte (Radarkarten) in die ATS-Zielsysteme zu überspielen. Zum Vergleich der Programme MicroStation, einer

CAD-Software des Unternehmens Bentley Systems, und QGIS wurde abschließend eine Chancen- und Risikoanalyse durchgeführt, um daraus Optimierungspotentiale für die DFS abzuleiten.

Vorgehen

Die Zuständigkeit für die Radarkartenherstellung liegt zentral bei einer Abteilung der DFS, welche für die Verwaltung, das Editieren und das Ausspielen der Radarkarten verantwortlich ist. Bisher wird für die Herstellung der Radarkarten die CAD-Anwendung MicroStation verwendet, bei der durch restriktive Lizenzvergaben und häufige Release-Aktualisierungen hohe Unterhaltskosten anfallen. Da die Standardfunktionen der MicroStation für die Erstellung der Radarkarten nicht ausreichen, beauftragte die DFS externe Softwareentwickler, um zusätzliche Add-ons für diese Anwendung zu programmieren. Die letzte große Umstellung der MicroStation durch ein Major-Releases war nur mit langen Projektlaufzeiten, vielen Tests und einem zusätzlichen finanziellen Mehraufwand zu bewerkstelligen. Die Aussicht auf jährliche weitere Major-Releases bestärkt die Bestrebungen der DFS, den Herstellungsprozess durch innovative Weiterentwicklungen kosteneffizienter zu gestalten und die Möglichkeit zu nutzen, auf eine zukunftsorientierte und den Anforderungen an die Kartenherstellung besser gerecht werdende Software umzustellen.

Aufgrund von positiven Erfahrungen in unterschiedlichen Bereichen der DFS mit QGIS besteht der Wunsch, diese Open-Source-Software auch für die Radarkartenherstellung zu nutzen. Besonders die potenzielle Kombination der Herstellungsprozesse von Arbeits- und Radarkarten untermauern dieses Bestreben. Zur Gewährleistung von DFS-spezifischen Sonderfunktionen können die bestehende interne Expertise oder im Bedarfsfall die Dienste der bekannten externen Softwareentwickler genutzt werden. Zur Schaffung einer fundierten Grundlage für die geplante Überführung des Herstellungsprozesses von MicroStation auf QGIS wurde diese Bachelorarbeit initiiert. In der Bachelorarbeit soll geprüft

werden, ob QGIS die wesentlichen Anforderungen erfüllt und die damit erzeugten Resultate für die operativen ATS-Systeme der DFS nutzbar sind.

QGIS bietet als OpenSourceSoftware eine Alternative zur MicroStation und bietet als GIS bereits standardmäßig grundlegende Funktionen und Werkzeuge für die Kartenherstellung.

Der gegenwärtige Prozess der Erstellung von Radarkarten unterliegt dem weltweit einheitlichen AIRAC-Zyklus, in welchem Änderungen der Geometrien (Koordinaten, neue Nav aids, etc.) sowie besondere Anforderungen der Fluglotsen eingearbeitet werden. Für die Aktualisierung der Karten müssen Geometriedaten (Koordinaten der MicroStation) mit Sachdaten (flugsicherungspezifische Informationen) aus der AddGIS-DB verknüpft, überarbeitet und als Geodaten im GML-Format exportiert werden. Die AddGIS DB beinhaltet die Sach- und Adaptionen der DFS, welche zur Erstellung der Radarkarten benötigt werden. Die neugeschaffene PostGIS DB (GOMaps2 TEST DB) ist eine räumliche DB und soll in Zukunft alle verknüpften Geodaten enthalten und somit die AddGIS DB ablösen. Zur Überprüfung der Radarkarten werden die Datensätze in GOMaps, dem DFS-internen Web-Geoinformationssystem, importiert und durch eine lokale Sichtkontrolle (LSR) geprüft. Erst dann erfolgt die Verteilung der Radarkarten über das File Distribution Information System (FIDIS) an die entsprechenden Systemverantwortlichen zum AIRAC-Termin.

Um die Umstellung auf GIS zu ermöglichen, müssen die Geometriedaten und Sachdaten verknüpft werden (siehe Abbildung 1). Dazu wurde eine spezielle Datenbankumgebung (addgis Schema) in der

GOMaps2 TEST DB geschaffen, auf die QGIS zugreifen kann. Dazu wurden mit der Datentransformationssoftware Feature Manipulation Engine (FME) Workflows angelegt, um die Daten aus der AddGIS-DB mit den Geometrien aus der MicroStation zu Geodaten zu verknüpfen und in die GOMaps2 TEST DB zu importieren. Bei der Erstellung der Workflows muss unter anderem die Transformation der Daten vom internen Radgis-Koordinatensystem in das World Geodetic System (WGS84) beachtet werden. Mit diesem Workflow wurden alle Daten in die PostGIS-DB importiert und stehen zur Weiterverarbeitung für QGIS zur Verfügung.

Für die Objekteditierung wurden die Standardzeichenwerkzeuge von QGIS getestet und mit den Funktionalitäten in MicroStation verglichen. Am Beispiel von konkreten Anforderungen aus dem operativen Betrieb wurde die Erstellung und Änderung von spezifischen Elementen (Glider Area, Sektoren, etc.) getestet. Eine Besonderheit war hierbei, dass eine komplexe Geometrie, bestehend aus Polygonen und Kreisbögen kreiert werden musste. Dafür bietet QGIS standardmäßig eine breite Palette von Geoverarbeitungswerkzeugen an. Es können z.B. beliebige Koordinaten in das passende Zielsystem umgerechnet werden, mit den Tools Advanced Digitizing und Numerical Digitize können Polygone nach Koordinaten gezeichnet werden und mit dem Geometry Shapes Tool können z.B. Kreise gezeichnet werden. Die Visualisierungen der Objekteditierung mit variierendem Style liefern die gewünschte Zeichengenauigkeit und Darstellung der Geometrien sowie der aeronautischen Elemente.

Als zweites Schwerpunktthema wurde der Datenexport im GML-Format untersucht, da die operativen

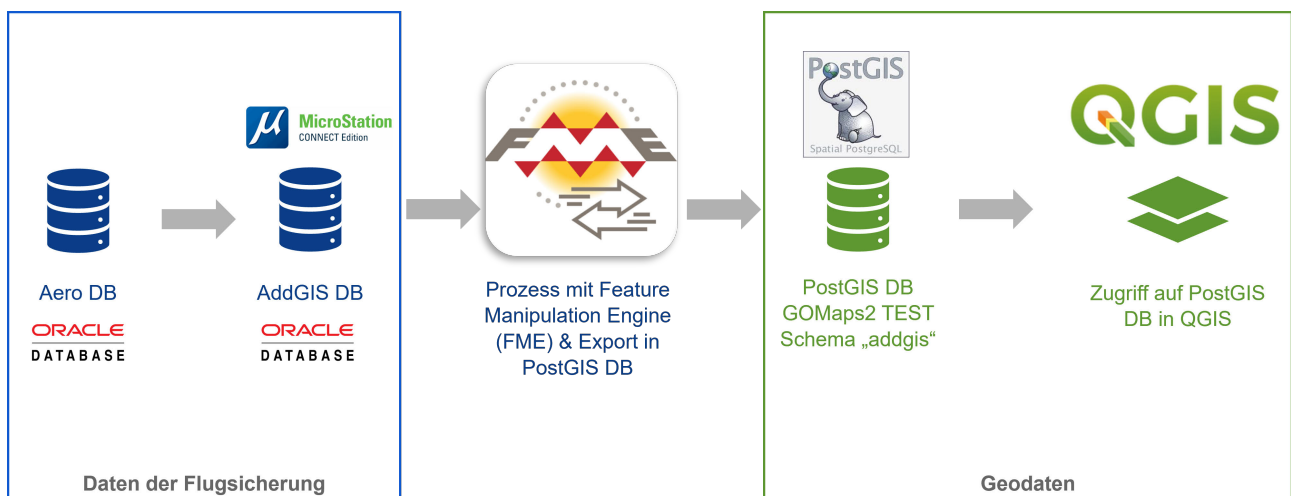


Abbildung 1: Datenbankstruktur der Umstellung von CAD auf GIS.

Systeme derzeit überwiegend Radarkarten in diesem Format verwenden. Es stehen zwei Möglichkeiten, der direkte Export aus QGIS und der indirekte Datenexport über FME, zur Verfügung.

Beim direkten Datenexport aus QGIS werden zunächst die für das Zielsystem benötigten Ebenen (auch als „Layer bezeichnet) zum Exportieren ausgewählt. Die Exporteinstellungen und das Zielformat werden über ein einfaches Menü ausgewählt und können schließlich exportiert werden. Das Ergebnis muss anschließend um die systemspezifische Schemadatei ergänzt werden, damit die Radarkarten für die Einspielung in das jeweilige Zielsystem sortiert erfolgen kann.

Als Alternative kann der Export der Radarkarten mit Hilfe von FME über einen ebenfalls selbstdefinierten Workflow erfolgen. In diesem erfolgen mehrere Transformationsschritte, bevor die Geodaten in das vorgegebene Schema der GML-Datei exportiert werden. Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass durch den FME-Export den Anforderungen der DFS besser entsprochen werden kann und nur minimale

nachträgliche Anpassungen notwendig sind. Die Ergebnisse der GML-Exporte wurden im Rahmen der Bachelorarbeit mit selbsterstelltem Kartenlayout über QGIS visualisiert und liefern die gewünschte Grundstruktur der Daten (z.B. Auszüge aus Sektorstrukturen, eine Darstellung von Navais in Deutschland etc., siehe Abbildung 2).

Abschließend wurde eine Chancen- und Risikoanalyse durchgeführt, um die Umstellung von der CAD- zur GIS-basierten Radarkartenherstellung zu bewerten. Dabei konnte bestätigt werden, dass QGIS durch die reichhaltigen Standard-Geoverarbeitungswerkzeuge und die komfortable Bearbeitung von Geodaten optimal für die Objekteditierung geeignet ist und einen vollumfänglichen Ersatz zur MicroStation darstellt. Wie auch bei MicroStation bietet QGIS die Möglichkeit, DFS-spezifische Funktionalitäten für die Radarkartenherstellung durch individuell programmierte Plug-ins zu ergänzen. Der Datenexport im GML-Format ist grundsätzlich aus QGIS möglich. Aufgetretene Strukturmängel in den komplexen Radarkarten müssen nachgebessert werden und es sollten vor der Umstellung weitere

Visualisierung der gefilterten Radarkarte "L021" mit Symbolen und OSM-Hintergrundkarte

