

- Prototypische Implementierung höherer A-SMGCS-Funktionen in PHOENIX
- Das Ground Based Augmentation System (GBAS) am Flughafen Frankfurt
- Spracherkennung im Flugsicherungsumfeld
- Potential einer verbesserten Sichtweitenprognose durch Analyse von aktuellen Nebelfällen am Flughafen München
- Quantitative Analyse des erwarteten Bord-Boden-Kommunikationsumfangs bei sektorloser Flugverkehrskontrolle



Editorial – Ein Abspann

Dr. Volker Heil

Liebe Leserinnen und Leser!

Das Editorial gehört dieses Mal ans Ende des Hefts. Denn es ist ein Abspann. Dort würde es aber kaum jemand lesen, so wie die Zuschauer im Kino beim Abspann meist schon aufstehen, wenn der Produzent sich keine Tricks hat einfallen lassen, um das Publikum auch hier noch zu fesseln.

Fesseln kann und will ich Sie nicht. Ganz im Gegenteil. Es ist für mich Zeit, mich von Ihnen als Mitherausgeber der Zeitschrift „Innovation im Fokus“ zu verabschieden. Die rentengesetzliche Uhr läuft für mich ab – oder an, je nachdem, wie man das sieht. Jedes Ende ist ja bekanntlich ein Anfang. Ab dem 1. Juni 2015 bin ich im Ruhestand. Sie haben dann also Ruhe vor mir und, besonders die Autoren, vor meinen launigen Kommentaren. Redaktion und Herausgeber werden Sie dagegen nicht in Ruhe lassen. Doch ich spanne ab.

Zuvor möchte ich Ihnen für Ihre langjährige Treue und Unterstützung danken. Nur eine Zeitschrift die nachgefragt und gelesen wird, macht Sinn. Und natürlich ebenso vielen Dank für die zahllosen Beiträge, ohne die wir nur leere Blätter hätten, was nicht zu unserer Zielgruppe passen würde. Und dann noch ein großes Lob für das ausdauernde Redaktionsteam, ohne das es die Zeitschrift nicht gäbe und mit dem die Zusammenarbeit immer wieder Freude gemacht hat.

Der Wandel von „SE im Fokus“ über „TE im Fokus“ zu „Innovation im Fokus“ hat der Zeitschrift offenbar nicht geschadet. Sie hat sich innerlich und äußerlich verändert. Sie wird, am Feedback zu erkennen, offenbar gelesen. Die Suchmaschinen nehmen auch davon Notiz. Auf die Stichworte *Innovation* und *Fokus* kam heute sowohl bei Google als auch bei Bing auf Seite 2 der erste Treffer zur Zeitschrift. Und bei Google auf „Bilder“ umgeschaltet, ist das zweite Bild schon unser Titelblatt gewesen. Übrigens ohne Selbstbetrug, aus einem „gesäuberten“ System heraus.

Vielleicht ist noch eine andere „Statistik“ interessant. Was ist z. B. aus der ersten Ausgabe vom Dezember 1998 herausgekommen? Die Autoren haben sich sehr erfreulich entwickelt: Abteilungsleiter, Projektleiter, Vertreter in internationalen Gremien. Und die Themen? Mode-S, ADS-B, VAFORIT und Wirbelschleppen. Ich muss

wohl nicht viel zum Sachstand sagen. 50% realisierte Innovation nach dieser langen Zeit. Damit besteht der aktuelle Titel der Zeitschrift die Ex-post-Evaluation bezüglich „Innovation“. Aber ein Stück Ex-ante-Skepsis bleibt. 17 Jahre später immer noch kein ADS-B-Kundennutzen in Deutschland? Liegt es an der Zeitschrift? Waren die Autoren, die übrigens nie aufgegeben haben, nicht aktiv genug? Oder was? Schon Schumpeter gab die allgemeine Antwort: „Im Erkennen und Durchsetzen neuer Möglichkeiten auf wirtschaftlichem Gebiet liegt das Wesen der Unternehmerschaft.“ Das gilt auch für die DFS. Die Grundlagen sind da. Die Forschungs- und Validierungsergebnisse sind dokumentiert. Nun ist die DFS als Kundennutzen stiftender Technologieführer gefragt, als Innovator/Unternehmer. Für „DFS“ fand ich kürzlich zufällig: „design for sustainability“. Hoffentlich kein schlechtes Omen. Manchmal sind wir vielleicht zu „nach-haltig“, zu wenig kreativ zerstörend, wenn ich nochmals an Schumpeter erinnern darf. Um so etwas sinnstiftend kommunikativ anzuschieben, brauchen wir „Innovation im Fokus“, allerdings nicht nur als Zeitschrift, sondern auch als Bestandteil der Unternehmens- und Führungskultur.