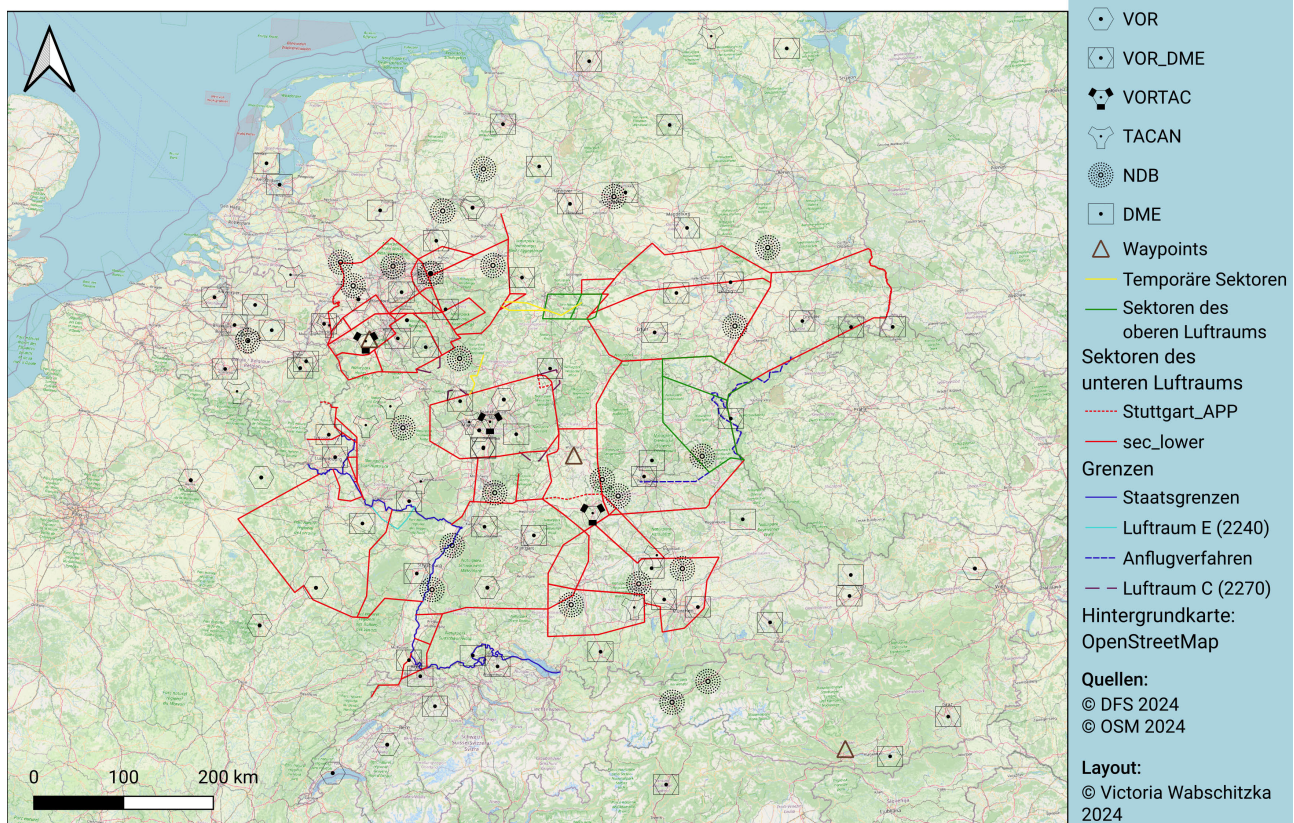


Abbildung 2: Visualisierung in QGIS mit Filterung nach Radarkarte L021.

Optimierungsmöglichkeiten untersucht werden. Der alternative indirekte Export über FME hingegen entspricht den Anforderungen der DFS.

Als eine signifikante Schwachstelle wurde der fehlende Mehrnutzerbetrieb identifiziert, der in QGIS jedoch durch Bearbeitung mehrerer Projekte ersetzt werden kann, die auf identischen Ursprungsdateien basieren und in eine Ausgabedatei zusammengeführt werden können. Perspektivisch stellt die Umstellung einen sinnvollen und wichtigen Schritt für die Weiterentwicklung der Radarkartenherstellung dar. QGIS bietet zukünftig die Möglichkeit, die Radarkartenherstellung durch die Nutzung von GIS-Analysen zu ergänzen und eine Web-Anwendung in Verbindung mit GOMaps zu gestalten.

Fazit

Die durchgeführte Evaluierung hat ergeben, dass QGIS für die Herstellung von Radarkarten in der DFS mindestens im gleichen Umfang wie MicroStation geeignet ist. Insbesondere bei der Objekteditierung mit flexiblen Zeichenwerkzeugen und der Anpassung von Attributen überzeugt QGIS durch seine intuitive Handhabung und die Bearbeitung der Geodaten in der neu eingerichteten PostGIS-DB. Als potenzielle Schwachstellen von QGIS wurden der fehlende Mehrnutzerbetrieb sowie Strukturmängel beim GML-Export identifiziert, die jedoch durch Hilfsprozesse vermieden werden können.

Der Vergleich zwischen dem CAD- und GIS-basierten Herstellungsprozess für die Radarkarten der DFS verdeutlicht die spezifischen Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Programme. Für eine perspektivische Weiterentwicklung des Prozesses überwiegen die Vorteile einer potenziellen Zusammenführung von Datenbasis und direkter Nutzung der neuen PostGIS-DB als „Single Point of Source“ in der DFS, sowie das Einsparungspotenzial durch Kostenreduzierung bei Lizenzgebühren und Inbetriebhaltung. Unter Berücksichtigung aller in der vorliegenden Bachelorarbeit analysierten und betrachteten Aspekte lässt sich festhalten, dass die Vorteile einer Umstellung zu einer GIS-basierten Radarkartenherstellung überwiegen und der zukünftige Einsatz von QGIS befürwortet werden kann.

Abkürzungsverzeichnis

AddGIS-DB	Datenbank des Adaptionsdaten Geoinformationssystems
AIRAC	Aeronautical Information Regulation and Control System

ATS	Air Traffic Service
CAD	Computer Aided Design
DB	Datenbank
FIDIS	File Distribution Information System
FME	Feature Manipulation Engine
GIS	Geographic Information System bzw. Geoinformationssystem
GML	Geo Markup Language
GOMaps	DFS internes WebGIS
LSR	Lokale Sichtkontrolle Radarkarten
Nav aids	Navigationsinfrastruktur
QGIS	Quantum GIS, Open-source GIS
WGS84	World Geodetic System 1984
Radgis	DFS internes Koordinatensystem der Radarkarten

Referenzen

- [1] Wabschitzka, V. (2024). Chancen- und Risikoanalyse für die Umstellung von einer CAD- zu GIS basierten Radarkartenherstellung in der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH hinsichtlich Objekteditierung und Datenexport im GML-Format. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Fachbereich Kunststofftechnik und Vermessung, Technischen Hochschule Würzburg-Schweinfurt.

Investigation on colocation of legacy navigation aids DME and TACAN with upcoming Mode N ground stations

Patrick Kucharczyk

Deutsche Zusammenfassung

Mode N (Navigation) ist ein neues Konzept für einen terrestrischen Flugnavigationsdienst, der Signale verwendet, die auf dem bereits standardisierten Mode S-Format des Sekundärradars basieren. Mode N verwendet das Prinzip der Multilateration und benötigt ein deutlich schmaleres Frequenzband als aktuell in Nutzung befindliche DME- und TACAN-Systeme. Obwohl Mode N die DME-Funktionalität als solche unterstützt und das DME ersetzen könnte, wird es zwangsläufig eine Übergangszeit geben, in der sowohl DME als auch Mode N im Parallelbetrieb eingesetzt werden. Darüber hinaus wird für den Roll-out der Mode N-Bodenstationen die Verwendung bestehender CNS-Infrastruktur (Communications, Navigation, Surveillance) einschließlich DME-Bodenstationen in Betracht gezogen. Dies ist allerdings nur möglich, wenn eine gegenseitige Beeinträchtigung zwischen den bestehenden Navigationstechnologien und Mode N ausgeschlossen werden kann. Dies wird im ersten Schritt für das Bodensegment betrachtet.

In diesem Artikel werden für die Zukunftstechnologie Mode N die technischen Möglichkeiten einer Kollokation von einer Mode N- und einer bestehenden DME- bzw. TACAN-Bodenstation untersucht. Es werden die Koexistenz der Systeme und die damit einhergehende potenzielle gegenseitige Störung betrachtet. Dies umfasst die Untersuchung einer geeigneten Methode zur Ein- und Ausspeisung von Mode N-Signalen an einer DME-Bodenstation sowie die Kollokation von DME-, TACAN- und Mode N-Bodenstationen über separate Antennen. Hierfür steht ein Testfeld mit den relevanten Bodenstationen zur Verfügung.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass das Ein- und Ausspeisen von Mode N-Signalen an einer DME-Bodenstation mit dem im Rahmen der Untersuchung verwendeten Equipment nicht zu empfehlen ist, obwohl eine Kollokation von DME und Mode N auf diese Weise grundsätzlich möglich wäre. Die hierfür notwendigen Adaptionen am DME und die daraus resultierenden Folgen fallen jedoch vergleichsweise

groß aus. Die Ergebnisse der Kollokation von DME-, TACAN- und Mode N-Bodenstationen unter Verwendung von separaten Antennen fallen hingegen sehr vielversprechend aus. Die Systeme können in unmittelbarer Nähe zueinander ohne gegenseitige Störungen betrieben werden. Eine Kollokation unter Nutzung von separaten Antennen wird daher empfohlen und sollte im Rahmen weiterer Untersuchungen auf die Empfangbarkeit der Signale im Fernbereich der Bodenstationen ausgeweitet werden, um auch bordseitig gegenseitige Beeinträchtigungen auszuschließen.

Abstract

Mode N (Navigation) is a new concept for a terrestrial aeronautical navigation service. The system uses signals based on Mode S secondary surveillance radar format which is already standardized and in worldwide use. It is based on the principle of multilateration and designed to operate on a significantly narrower frequency band than DME (Distance Measuring Equipment) and TACAN (Tactical Air Navigation).

Although Mode N supports the legacy DME functionality and has the potential to replace the currently used DME, there will be a long transition period in which Mode N will complement the DME, so that both DME and Mode N will be used simultaneously. Furthermore, the use of existing infrastructure of aeronautical navigation services, including DME ground stations, is considered as locations for Mode N ground stations. A colocation is only possible if mutual interference between the existing aeronautical navigation service technologies and Mode N can be ruled out. This is to be examined for the ground station segment first.

In the context of the future use of Mode N, this article investigates the relevant technical properties in order to find a suitable way to realise a side-by-side operation of an existing DME resp. TACAN ground station and Mode N ground station. For this purpose, the coexistence of the systems and associated potential

mutual interference shall be examined. The research activities comprise of the investigation of a suitable way for feed-in and feed-out of Mode N signals on an existing DME ground station as well as the colocation of DME, TACAN and Mode N ground stations using separate antennas.

The results from the investigation show that the feed-in and feed-out of Mode N signals on the DME ground station is not recommended, although a colocation of DME and Mode N is possible in principle in this way. Such an adaptation of the DME would involve major interventions in the DME system resulting in completely new necessary technical approvals for this aeronautical navigation system. The findings are also applicable to the TACAN ground station. The results of the colocation of DME, TACAN and Mode N ground stations via separate antennas show that these systems can be operated in close proximity without mutual interference. The investigation should be expanded to further series of measurements, including the receivability of the signals in the far field during concurrent operation.

Introduction

One system used by German Air Navigation Services (DFS) to provide aeronautical navigation services is the DME. This system is used to measure the distance between an aircraft and a corresponding DME ground station. As this system has been developed in the late 1940s, it is at a corresponding old technological level. For the small amount of information, namely the distance between the aircraft and the corresponding ground station, this system requires a large frequency bandwidth. This also applies to the Tactical Air Navigation (TACAN) used by military aircraft, in which the DME is integrated as a subsystem. Bandwidth has become a limited resource in aviation due to the large number of various technologies that are currently used and the large reuse distance of the radio cells. This not only delays the introduction of new technologies, but e.g. also increases the risk of mutual interference like garbling [1].

In addition, there is another reason to modernise this type of aeronautical navigation service. The past few years have shown that satellite-based navigation of aircraft is not always reliably usable. Particularly in crisis areas with military activities, the satellite signals for air navigation can be disturbed (jamming) or even manipulated (spoofing). Although modern aircraft can navigate for a certain time using an Inertial Reference System (IRS), reliable ground-based

navigation information is still essential [1] [2] [3].

A new concept for a ground-based system providing aeronautical navigation services is Mode N (Navigation). Mode N provides an Alternative Positioning, Navigation and Timing (A-PNT) system that is capable to backup global navigation satellite systems (GNSS). Due to the joint development of DFS, the Bundeswehr Technical Center for Aircraft and Aeronautical Equipment (WTD 61) and engineering partner Interdisciplinary Engineering Consultants Madritsch (IECM), Mode N is intended for use by civil and military aviation. This is one of the several impressive advantages that lead to the recognition and support of Mode N's development at European level by Single European Sky ATM Research (SESAR) and European Defence Agency (EDA) [1] [3] [4].

The determination of the aircraft's position is based on the multilateration principle. Several Mode N ground stations are synchronized in time and broadcast signals to the aircraft, which determines its own position. This distinguishes Mode N fundamentally from DME. For a detailed description of the Mode N technology, please refer to [2].

Motivation

As a large number of Mode N ground stations are required for its operation, the use of existing CNS-infrastructure of DFS, including in particular DME ground stations, was examined in a previous study [2]. The use of these ground station locations was analysed, and it was found that this leads to very good coverage for a Mode N network. Furthermore, CNS-infrastructure offers the use of existing property, power and data connections [2] [4].

This raises the question of whether the operation of Mode N on an existing DME ground station is possible from a technical point of view. In the context of the future use of Mode N, this article investigates the relevant technical properties in order to find a suitable way to realise a side-by-side operation of an existing DME resp. TACAN ground station and Mode N ground station. For this purpose, the coexistence of these systems and associated potential mutual interference should be examined. The research activities comprise of the investigation of a suitable way for feed-in and feed-out of Mode N signals on an existing DME ground station as well as the colocation of DME, TACAN and Mode N ground stations using separate antennas.

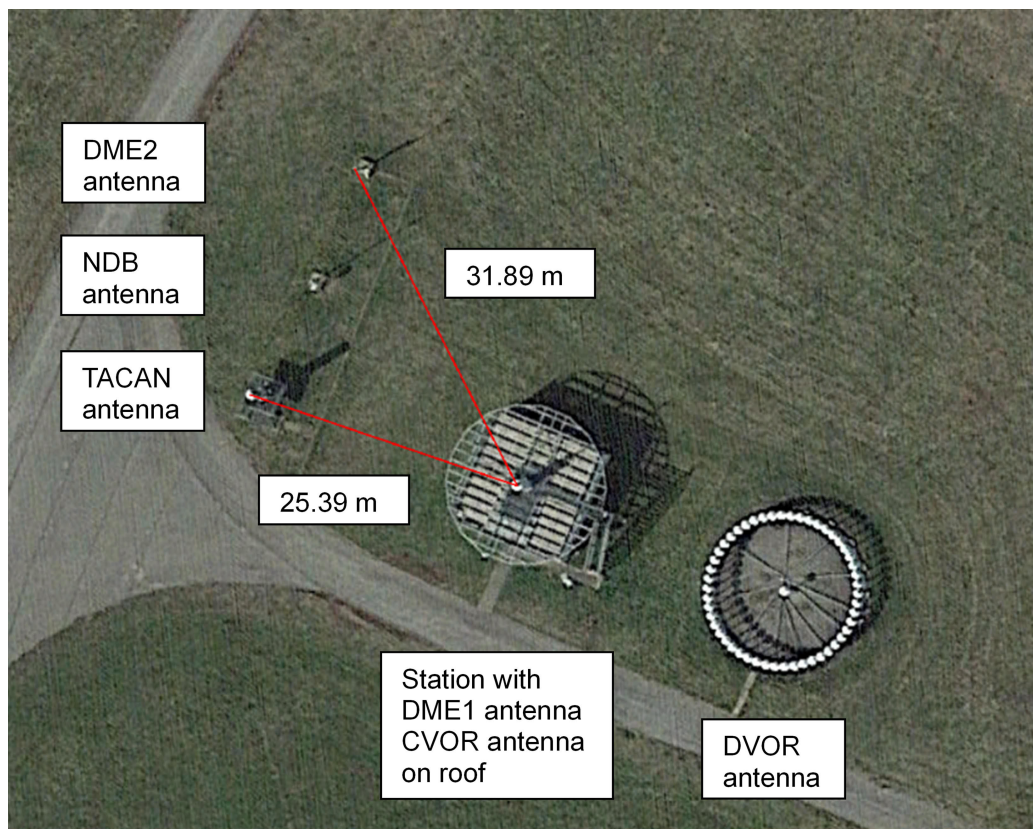


Figure 1: Top view of the test field in Kaufbeuren.

Test field at Airbase Kaufbeuren

The search for a suitable test field for the investigation resulted in the military Airbase Kaufbeuren. The "Fliegerhorst Kaufbeuren" belongs to the German Air Force and is currently not in operational use. Fortunately, there are several military and civil aeronautical navigation systems that can be used for training and testing purposes by both German Air Force and DFS. Therefore, this training facility is suitable for the investigation.

The training station is located on the apron of the airbase near the runway, so that no critical obstacles regarding reflections or multipath propagation have to be taken into account. All the equipment of the several aeronautical navigation systems is inside the station. Therefore, all measurements and related modifications can be done inside the station. In the scope of the investigation, this station includes a Thales DME FSD40, a Selex ES DME 119A and a TACAN FTA43 system. The corresponding antennas are located on and beside the station including two Kathrein DME antennas of the type FAN86 and a TACAN antenna of the type ELTA200. The fact that a second DME antenna is on site is



Figure 2: Structure of the Mode N TX/RX (on top) and Mode N RX (below) ground stations with notebooks as processing units.

particularly suitable for the test purposes with the Mode N ground station. In addition, a VOR and a NDB systems with the corresponding antennas are also installed. As shown in Figure 1 the DME1 antenna is located on the roof of the station, DME2 and TACAN antennas are beside the station (distances given as the crow flies). The NDB, CVOR and DVOR antennas can be disregarded for this investigation.

Mode N ground stations

Two prototype Mode N ground stations are used for the field test (Figure 2). Both were already in use on a Mode N test range located at Airbase Manching. One of them is a Mode N transmitter and receiver station (Mode N TX/RX station), the other is a Mode N receiver station (Mode N RX station). Both Mode N reception and transmission is done on 970 MHz.

To have a measurable value regarding the connection quality of both Mode N ground stations, the System Calibration Protocol (SCP) is used for all measurements. It is applied for information exchange between Mode N ground stations, so that SCP is slightly comparable to the planned Mode N Time Synchronisation message (F3). SCP provides the values as listed in Table 1 [5][6].

Table 1: Values provided by SCP.

Value	Description
ToA	Time of Arrival
ToTx	Time of Transmission
G [dB]	Set gain in dB
RxV [V]	Reception input voltage in V
RxL [dBm]	Reception level in dBm
SNR [dB]	Signal-to-noise-ratio in dB
Status	Status messages

DME FSD40, DME 119A and TACAN FTA43

The Thales DME FSD40 and Selex ES DME 119A ground stations are used for the measurements. Both DMEs are currently not in operational use and serve as a testing and training system. They are set to the DME channel 107Y, so that both receive the interrogations on 1131 MHz and reply on 1068 MHz. The TACAN FTA43 ground station is used for the measurements. It is not in operational use and is set to channel 1X, so that it receives the interrogations on 1025 MHz and replies on 962 MHz.

Investigation procedure

In general, the field test includes two examination aspects for the investigation on the colocation of Mode N and the aeronautical navigation systems. First, the attempt to feed-in and feed-out Mode N signals on the DME ground station and the observation of the colocation via the common antenna. Secondly, the colocation of DME, TACAN and Mode N ground stations via separate antennas is investigated.

Feed-in and feed-out of Mode N signals on the DME FSD40

For preparation of the field test, the structure of the relevant systems was analysed theoretically to locate suitable places for feed-in and feed-out of Mode N signals. A simplified representation of the DME FSD40 including the corresponding modules and RF assemblies is shown in Figure 3. The feed-in and feed-out of Mode N signals are realised using symmetric 2-way power dividers. It soon becomes apparent that a merging of the signals is most useful in the RF path between the transmitter module TTP respectively receiver module TRC and the antenna of the DME. In this system section the DME signal is already on the corresponding RF frequency, so that DME and Mode N signals are isolated to each other with respect to their frequencies. A feed-in even in front of the TTP or a feed-out behind the TRC would both affect the signal generation of the DME and

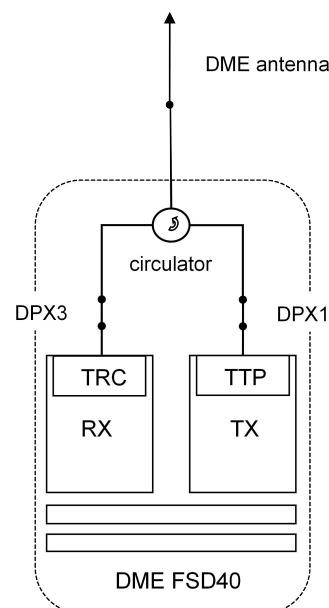


Figure 3: Simplified visualisation of the DME FSD40

force the Mode N signal, which is very different from that of the DME, through the first signal processing steps of the DME modules. Due to the redundancy concept of the DME, the place for the feed-in or feed-out of Mode N signals should be independent of the currently used DME transponder. Therefore, the place of the coaxial switches DPX1 and DPX3 have to be taken into account.

This results in the feed-in of Mode N signals either between the coaxial switch DPX1 and the circulator or between the circulator and the antenna. For the feed-out the options are either between the coaxial switch DPX3 and the circulator or between the circulator and the antenna.

Colocation via separate antennas

The operation of the Mode N ground station via a separate antenna results in significantly less effort because each system can run in its original state without any physical changes in its system design. The concurrent side-by-side operation between DME FSD40, DME 119A, TACAN FTA43 and Mode N TX/RX stations is investigated. For this, the various systems are set to their operational status and connected to their associated antennas. The TACAN ground station is connected to the designated TACAN antenna ELTA200. Both DME FSD40 and DME 119A ground stations are connected to DME1 or DME2 antenna. The Mode N TX/RX station is also connected to one of the DME antennas. As one DME antenna is occupied by the Mode N TX/RX, the measurements for both DME types are done one after the other. Following measurements attempts are carried out:

- colocation of Mode N and DME FSD40
- colocation of Mode N and DME 119A
- colocation of Mode N, DME FSD40 and TACAN FTA43

In addition, further in-depth measurements were considered, which could further confirm the above measurements. Thereby, the existing equipment at the test field had to be taken into account. One point is the receivability of the signals. Orderly side-by-side operation of the aeronautical navigation systems is only one issue to be taken into account. Another issue is the corresponding receiver at the end of the communication channel has to be able to receive and decode the transmitted signals. Therefore, a reception test for the TACAN should be performed. Due to the limited number of DME antennas of which one is already occupied by the Mode N TX/RX station, this is the easiest to test this. This makes it possible to achieve first results to the receivability of signals from aeronautical navigation services during concurrent operation with Mode N.

Beyond this, a very interesting interference case regarding the antenna positions is given when both antennas are positioned very close to each other. As the antennas positions are fixed installed at the test field, an option is to use the DME antenna consisting of the transmitting antenna part and both monitoring antenna probes. These antennas are close to each other, so that they are suitable for this kind of measurement.