Jetzt führen Günter Achatz und Ralf Bertsch, die die Innovation in der Organisationsbezeichnung sozusagen schon „im Schilde führen“, die Herausgeberschaft zu zweit weiter. Ich wünsche ihnen dabei eine glückliche Hand und viel Erfolg, durchaus auch im Interesse und zur Freude bzw. Erbauung der Autoren, Leserinnen und Leser, zu denen ich dank Internet ja weiterhin gehören darf.

Ihr Volker Heil



Inhaltsverzeichnis

Editorial – Ein Abspann	2
Dr. Volker Heil	
Übersicht der Artikel in diesem Heft	4
Prototypische Implementierung höherer A-SMGCS-Funktionen in PHOENIX	5
Dr. Benjamin Weiß, Hendrik Glaab, Dr. Felix Schmitt, Dr. Stephen Straub, Ralf Heidger	
Das Ground Based Augmentation System (GBAS) am Flughafen Frankfurt.....	13
Olaf Weber, Dr. Winfried Dunkel	
Spracherkennung im Flugsicherungsumfeld	23
Jörg Buxbaum, Hon. Prof. Dr. Hartmut Helmke (DLR), Oliver Rühl, Michael Slotty	
Potential einer verbesserten Sichtweitenprognose durch Analyse von aktuellen Nebelfällen am Flughafen München.....	31
Stefan Schwanke, Kjell zum Berge, Dr. Andreas Herber	
Quantitative Analyse des erwarteten Bord-Boden-Kommunikationsumfangs bei sektorloser Flugverkehrskontrolle	43
Dr. Jens Konopka	
Impressum	44

Liebe Leserinnen und Leser!

es erscheint vermutlich ungewöhnlich, dass am Beginn dieser Ausgabe auf einmal Anmerkungen des Redaktionsteams erscheinen. Aber außergewöhnliche Anlässe erfordern nun mal ein Abweichen vom Üblichen. Und keine Sorge, in Zukunft werden wir wieder allein unseren Autoren das Wort geben.

Auch wir können ein paar Zahlen beisteuern – als Herausgeber hat Dr. Heil diese Forschungszeitschrift mit seinen bisher über 30 Ausgaben und 160 Artikeln entscheidend geprägt. Ihm ist der Vorschlag zur Registrierung bei der Deutschen Bibliothek zu verdanken, seit dem die Zeitschrift eine offizielle Publikation ist und eine ISSN hat, ebenso wie viele Anregungen zu aufzugreifenden Themen oder den Artikeln selbst. Er stand immer bereit für eine kurze oder auch längere Diskussion potentieller Heftinhalte und war uns dabei ein konstruktiv-kritischer Rezensent wie anregender Sparringspartner. Dem Redaktionsteam hat er den Blick geschärft, um auch den nicht-DFS-Leser im Auge zu behalten und die Artikel möglichst adressatengerecht zu verfassen.

Mit seinem Wirken hinterlässt er Spuren, die wir auch in Zukunft fortführen möchten.

Wir möchten Ihn für seine Geduld und ausdauernde, nachhaltige Mitarbeit herzlich danken und wünschen ihm alles Gute für seinen Ruhestand und viel Erfolg beim „Abspannen“.

Ihr Redaktionsteam: Andreas Herber, Stefan Tenoort und Oliver HaBa

Übersicht der Artikel in diesem Heft

Dr. Benjamin Weiß, Hendrik Glaab, Dr. Felix Schmitt, Dr. Stephen Straub, Ralf Heidger: Prototypische Implementierung höherer A-SMGCS-Funktionen in PHOENIX – Das DFS-eigene Sensordatenverarbeitungssystem PHOENIX erfüllt unterschiedliche Aufgaben innerhalb und außerhalb der DFS. Eine zunehmend wichtige Rolle ist die als A-SMGCS. In den Kontrolltürmen von Hannover und München ist PHOENIX bereits als A-SMGCS im operationellen Einsatz und Anpassungen für Düsseldorf, Köln/Bonn sowie Stuttgart sind derzeit auf dem Weg. Funktionell ist das System dabei auf dem Stand von Level 2. Im Rahmen von SESAR entwickelt die DFS seit 2011 eine prototypische Erweiterung des PHOENIX-Systems um höhere A SMGCS-Funktionen. Der Artikel gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der DFS-Prototypentwicklung.