The above-mentioned measurements are therefore supplemented by the following:

- TACAN reception test during Mode N transmission
- Mode N transmission via the DME monitoring antenna

Results

Feed-in and feed-out of Mode N signals on the DME FSD40

The feed-in of Mode N signals on the DME FSD40

Table 2: Results of initial feed-in of Mode N signals on the DME.

Transmission		Mode N RX receiving level	DME monitor 1 peak power output	DME monitor 2 peak power output	DME status
Mode N	OFF	---	43 W	43 W	maintenance
DME	ON				
Mode N	ON	- 20.5 dBm	---	---	maintenance
DME	OFF				
Mode N	ON	- 21.1 dBm	44 W	43 W	maintenance
DME	ON				

showed that the DME monitoring system rates the reduced DME transmission power due to the additional attenuation by the 2-way power divider as an alarm status. The DME is no longer running in operational mode and the DME transmission is automatically switched off. This can only be bypassed by changing the DME to maintenance mode. Nevertheless, the reachable range of the DME is reduced due to the additional attenuation. Since the 2-way power divider is in the common RF path of DME transmission and reception, both signalling paths are additionally attenuated by around 3 dB. This leads to a reduced range of the DME by a factor of about 0.71. On a positive note, it can be stated that looking at the measured values in Table 2, there is no negative impact between the DME and Mode N signal transmissions. Both the receiving level of the Mode N RX and the DME monitoring values stay stable, regardless of which of them is transmitting.

However, it becomes interesting when the measurement with increasing Mode N transmission power is considered. It showed that from a specific Mode N transmission power value of around 315 W the DME status changes to alarm leading to an automatic switch-off of the DME transmitter. This could be determined reproducibly. Unfortunately, there was no more precise error description neither by the DME status nor the DME monitoring system. One assumption

would be that the isolation between the Mode N transmission power at the place of feed-in and the DME receiver module TRC is too low. This would lead to an automatic switch-off of the DME either because of an exceeded power level or because the test signals of the DME monitoring system cannot be recognized by the DME receiver.

The feed-out of Mode N signals between the coaxial switch DPX3 in front of the active receiver module TRC and the circulator of the DME is already the most suitable place. Due to the circulator, the Mode N receiver path is more isolated from the DME transmitter than in the common RF transmission and reception path. The results of the measurements show that simultaneous reception of DME and Mode N signals is possible in principle. The achieved Mode N reception level of about -25.6 dBm is sufficient.

If during the feed-out of Mode N signals the additional attenuation in the common RF path caused by the 2-way power divider for the feed-in of Mode N signals is removed, it is possible to run the DME in operational mode. The reason for this is that both monitoring antenna probes of the DME monitoring system do not detect any reduced transmission power. Nevertheless, the inserted 2-way power divider in the reception RF path leads to a reduced receiver sensitivity and thus to a limited reply range of the DME station.

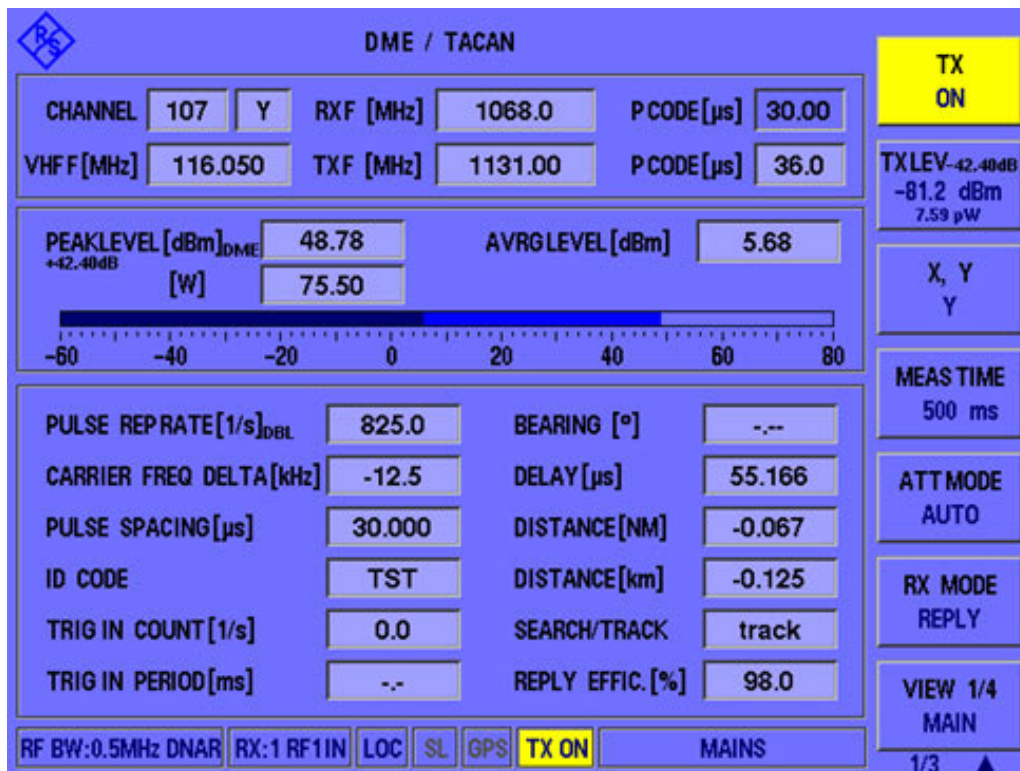


Figure 4: Nominal status of the DME FSD40 during Mode N transmission via separate antennas.

The above-mentioned findings are also applicable to the option of feeding in and feeding out Mode N signals on the TACAN. The TACAN signals are based on the DME signals resulting to a similar system structure, at least for the DME part. The issues with additional damping would also apply equally here. Accordingly, it is also not advisable to feed-in or feed-out Mode N signals on the TACAN with the methods of this investigation carried out.

Colocation via separate antennas

In contrast to the previous measurements, the investigation of the colocation via separate antennas does not cause any physical interventions in the aeronautical navigation systems. This allows a clearly

simplified approval for the operational use unless there are not any mutual interference between the systems.

The results of the colocation of DME FSD40 and Mode N show that the DME FSD40 status remains nominal (operational) for all Mode N power settings (Figure 4). Even the largest Mode N power setting of the Mode N system can be used, which led to an automatic switch-off of the DME transmitter during the feed-in of Mode N signals. The measurement including the DME type 119A from another manufacturer leads to similar results.

The measurement including the colocation of DME FSD40, TACAN FTA43 and Mode N also provided

Table 3: Results of the concurrent operation of DME FSD40, TACAN FTA43 and Mode N via separate antennas.

Mode N power setting	Mode N output power	DME status	TACAN status
-x 70	105 W	nominal	nominal
-x 80	315 W	nominal	nominal
-x 85	351 W	nominal	nominal
-x 90	350 W	nominal	nominal

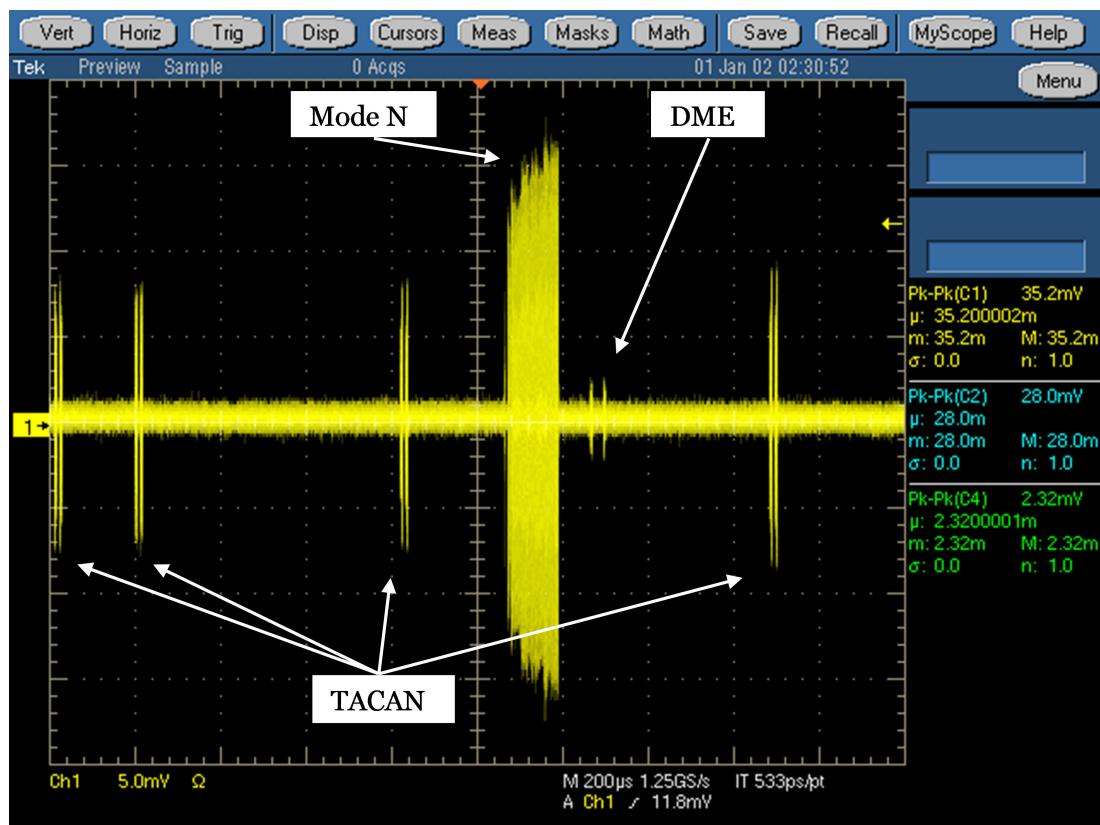


Figure 5: Reception of DME (small double pulse), TACAN (double pulse) and Mode N signals (burst).

positive results (Table 3). Especially the test of the TACAN FTA43 and Mode N is exciting to look at due to the proximity of their used frequencies (TACAN receives on 1025 MHz and replies on 962 MHz, Mode N both on 970 MHz). As shown in Figure 5 the structure of the various signals matches the expected ones.

This is the reason for the following TACAN reception test using the TACAN station tester. The results prove the proper reception of TACAN signals in the immediate vicinity of an active Mode N station. Even with an additional attenuation of the TACAN signals by 3 dB, the signals were still validly receivable.

The final measurement examined the closest possible positioning of both the DME and Mode N antennas using the available equipment at the test field. The measurement established a nominal status for the DME during maximum power setting of the Mode N system. Although the use of the monitoring antenna probe comes very close to the target with regard to the positioning of the antennas, the isolation of approximately 30 dB between the antennas has to be taken into account when considering the results. Therefore, this measurement should be repeated with two individual antennas placed close to each other.

Conclusion

The results of the feed-in and feed-out of Mode N signals on the DME show that the colocation via a common antenna is possible in principle in this way. However, the warnings and even failure statuses in the DME system caused by this do not allow an operational use of this aeronautical navigation system. Even the most suitable places for the feed-in and feed-out of Mode N signals could not remedy this condition. Possible solution approaches would be to adapt the thresholds of the DME monitoring system or to increase the DME transmission power using additional amplifiers. However, this would have to be considered with regard to the effects on the technical release of the DME system in the context of providing aeronautical navigation services and a new certification for the legacy system could be required.

The colocation of the aeronautical navigation systems and Mode N via separate antennas showed overall very positive results. The measurements covered various constellations of the used systems that led to no determinable mutual interference between the systems. The measurements also comprised of a reception test and a colocation via two antennas in close proximity to each other.

These measurements also provided positive results.

Referring to the introductory objectives of this investigation the findings support the idea of a side-by-side operation of DME and Mode N ground stations using separate antennas. No mutual interference was detected between the systems during the measurements that would argue against this. Furthermore, a reception test in the near field showed the proper reception on the other side of the transmitter-receiver-channel. This can be applied equally to the TACAN.

In contrast to this, a side-by-side operation using a common antenna by means of feeding in and feeding out Mode N signals highlighted problems due to the additional attenuation within both the transmission and the reception path. Particularly the DME status change is not acceptable for an operational use of this aeronautical navigation system and would require further modifications of such a combined system. This can be applied equally to the TACAN.

However, the limitations of the investigation have to be taken into account. Regarding the first part of the investigation, all measurements carried out used 2-way power dividers that split the signal power in half causing the failure status of the DME. As already mentioned, the use of other kinds of 2-way power dividers could lead to other results. In addition, the feed-in and feed-out of Mode N signals were only tested with the DME type FSD40. In addition, even if other DME systems are generally designed similarly, they may have other monitoring systems leading to different system statuses under these circumstances.

Regarding the part of the investigation on the colocation via separate antennas, it has to be considered that in addition to the interference-free operation of the systems with each other, the reception of the corresponding signals at the receiver also has to be ensured. Therefore, further measurements, such as the TACAN reception test already presented, have to be carried out, in particular for the far field. This comes closest to the usual use of these aeronautical navigation systems providing aeronautical navigation services. In the context of future use of Mode N, the option of using existing CNS-infrastructure and especially that of DME ground stations should be pursued further. If further measurements show the expected results for reception of the signals also for the far field, the expansion of Mode N ground stations will be easier and quicker due to the use of existing infrastructure and its supply lines. This in turn makes it attractive for future users and stakeholders of Mode N.

Abbreviations

A-PNT	Alternative Position, Navigation and Timing
CNS	Communication, Navigation, Surveillance
CVOR	Conventional VOR
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DME	Distance Measuring Equipment
DPX	Duplexer (coaxial switch)
DVOR	Doppler VOR
EDA	European Defence Agency
F0 - F4	Mode N formats
G	Gain (antenna)
GNSS	Global Navigation Satellite System
IECM	Interdisciplinary Engineering Consultants Madritsch
IRS	Inertial Reference System
Mode N	Mode Navigation
Mode N RX	Mode N receiver
Mode N TX	Mode N transmitter
Mode N TX/ RX	Mode N transmitter and receiver (transceiver)
Mode S	SSR Mode Selective
NDB	Non-Directional Beacon
RF	Radio frequency
RxL	Reception Level
RxV	Reception Input Voltage
SCP	System Calibration Protocol
SESAR	Single European Sky ATM Research
SNR	Signal-to-Noise-Ratio
SSR	Secondary Surveillance Radar
TACAN	Tactical Air Navigation
ToTx	Time of Transmission
TRC	Receiver (of the DME FSD40)
TTP	Driver Transmitter (of the DME FSD40)
VOR	Very High Frequency Omnidirectional Radio Range
WTD 61	Bundeswehr Technical Center for Aircraft and Aeronautical Equipment

References

- [1] S. Marquard et al., „Mode N – A promising Approach for future Navigation (ICNS 2023),“ 2023.
- [2] DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, S. Marquard, „Mode N – A Navigation and A-PNT Concept for Aviation, Basic Design Document,“ Langen, 2023.
- [3] European Defence Agency, [online] Mode-N – Terrestrial Position Navigation and Timing System - Military, URL (last visited on 09.07.2024): <https://eda.europa.eu/docs/default-source/posters/20---mode-n---terrestrial-positioning-navigation-and-timing-system-military.pdf>
- [4] DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, S. Marquard, V. Görldt, M. Grandt, „Mode N – A Solution for A-PNT, ICNSS and More,“ Langen, 2022.
- [5] F. Madritsch, IECM, „Terrestrial Positioning Navigation and Timing System – military, Demonstration of local config,“ Manching, 2021.
- [6] F. Madritsch, IECM, „Terrestrial Positioning Navigation and Timing System – military, Lab/Ground- Hp RF-Testing, Revision 2.0,“ Manching, 2023.

Genauigkeitsanalyse und Vergleich von Sichtweitendiagrammen mittels Geoinformationstools

Claudia Feßler

Einleitung

Eine Flugsicherung ohne Sensorik-Überdeckung ist heute undenkbar. Um herauszufinden, welchen Qualitätskriterien diese entspricht, werden verschiedene Tools verwendet. Diese Tools berechnen die Sichtweite der Radaranlagen und stellen sie in einem Diagramm dar. In dieser Arbeit werden die Tools Electromagnetic Control and Survey (EMACS) von IDS, SPx Radar Coverage Tool Pro von Cambridge Pixel und Predict von EUROCONTROL untersucht und bewertet. Die Analyse wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit [1] vorgenommen.

Bisher wurde noch nicht die Genauigkeit dieser Tools überprüft. Dies erfolgt mithilfe einer Flugvermessung der DFS-Radaranlage Schmooksberg (SMB), welche im Dezember 2023 stattfand. Es wurden drei Strecken um die Anlage in der Höhe 5000 Fuß über dem Meeresspiegel vermessen. Die mittlere Strecke ist das Sichtweitendiagramm, welches das Tool EMACS als maximale Überdeckung berechnet hat. Die anderen zwei Strecken gehen fünf Nautische Meilen nach innen und nach außen. Die Flugspur des Vermessungsflugzeugs wird durch GPS-Daten wiedergegeben.

Schließlich soll die Frage beantwortet werden, welches der genutzten Tools die tatsächliche Radarerfassung am besten abbildet. Dazu werden die exakten GPS-Daten mit den Sichtweitendiagrammen der verschiedenen Tools verglichen und es wird bestimmt, wie groß die Differenz zwischen den Tools ist bezüglich ihrer Genauigkeit. Um eine qualitative Aussage tätigen zu können, wurden zusätzlich vier weitere Radaranlagen ausgewählt, deren Sichtweitendiagramme in verschiedenen Höhen mit den drei Tools ausgewertet werden sollen (Abbildung 1).

Prinzip der Sichtweitenberechnung

Die Berechnung der Sichtweite einer Radaranlage ist simpler als gedacht. Sie bildet eine vereinfachte Darstellung der Reichweite einer Radaranlage, welche mit 2D-Algorithmen kalkuliert wird. Die Berechnung erfolgt durch optische Sichtverbindung (eng.: line of sight). Diese hängt vom hinterlegten Geländemodell, ab, wobei der Radarhorizont berücksichtigt wird. Dafür wird für die Erdkrümmung der Faktor $k = 1,33$ eingefügt. Dieser Wert wurde nach vielen Messungen als Standard bestimmt.

In Abbildung 2 [2] ist zu erkennen, dass die Sichtweitendiagramme (lila) durch die Erhebung der Alpen im Süden begrenzt ist. In Richtung Norden, wo das Gelände flacher ausgebildet ist, kann die Sichtweite auch weiter hinaus gehen.

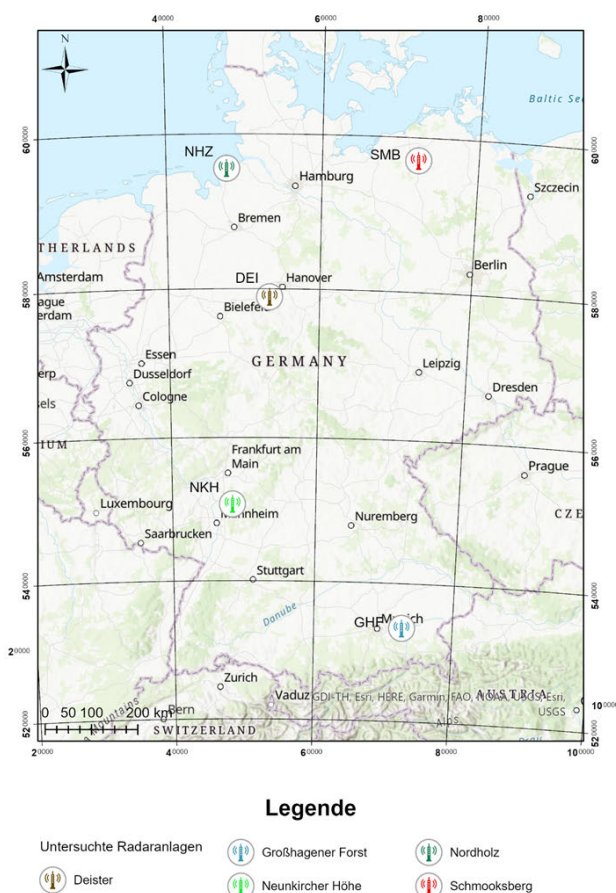


Abbildung 1: Standorte der untersuchten Radaranlagen (erstellt mit ArcGIS, Daten von DFS).



Abbildung 2: Reliefeinfluss durch die Alpen auf die Sichtweitendiagramme (lila; in den Höhen 5000, 10000 und 15000 Fuß über dem Meeresspiegel) [2].

Flugvermessung

Bei einer Flugvermessung einer Radaranlage sind nicht nur die GPS-Daten der Satellitenortung wichtig, sondern auch die Qualität der Radarerfassung bei jeder Umdrehung. Diese wird mit zunehmender Entfernung schlechter. Aus diesem Grund gibt es betriebliche Anforderungen, die besagen, dass die SSR-Entdeckungswahrscheinlichkeit (Radarerfassung) bei 97% liegen muss. Um ein Ziel (Luftfahrzeug) durch eine Radaranlage zu detektieren, muss es sich innerhalb der Erfassungsreichweite befinden.

Referenzsysteme

Zur Positionsbestimmung gibt es verschiedene Referenzsysteme. In dieser Arbeit werden folgende Referenzsysteme verwendet: Earth Gravitational Model 1996 (EGM96), European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) und World Geodetic System 1984 (WGS84).

Das EGM96 zeigt das Gravitationspotential der Erde und ist eine Annäherung an die orthometrische Höhe des Meeresspiegels, auch Geoid. Dieses ist definiert als Äquipotentialfläche der Erde. Eine Geoid Undulation ist der Höhenunterschied zwischen Äquipotentialfläche der Erde und dem Referenzellipsoid der Erde. Das ETRS89 basiert auf dem Referenzellipsoid, welches eine Annäherung an die Form der Erde ist und einer verformten Kugel gleicht. Es ist begrenzt auf das europäische/eurasische Gebiet. Das WGS84 entspricht ebenfalls dem Referenzellipsoid.

Je nach tatsächlicher Höhenausbildung der Erde unterscheidet sich das Referenzellipsoid zum Geoid um ± 100 m.

Stand der Forschung

In der DFS ist eine Analyse der drei Tools EMACS, SPx Radar Coverage Tool Pro und Predict auf Realitätstreue bisher nicht erfolgt und wird das erste Mal überprüft und durchgeführt.

In der Vergangenheit wurde die konventionelle Methode verwendet, um Sichtweitendiagramme zu erstellen. Mithilfe von Winkelmessinstrumenten wurde die Höhe der Hindernisse geschätzt. Die Entfernung zu den Hindernissen wurde von Karten abgelesen. Die Sichtweite der Radaranlage wurde manuell kalkuliert und per Hand als Diagramm gezeichnet. Jedoch ist diese Methode stark fehlerbehaftet durch Messfehler und menschliche Ungenauigkeiten [3].