Olaf Weber, Dr. Winfried Dunkel: Das Ground Based Augmentation System (GBAS) am Flughafen Frankfurt - Im Sommer 2013 haben die DFS und die Fraport AG eine Kooperation über die Errichtung und Betrieb einer GBAS CAT I Anlage (GBAS=Ground Based Augmentation System) als Präzisionsanflugsystem am Flughafen Frankfurt abgeschlossen. Ein Jahr später, im Sommer des vergangenen Jahres, wurde GBAS in Frankfurt erstmals operationell genutzt. Dieser Artikel beschreibt kurz Aufbau und Funktionsweise einer GBAS-Station und gibt anschließend einen Überblick über das Projekt von der Standorterkundung bis zur betrieblichen Freigabe.

Jörg Buxbaum, Hon. Prof. Dr. Hartmut Helmke (DLR), Oliver Rühl, Michael Slotty: Spracherkennung im Flugsicherungsumfeld - Spracherkennung gehört zu den Technologien, denen seit Jahrzehnten eine rosige Zukunft beschieden wird. Heute ist Spracherkennung aus etlichen Produkten kaum mehr wegzudenken. Die Frage liegt deshalb nahe, ob diese Technologie nicht auch im Flugsicherungsumfeld erfolgreich eingesetzt werden kann. Dieser Artikel beleuchtet aus aktueller Sicht Chancen und Grenzen der Technologie und stellt den Sachstand ihrer Verwendung und Entwicklung bei der DFS vor.

Stefan Schwanke, Kjell zum Berge, Dr. Andreas Herber: Potential einer verbesserten Sichtweitenprognose durch Analyse von aktuellen Nebelfällen am Flughafen München – Der Flugverkehr wird durch verschiedene Wetterausprägungen negativ beeinflusst. Ein besonderes Phänomen vor allem im Nahbereich von Flughäfen bzw. auf dem Flughafengelände ist der Nebel. Der Artikel analysiert anhand der aktuellen Nebelsituation am Beispiel „Flughafen München“, welchen Nutzen eine Erfassung der aktuellen Nebelsituation als Grundlage für eine Sichtweitenprognose haben kann.

Dr. Jens Konopka: Quantitative Analyse des erwarteten Bord-Boden-Kommunikationsumfangs bei sektorloser Flugverkehrskontrolle - Flugverkehrskontrolle ist heute eng mit dem Vorhandensein von Sektoren verknüpft. Die Größe der Sektoren bestimmt sich in erster Linie dadurch, wie viele Luftfahrzeuge gleichzeitig von der Besetzung des Sektors sicher kontrolliert werden können. Auf tageszeitliche oder saisonale Schwankungen in der Verkehrsnachfrage kann aktuell nur durch Zusammenlegung oder (meist vertikale) Teilung von Sektoren reagiert werden. Ein Konzept, das flexiblere und gleichmäßigere Verteilung der Arbeitsbelastung von Fluglotsen ermöglichen soll, ist sektorloses Air Traffic Management, S-ATM. In diesem Artikel werden die ersten Ergebnisse aus Simulationen zum Umfang der Sprachkommunikation zwischen Bord und Boden vorgestellt. Sie werden als Ausgangspunkt dienen, um nach einer weiteren Verfeinerung der hier ebenfalls vorzustellenden Methodik und weiteren Simulationskampagnen, Anforderungen an ein S-ATM Sprachkommunikationssystem abzuleiten.

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

Prototypische Implementierung höherer A-SMGCS-Funktionen in PHOENIX

Dr. Benjamin Weiß, Hendrik Glaab, Dr. Felix Schmitt, Dr. Stephen Straub, Ralf Heidger

1. Einleitung

Ein *Advanced Surface Movement Guidance and Control System (A-SMGCS)* ist laut ICAO ein (technisches) System zur Unterstützung der Rollroutenplanung, Rollführung, Ortung und Kontrolle von Luft- und Bodenfahrzeugen auf Flugplätzen [1].