Die neue Methode verwendet eine Software und ein digitales Geländemodell, um Sichtweitendiagramme zu generieren. Das digitale Geländemodell zeigt starke Auswirkungen auf die Variation der Sichtweitendiagramme. In der Arbeit von Józsa et al. (2014) [4] wird das Geländemodell EU-DEM im Vergleich zu SRTM1 und ASTER GDEM analysiert. Alle Geländemodelle zeigen Fehler durch lokale Ausreißer, Senken und Höhenpunkte. Diese wurden durch implementierende Vorverarbeitungen korrigiert, um die Vergleichbarkeit zu verbessern. Das Ergebnis ist, dass ASTER GDEM schlechte Darstellungen von Neigungsänderungen zeigt, während es im Vergleich zu EU-DEM die gleiche Genauigkeit bezüglich des horizontalen Abstands zeigt. Allerdings sind alle beide im Vergleich zu SRTM1 schlechter. SRTM1 besitzt die höchste Auflösung und wird als wertvolles Modell für Landoberflächenanalysen mit nahezu globaler Abdeckung beschrieben. In einer weiteren Arbeit von Štular & Eichert (2020) [5] wird diese Bewertung bestätigt. Das EU-DEM überschätzt den horizontalen Abstand, weshalb die Präzision 25 m beträgt, aber die Richtigkeit 90 m. Es wird somit angenommen, dass SRTM1 am besten für die Kalkulation der Sichtweitendiagramme geeignet ist.

Diskussion

Alle untersuchten Tools wurden analysiert mithilfe des Geoinformationssystems GeoMedia von Hexagon. Die Analyse zeigt deutliche Unterschiede in den Kalkulationen und Darstellungen der Sichtweitendiagramme.

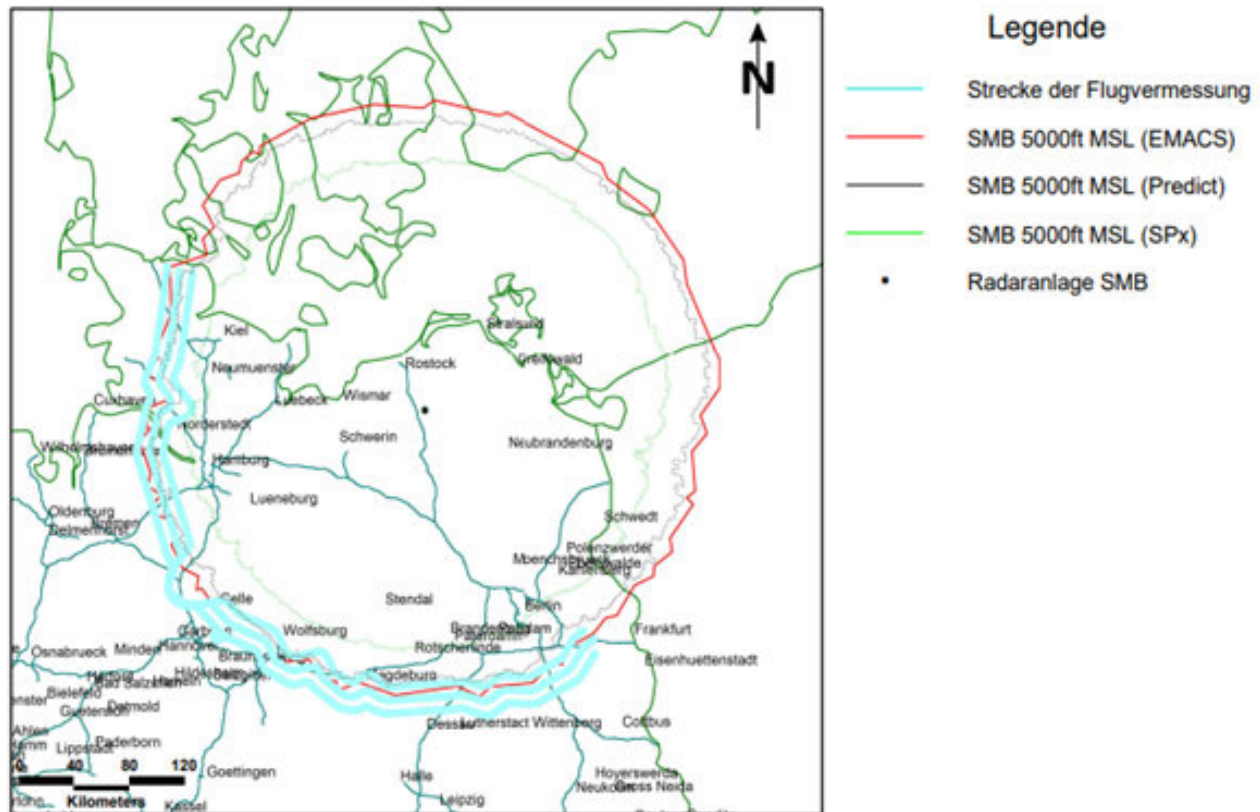


Abbildung 3: Karte der Sichtweitendiagramme von der SMB in 5000ft MSL und der Strecke der Flugvermessung (Hexagon, 2023).

Daraus kann nun eine Priorisierung eines Tools erfolgen. Durch die Flugvermessung wird bestätigt, dass die reale Radarerfassung weiter hinausreicht als die Kalkulation der Sichtweitendiagramme der drei Tools EMACS, SPx Radar Coverage Tool Pro und Predict.

Analyse der Richtigkeit

Die betrieblichen Anforderungen hinsichtlich der Entdeckungswahrscheinlichkeit der DFS besagen, dass die Radarerfassung mindestens 97% betragen muss. Bei der Überprüfung der Radardaten während der Flugvermessung zeigt sich, dass bei der äußeren Flugstrecke die Erfassung bei 97,25% liegt. Die mittlere Strecke entspricht dem maximalen errechneten Sichtweitendiagramm von EMACS. Aus diesem Grund wird belegt, dass die reale Radarerfassung besser als die errechneten Sichtweitendiagramme ist.

Diese Erkenntnis wird erwartet, da die Sichtweitendiagramme rein optisch kalkuliert werden und nicht alle realen Parameter in die Berechnung hineinfließen. Des Weiteren haben die Geländemodelle alle eine Auflösung von 30 Metern, jedoch spiegeln sie

nicht zu hundert Prozent die tatsächliche Geländeausbildung ab, was auch zu Ungenauigkeiten in der Berechnung führen kann. Am Beispiel der Radaranlage GHF ist deutlich zu erkennen, dass größere Hindernisse korrekterweise zu Begrenzungen der Sichtweite in allen drei Tools führen.

Die Ermittlung der Distanz zwischen dem Sichtweitendiagramm von EMACS und der äußeren Flugstrecke ergibt eine durchschnittliche Distanz von 4,8 Nautische Meilen (Abbildung 3). Im Süden verlief die Flugstrecke weiter entfernt als im Westen ausgehend von dem Sichtweitendiagramm von EMACS. Im Westen beträgt der Mittelwert 2,1 Nautische Meilen. Der Mittelwert im Süden beträgt 7 Nautische Meilen. Der durchschnittliche Radius des Sichtweitendiagramms von EMACS beträgt 110 Nautische Meilen. Somit ist dieses mindestens 6% schlechter als die reale Reichweite. Diese Erkenntnis kann nur für die Höhe 5000 Fuß über dem Meeresspiegel am Standort der Radaranlage SMB angenommen werden.

Es erfordert mehr Flugvermessungen an verschiedenen Radaranlagen und in verschiedenen Höhen, um aus der spezifischen Aussage eine allgemeine Aussage zu realisieren. Dennoch kann die Annahme

gemacht werden, dass die Sichtweitendiagramme durch die rein optische Kalkulation und ihrer vereinfachten Darstellung nicht die reale Radarreichweite nachbilden können, sondern nur einer Annäherung entsprechen.

Vergleich der Tools

In Tabelle 1 werden die Vor- und Nachteile der jeweiligen Tools beschrieben. Die schnelle und einfache Bedienung von SPx Radar Coverage Tool ergibt für das Tool viele Vorteile. Der Nachteil, dass es von den drei Tools die schlechteste Darstellung zeigt, überwiegt im Falle der Richtigkeit die vielen Vorzüge. Für eine vereinfachte Darstellung, wobei es nicht um die maximale Reichweite geht, sondern um einen schnellen Überblick, ist das Tool ausreichend. Um eine Annäherung an die reale Überdeckung herauszufinden, ist dieses Tool nicht zu empfehlen. Bei allen Auswertungen sollte beachtet werden, dass die reale Abbildung um mindestens 20% besser ist.

Dieses Tool von Cambridge Pixel kann nur Sichtweitendiagramme entwickeln.

Aus der Arbeit von Józsa et al. (2014) [4] erweist das Geländemodell SRTM1 die höchste Auflösung im Vergleich zu EU-DEM. Dementsprechend ist das Geländemodell nicht verantwortlich für den deutlichen Unterschied zu den anderen beiden Tools. Das Beispiel der Radaranlage GHF erweist zusätzlich den Nachweis, dass die Geländemodelle ähnliche Auflösungen besitzen. Nördlich von der Radaranlage GHF befindet sich eine flache Topografie. In diese Richtung ist das Sichtweitendiagramm von SPx Radar Coverage Tool ersichtlich begrenzter als bei den anderen Tools. Im Süden von der GHF taucht das Gebirge der Alpen auf. Da alle Tools mit der optischen Sichtverbindung kalkuliert werden, hören bei Antreffen eines Hindernisses alle Sichtweitendiagramme auf. Im Falle der Alpen ist das Ende aller drei Sichtweitendiagramme nahezu identisch.

Tabelle 1: Vergleich der Vor- und Nachteile der drei untersuchten Tools.

SPx Radar Coverage Tool Pro		Predict		EMACS	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
Sehr einfache Bedienung, da lediglich die Koordinaten, Höhe und Reichweite eingegeben werden	Schlechtestes Sichtweitendiagramm der drei genutzten Tools	Sichtweitendiagramm ist sehr akkurat	Läuft nur in einem Linux-System, deshalb wird eine Virtual-Box benötigt	Beste und akkurateste Darstellung der Sichtweite von den drei analysierten Tools	Bearbeitung in einem CAD-Programm
Bis zu zehn Radaranlagen gleichzeitig auswerten	Keine Bearbeitung im Tool möglich	Software erstellt durch EURO-CONTROL, weshalb es spezifisch für Flugsicherungen konzipiert wurde	Nacharbeit der exportierten Datei ist zu tätigen (z.B. mit GIMP)	Tool „FPDAM“ speziell von IDS für die DFS hergestellt	Sehr zeitaufwändig, da jedes Diagramm auf einem eigenen CAD-Level liegt
Alle und mehrere Höhen sind gleichzeitig möglich	Keine weiteren Analysen machbar	Schnelle Auswertung durch einfaches Anklicken der Radaranlage und Angabe der auszuwertenden Höhe	Auswertung funktioniert nur mit dem EGM96 Geoid	Möglichkeit der Bearbeitung der Sichtweitendiagramme mit Microstation	Viele Vor- und Nacharbeiten zu leisten
Geringer Arbeitsaufwand		Verschiedene Arten von Analysen machbar		Koordinatensystem ist frei wählbar	

Wenn der Fokus auf einer annähernd realen, maximalen Radarreichweite liegt, so bieten EMACS und Predict eine sehr gute Darstellung der Sichtweite. Zwischen diesen beiden Tools liegt die Differenz durchschnittlich bei 2%. Je nach Weiterverwendung hat jedes Tool seinen eigenen Nutzeffekt.

Die Bearbeitung mit Predict ist nur in Verbindung mit einer Virtualisierungssoftware möglich, weshalb sie nicht auf jedem Rechner anwendbar ist. Es muss auch beachtet werden, dass immer ein Dateitransfer ablaufen muss. Die Einstellungen zur Radaranlage und Erstellung der Sichtweitendiagramme ist simpel und schnell. Das Ergebnis ist nach der Analyse dieser Arbeit sehr gut. Der Arbeitsaufwand ist geringer als bei EMACS, solange der verfügbare Rechner eine Virtualisierungssoftware installiert hat. Die GeoTIFF-Dateien von Predict lassen sich leicht in Google Earth Pro anzeigen, wobei eine Vorarbeit geleistet werden muss. Dahingegen ist die Benutzeroberfläche von Predict sehr gut, da die Darstellung von mehreren Sichtweitendiagrammen gleichzeitig anschaulich hervorgebracht wird. Die Abbildung kann als Bildschirmaufnahme zur Dokumentation gespeichert werden. Des Weiteren muss beachtet werden, dass die Sichtverbindungskalkulation nur mit dem EGM96 Geoid als Referenz funktioniert. Bei der Umstellung zu WGS84 als Referenz funktioniert die Kalkulation fehlerhaft und teilweise gar nicht. Da der Export als Bild oder als GeoTIFF-Datei erfolgt, ist eine weitere Bearbeitung des Sichtweitendiagramms nicht ausführbar und Schmutzeffekte beeinträchtigen das Ergebnis. Schmutzeffekte sind kleinere Polygone um das Sichtweitendiagramm, die Fehlereffekte sind. Aus diesem Grund wird die Betrachtung der Analyse im Tool empfohlen.

Predict ist nicht nur ein Tool zur Erstellung von Sichtweitendiagrammen, sondern auch für viele sonstige Analysen, die für die Flugsicherung von Interesse sind.

Mit dem Tool EMACS lässt sich die beste Annäherung aus den drei analysierten Tools an die reale Radarreichweite abbilden. Die Bearbeitung nimmt mehr Zeit in Anspruch, jedoch wird auch das beste Resultat erzeugt. Die Sichtweitendiagramme lassen sich hingegen unkompliziert nach GeoMedia importieren. Dadurch sind Analysen von mehreren Radaranlagen möglich. Um die Überdeckung der Radaranlagen im Zuständigkeitsbereich der DFS zu überprüfen, eignet sich das Tool EMACS in Verbindung mit GeoMedia am besten. Ein weiteres Privileg von EMACS ist die Bearbeitung der Sichtweitendiagramme. Es kann ein Nachteil sein, dass EMACS nur mithilfe eines

CAD-Programms funktioniert, da es die Bearbeitung verlängert. Jedoch gewährt es auch die Möglichkeit die Diagramme von Schmutzeffekten zu befreien. In der DFS ist die Reichweite bis 200 Nautische Meilen von Belang, weil die Radarerfassung nicht viel weiter qualitativ verfügbar ist. Sollten die Sichtweitendiagramme in hohen Höhen eine größere Reichweite als 200 Nautische Meilen haben, so kann in Microstation das Diagramm als vollständiger 200-NM-Kreis ersetzt werden. Das bedeutet, dass bei der Analyse der Überdeckung in Höhen, wo das Sichtweitendiagramm größer als 200 Nautische Meilen ist, das Diagramm als ausgefüllter Kreis angezeigt wird. Diese Methode wird häufig bei Sichtweitendiagrammen in Höhen ab 25000 Fuß angewandt. Eine weitere Nützlichkeit ist die freie Auswahl eines Koordinatensystems. Mit EMACS können neben Predict auch weitere Analysen durchgeführt werden. Beispielsweise können Sichtweitendiagramme erstellt werden, die die elektromagnetischen Parameter miteinbeziehen.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, das beste Tool zur Erstellung von Sichtweitendiagrammen mit Einbeziehung der realen Radarreichweite zu bestimmen. Die Einstufung der Tools erfolgt nach dem Kriterium, dass das Tool der realen Radarreichweite am nächsten entsprechen soll. Die Distanz zur äußeren Flugstrecke ist dafür ausschlaggebend. In Tabelle 2 sind neben der Einstufung und der Distanz zur äußeren Flugstrecke auch die gemessene Distanz in Nautischen Meilen mitgelistet.

Fazit

Die GPS-Daten und Radardaten der Flugvermessung zeigen, dass die Radaranlage SMB eine weitere Erfassung hat als die berechnete Sichtweite der verwendeten Tools. Die betrieblichen Anforderungen

Tabelle 2: Einstufung der drei untersuchten Tools nach Realitätstreue.

Einstufung	1	2	3
Tool	EMACS	Predict	SPx
Ø Distanz [NM]	Zu Predict: + 1,86 Zu SPx: + 17,40	Zu EMACS: -1,86 Zu SPx: + 15,87	Zu EMACS: - 17,40 Zu Predict: - 15,87
Ø Distanz zur äußeren Flugstrecke [NM]	4,8	9,3	23,3

hinsichtlich der Entdeckungswahrscheinlichkeit werden erfüllt.

Von den drei analysierten Tools zeigt EMACS die akkurateste Sichtweite. An zweiter Stelle steht Predict mit einer geringeren Sichtweite von 1–10% gegenüber EMACS. Das SPx Radar Coverage Tool berechnet eine viel geringere Sichtweite von 20–30% als beide anderen Tools und zeigt eine begrenzte Sichtweite. Dabei ist das Geländemodell nicht entscheidend für den Unterschied zwischen den Tools. Nach der Analyse der Flugvermessung mit EMACS kann eine Verbesserung der Sichtweite der Radaranlage SMB in einer Höhe von 5000 Fuß über dem Meeresspiegel von 6% des Tools vorgenommen werden.

Im Allgemeinen kann bei allen kalkulierten Sichtweitendiagrammen davon ausgegangen werden, dass sie nicht die reale Radarreichweite und -erfassung abbilden können und eine reine Annäherung darstellen. Für die zukünftige Nutzung in der Flugsicherung bezüglich der Überprüfung der Überdeckung und der Auswahl von Standorten wird das Tool EMACS von IDS empfohlen.

Ausblick

Diese Arbeit ist eine Basis zur Analyse der Richtigkeit und Genauigkeit von Tools zur Erstellung von Sichtweitendiagrammen. Jedoch wurden nicht alle möglichen Analysen durchgeführt, die zu einem induktiven Schluss führen könnten. Die Auswertungen dieser Arbeiten beschränken sich auf die Höhen 5000, 10000 und 15000 Fuß. Eine weitere Analyse könnte niedrigere Höhen in Betracht ziehen. Denn wie sich bei den Tools EMACS und Predict zeigt, wird die Distanz mit zunehmender Höhe zwischen ihnen geringer. Somit stellt sich die Frage, ob die Distanz mit abnehmender Höhe steigt. Denn wie sich bei den Tools EMACS und Predict zeigt, nimmt die Differenz ihrer Vorhersagen bei der Betrachtung zunehmender Höhen zwischen 5000 ft und 15000 ft ab. Und somit stellt sich die Frage, ob sie dann auch mit abnehmender Höhe unterhalb 5000 ft zunehmen würde. Nicht zuletzt könnten die Sichtweitendiagramme von SPx in niedrigeren Höhen näher an die Darstellungen der anderen beiden Tools herangehen. Außerdem wäre es wissenswert, inwiefern die Kalkulation der Tools sich untereinander im Detail unterscheiden und welche genauen Auswirkungen bestimmte Parameter haben können.

Die Flugvermessung fand im Rahmen dieser Arbeit nur in einer Höhe statt und ist in ihrer Ferne begrenzt. Es wurde nur die Höhe von 5000 Fuß hinsichtlich der Radarerfassung betrachtet. Dementsprechend ist das Ergebnis daraus nur für diese Höhe verwertbar.

In kommenden Flugvermessungen soll die Flugstrecke weiter als 5 Nautische Meilen vom Sichtweitendiagramm hinausgehen, um die wirkliche Reichweite mit einer Entdeckungswahrscheinlichkeit von 97% herauszufinden. Denn in dieser Arbeit konnte nur bestätigt werden, dass sie mindestens 6% besser als die errechneten Sichtweiten ist. Außerdem ist es aufschlussreich, wenn die Flugvermessung in verschiedenen Höhen durchgeführt wird. Im Endergebnis wird sich zeigen, ob die 6% nur für eine Höhe von 5000 Fuß gilt oder ob sie auch in niedrigeren und höheren Höhen maßgeblich ist. Die Auswertung von Vermessungsflügen mittels Geoinformationstools schafft eine Verbesserung der Datengrundlage und kann zu neuen Analysemöglichkeiten führen.

Abkürzungen

ASTER GDEM	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model
CAD	Computer-Aided Design
DEI	Deister (Radaranlage)
DGN	Design (zwei-/dreidimensionale Zeichnung)
DTED2	Digital Terrain Elevation Data
EGM96	Earth Gravitational Model 1996
EMACS	Electromagnetic Control and Survey
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EU-DEM	European Digital Elevation Model
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation
Feet (ft)	Fuß
GeoTIFF	Geographic Tagged Image File Format (Rasterbild und Kartenprojektion)
GHF	Großhaagener Forst (Radaranlage)
GND	Ground (Höhe über Grund)
GPS	Global Positioning System
ICAO	International Civil Aviation Organization
IDS	Ingegneria dei Sistemi

KML	Keyhole Markup Language (geographische Daten)
MSL	Mean Sea Level (Höhe über dem Meeresspiegel)
NHZ	Nordholz (Radaranlage)
NKH	Neunkirchner Höhe (Radaranlage)
NM	Nautische Meilen (Seemeilen)
QNH	Höhenkorrekturwert (bezogen auf Normalnull)
Radar	Radar Detection And Ranging
SMB	Schmooksberg (Radaranlage)
SRTM1	Shuttle Radar Topography Mission (Auflösung von einer Bogensekunde)
WGS84	World Geodetic System 1984

Referenzen

- [1] Fessler, C. (2023). Analyse und Vergleich der Richtigkeit von Sichtweitendiagrammen, GPS-Daten und Radarerfassung unter Zuhilfenahme von Geoinformationstools. Nicht veröffentlichte Studienabschlussarbeit, Technische Universität Darmstadt.
- [2] Google Earth. Version 7.3.6. URL abgerufen am 15.08.2023 unter: https://www.google.com/intl/de_in/earth/
- [3] Gupta, P.K., Gupta, V. K. (2011). Radar Visibility Diagram for site selection. Bharat Electronics, 3.
- [4] Józsa, E., Fábrián, S., Kovács M. (2014). An evaluation of EU-DEM and SRTM1 in comparison with ASTER GDEM, SRTM3 and reference DEMs-geomorphometric approaches. Hungarian geographical bulletin, 117–125.
- [5] Štular, B., Eichert, S. (2020). Hilltop Sites with Early Medieval Military Finds in Eastern Alpine Area Reverse Engineering of the Predictive Modeling. In: Diesenberger, M., Eichert, S., Winckler, K. (ed.): Der Ostalpenraum im Frühmittelalter – Herrschaftsstrukturen, Raumorganisation und archäologisch-historischer Vergleich, Verlag der österreichischen Akademie der Wissenschaften, 213–230.

Studentische Abschlussarbeiten

DFS Dual Studierende & in DFS Fachbereichen betreute Studierende

Die im Folgenden nach Autoren in alphabetischer Reihenfolge gelisteten studentischen Abschlussarbeiten sind in der Zusammenarbeit der DFS mit Hochschulen und Universitäten entstanden und wurden im 2. Halbjahr abgeschlossen. Einige der Arbeiten enthalten einen Sperrvermerk, sodass eine Veröffentlichung der gesamten Arbeit nicht möglich ist. Die akademischen Ansprechpartner wurden daher, soweit bekannt, ergänzt.

Wie kann eine Tabuzone bei neuen Flugverfahren abgeschätzt werden? Entwicklung einer Methodik und Untersuchung von Einflussfaktoren auf potenzielle Konflikte im Parallelbahnbetrieb.

Robin Breidenbach

Bachelorarbeit, Frankfurt University of Applied Sciences, Abgabedatum: 28.05.2024, Prof. Dr. Anne Lange, Prof. Dr. Yvonne Ziegler

Für nähere Informationen zur Bachelorarbeit, wenden Sie sich bitte direkt an Herrn Breidenbach.

Anwendung von Reinforcement Learning zur Unterstützung von Fluglotsen in der Flugverkehrskontrolle

Eike Freiwald

Bachelorarbeit, Hochschule Darmstadt, Kolloquiumsdatum: 11.07.2024, Prof. Klaus Kasper

Mit zunehmender Globalisierung steigt der Luftverkehr weltweit immer mehr an. Gleichzeitig werden auch Forderungen nach mehr Umweltschutz und damit einhergehend mehr Effizienz gestellt. Flugsicherungsorganisationen arbeiten daher an Assistenzsystemen, die auch in Zukunft eine sichere und effiziente Abwicklung des steigenden Flugverkehrs ermöglichen sollen. Bei der Entwicklung dieser Systeme ist ein Kriterium, dass die Anwender den Entscheidungshilfen vertrauen und diese nachvollziehen können. Daher prüft diese Arbeit die Anwendung von tabellarischem Reinforcement Learning in solchen Systemen, da dieses im Gegensatz zum

Deep Reinforcement Learning eine bessere Erklärbarkeit aufweist. Sie gibt Einblicke in die Funktionsweisen und Methodiken der Flugverkehrskontrolle und des Reinforcement Learning, stellt Projekte vor, in denen bereits Reinforcement Learning für die Flugverkehrskontrolle erprobt wurde und zeigt auch besondere Herausforderungen auf, die beim Einsatz von Reinforcement Learning und künstlicher Intelligenz generell beachtet werden müssen. Auch Sicherheitsbedenken werden geäußert. Außerdem wird eine Fallstudie durchgeführt, bei der tabellarisches Reinforcement Learning für ein Assistenzsystem in der Anflugkontrolle genutzt werden soll. Als Ziel soll der richtige Zeitpunkt gewählt werden, an dem ein Flugzeug vom Gegenanflug zum Endanflug drehen muss, damit es optimal hinter einem vorausfliegenden Flugzeug positioniert ist. Die Fallstudie beinhaltet drei Schwierigkeitsstufen, die zunehmend komplexer werden. Zu Beginn muss ein bestimmter Abstand eingehalten werden, während im nächsten Schritt bereits Wirbelschleppenklassen berücksichtigt werden müssen. Zuletzt kommt noch ein Wind hinzu, der die Dynamik der Flugzeuge zusätzlich beeinflusst. Für das Training wurde eine eigene Umgebung entwickelt und ein tabellarischer Q-Learning Algorithmus verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass tabellarische Methoden weniger komplexe Entscheidungsprobleme erfolgreich lösen können. Die ersten beiden der drei Stufen konnten daher mit 100% bzw. 99% Erfolg gelöst werden. Mit zunehmender Komplexität wird die Zuverlässigkeit allerdings geringer, sodass in der dritten Stufe nur noch Ergebnisse von 85% korrektem Eindrehen erzielt werden konnten. Die Entscheidungsfindung ist dabei durch den verwendeten Algorithmus gut nachvollziehbar. Approximierende Algorithmen des Deep Reinforcement Learning weisen in der Erklärbarkeit und Zuverlässigkeit Mängel auf, können allerdings komplexere Sachverhalte lösen. Mit weiterem Forschungsaufwand, der Sicherheitsbedenken und sonstige Bedingungen für den Einsatz ausreichend klärt, hat Reinforcement Learning das Potential in der Flugverkehrskontrolle Anwendung zu finden.

Eine Anforderungserhebung und -kategorisierung für ein Projektportfoliomanagement Tool zur Nutzung in der Deutschen Flugsicherung

Jonas Kamperdicks

Bachelorarbeit, Abgabedatum: 02.07.2024, Frankfurt University of Applied Sciences, Prof. Dr. Anne Lange, Prof. Dr. Yvonne Ziegler

Die vorliegende Arbeit hat sich mit der Anforderungserhebung und anschließenden Kategorisierung der identifizierten Anforderungen nach dem Kano Modell beschäftigt. Dazu wurden sowohl qualitative als quantitative Forschungsmethoden eingesetzt. Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass durch die verwendete Methodik dieser Arbeit beide Bestandteile der Forschungsfrage beantwortet werden konnten. Durch die Expert*inneninterviews konnten insgesamt 58 Anforderungen an ein PPM Tool, in 13 thematischen Kategorien, zur Nutzung in der DFS identifiziert werden. Mit Hilfe des Kano Modells konnten diese Anforderungen hinsichtlich der Bedeutung für die Nutzer*innenzufriedenheit den Merkmalskategorien des Modells zugeordnet werden. Dabei überwiegt die Anzahl an positiven Merkmalen den Rückweisungs- und unerheblichen Merkmalen. Als Indikator für eine qualitative Anforderungserhebung spricht, dass keine festgestellte Anforderung als Rückweisungsmerkmal eingestuft wurde. Außerdem konnten die Anforderungen nach den Koeffizienten der Zufriedenheitsstiftung und Unzufriedenheitsstiftung dargestellt werden, sodass bei einer zukünftigen PPM Toolauswahl eine Priorisierung von zu erfüllenden Anforderungen vorgenommen werden kann.

Geografische Visualisierung von Messdaten des Landekurssendersignals eines Instrumentenlandesystems

Annalena Müller

Bachelorarbeit, Kolloquiumsdatum: 26.09.2024, Hochschule Darmstadt, Prof. Dr.-Ing. Antje Wirth, Prof. Dr.-Ing. Herbert Krauß

Zur sicheren Landung von Luftfahrzeugen, auch bei schlechter Sicht, betreibt die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH an den 15 internationalen Verkehrsflughäfen in Deutschland Instrumentenlandesysteme. Zur Gewährleistung der Funktionalität dieser Landesysteme muss das abgestrahlte Signal in regelmäßigen Intervallen vermessen und ausgewertet werden.

Ziel der Bachelorthesis ist die Entwicklung einer Software, die das Landekurssendersignal eines ILS koordinatenbasiert farblich auf einer Karte darstellt. Zusätzlich soll die Software die Option bieten für Bereiche zwischen den Koordinaten, die nicht vermessen wurden, eine Interpolation durchzuführen. Hierzu erfolgt neben dem eigentlichen Plot auch die Validierung von drei gängigen Interpolationsalgorithmen, indem die Ergebnisse dieser untereinander, mit der Messung und den charakteristischen Punkten aus den regelmäßigen Wartungen verglichen werden. Außerdem erfolgt die Analyse von auftretenden Reflektionen in der Nähe der Landebahn 25L am Frankfurter Flughafen.

Analyse der Pistenbelegungszeiten von landenden Luftfahrzeugen am Flughafen Berlin Brandenburg zur Identifikation und Bewertung von Maßnahmen zur Steigerung der Kapazität des Pistensystems

Simon Schmahl

Bachelorarbeit, Abgabedatum: 04.04.2024, Hochschule Worms, Prof. Dr. Richard Klophaus, Prof. Dr. Tobias Grosche

Obwohl der Flughafen Berlin derzeit nicht an der Kapazitätsgrenze operiert, ist die Pistenbelegungszeit landender Luftfahrzeuge zu Stoßzeiten und bei Veranstaltungen mit erhöhtem Verkehrsaufkommen ein limitierender Faktor für die Gesamtkapazität des Flughafens. Daher soll in der vorliegenden Arbeit identifiziert werden, welche Faktoren einen positiven bzw. negativen Einfluss auf die Pistenbelegungszeit haben. Außerdem werden bestehende Maßnahmen zur Reduzierung der Pistenbelegungszeit bewertet und zusätzliche Maßnahmen entwickelt.

Die Datenanalyse zeigt, dass Umweltbedingungen wie Sichtverhältnisse, die Wirbelschleppenkatégorie und der Flugzeugtyp sowie menschliche Einflussfaktoren und unterschiedliche Vorgaben der Fluggesellschaften an die Piloten einen deutlichen Einfluss auf die Pistenbelegungszeit haben. Bei der Piste 25L führt insbesondere die ungünstige Lage der Schnellabrollwege zu einer deutlich höheren durchschnittlichen Pistenbelegungszeit. Jedoch hat sich die Flughafengesellschaft, trotz eines erwarteten Passagierwachstums von 86 % bis 2042 im Vergleich zu 2023, gegen den Bau eines zusätzlichen Schnellabrollwegs für die Piste 25L entschieden.

Maßnahmen zur Reduzierung der Pistenbelegungszeit landender Luftfahrzeuge, wie die Einführung der „Runway Vacated Line“ und „High-Intensity-Runway-

Operations“ wurden bereits umgesetzt. Technologische Lösungen wie ein Dashboard zur Darstellung der Pistenbelegungszeit oder die Anwendung von maschinellem Lernen zur Vorhersage der Pistenbelegungszeit könnten ebenfalls hilfreich sein, wobei eine exakte Vorhersage nicht möglich sein wird, solange der Abrollvorgang eines Luftfahrzeugs nicht vollständig automatisiert ist.

Chancen- und Risikoanalyse für die Umstellung von einer CAD- zu GIS-basierten Radarkartenherstellung in der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH hinsichtlich Objekteditierung und Datenexport im GML-Format

Victoria Wabschitzka

Bachelorarbeit, Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt, Fakultät Kunststofftechnik und Vermessung, Abgabedatum: 14.08.2024, Ansprechpartner im DFS-Fachbereich GIS (Geo-Informationsdienst): Roman Schork

Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS) ist gemäß §27c Luftverkehrsgesetz (LuftVG) für die Sicherheit im deutschen Luftraum verantwortlich. Ihre Aufgaben umfassen die sichere, geordnete und flüssige Abwicklung des Luftverkehrs durch verschiedene Dienste wie Flugverkehrsdienste, Navigation, Kommunikation und Überwachung (vgl. § 27c Absatz 2 Satz 1 & 2 LuftVG – Einzelnorm 2024).

Eine präzise Visualisierung der Luftverkehrssituation ist essenziell für die Erfüllung der Flugverkehrskontrolldienste. Die DFS erstellt dafür akkurate Radarkarten mithilfe des CAD-Programms MicroStation. Jedoch werden bei einem Wechsel zu einer GIS-basierten Lösung Optimierungspotentiale bei der Radarkartenerstellung gesehen.

In einer vorangehenden Projektarbeit wurde bereits die Migration des Radarkartenherstellungs-Workflows von MicroStation zu QGIS untersucht und validiert. Die jetzt vorliegende Bachelorarbeit analysiert zusätzliche Funktionen zur Implementierung und Übertragung des Prozesses auf QGIS. Dabei werden bestehende Daten von der AddGIS-Oracle-DB in die PostGIS-DB überführt, sowie die generellen Zeichenwerkzeuge von QGIS getestet und mit MicroStation verglichen. Der GML-Export wird detailliert untersucht, und eine Chancen- und Risikoanalyse wird durchgeführt, um Optimierungspotentiale für die DFS daraus abzuleiten.

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: 26.02.2025

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 © 2025 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
Dr. Gerolf Ziegenhain,
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.