Die Funktionalitäten eines A-SMGCS werden traditionell in sogenannte *Level* eingeteilt [1][2][3]. Level 1 besteht dabei aus einer beschrifteten Bodenlagedarstellung auf Basis geeigneter Ortungssensorik (Bodenradare, Multilaterationssysteme etc.) sowie entsprechender Tracking-Algorithmen. Darauf aufbauend kommen in Level 2 Sicherheitsnetzfunktionen hinzu, die in erster Linie vor aktuellen oder sich anbahnenden *Runway Incursions* [4] warnen. In den weiteren („höheren“) Leveln wird das A-SMGCS erweitert um Funktionen wie Rollroutenplanung, zusätzliche Sicherheitsnetzfunktionen, und Rollführung durch teilautomatisierte Steuerung der Flughafenbefehrsung. Die höheren Funktionen werden manchmal auch als *Surface Management (SMAN)* bezeichnet [5], vor allem wenn der Planungsaspekt betont werden soll.

Das DFS-eigene Sensordatenverarbeitungssystem *PHOENIX* [6] erfüllt unterschiedliche Aufgaben innerhalb und außerhalb der DFS. Eine zunehmend wichtige Rolle ist die als A-SMGCS: In den Kontrolltürmen von Hannover und München ist PHOENIX bereits als A-SMGCS im operationellen Einsatz und Anpassungen für Düsseldorf, Köln/Bonn sowie Stuttgart sind derzeit auf dem Weg. Funktionell ist das System dabei auf dem Stand von Level 2. Seine Kernbestandteile sind ein neuartiger Ansatz zum integrierten Tracking für Luft- und Bodenlage [7] und ein darauf aufbauendes Flughafen-Sicherheitsnetz.

Im Rahmen von SESAR-Arbeitspaket 12 („Airport Systems“) entwickelt die DFS seit 2011 eine prototypische Erweiterung des PHOENIX-Systems um höhere A-SMGCS-Funktionen. Die Entwicklung folgt dabei in weiten Teilen dem Vorbild der *Integrated Tower Working Position (ITWP)* [8], eines seit 2006 unter Federführung von EUROCONTROL entstandenen Demonstrationssystems. Dieser Artikel gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der DFS-Prototypentwicklung.

2. Rollroutenplanung

Als Voraussetzung für zusätzliche Sicherheitsnetze (Abschnitt 3) oder Rollführung mittels teilautomatischer Befehrsungssteuerung (Abschnitt 4) muss das A-SMGCS die Routen über den Flugplatz kennen, denen die einzelnen Luftfahrzeuge nach Absicht der zuständigen Lotsen folgen sollen.

Da ein (Platz-, Boden- oder Vorfeld-) Lotse im Allgemeinen aber anderes zu tun hat, als Rollrouten in einen Computer einzugeben, muss die Routenplanungskomponente eines A-SMGCS den für den Lotsen hier entstehenden Aufwand möglichst klein halten. Der PHOENIX-Prototyp nähert sich diesem Ziel in zweierlei Art und Weise:

- (1) Das System plant die Routen zunächst vollautomatisch und schlägt sie dem Lotsen vor. Ziel ist dabei, dass diese automatische Planung die Lotsenarbeitsweise so gut widerspiegelt, dass sie möglichst oft direkt die „richtige“ Route vorschlägt, also die operationell sinnvollste Route, bzw. diejenige, die der Lotse in der aktuellen Situation tatsächlich verwenden möchte. Dieses Ziel wird wohl nie in hundert Prozent aller Fälle erreicht werden können, aber das System sollte dem so nahe kommen wie möglich.
- (2) Über die Benutzerschnittstelle kann der Lotse jede Route jederzeit editieren. Da ein vollständig manuelles Eingeben einer Route sehr zeitaufwändig wäre, unterstützt das System den Lotsen beim Editieren (semi-automatische Routenplanung). Ziel ist, den Editiervorgang so einfach und schnell wie möglich zu gestalten, und die Eingabe beliebiger Routen zu ermöglichen, so dass auch ungewöhnliche Situationen behandelt werden können.

Technische Grundlage sowohl für die automatische als auch für die semi-automatische Routenplanung ist eine exakte Datenmodellierung der Bewegungsfläche des Flugplatzes mit ihren Elementen. Die Hauptrolle spielt dabei das sogenannte *Aerodrome Surface Routing Network (ASRN)* [9], eine Aufteilung des Netzwerks der Mittellinien aller Pisten, Rollbahnen, Rollgassen und Abstellpositionen in *Knoten* (Verzweigungspunkte oder besondere Stellen wie z.B. Rollhalteorte) und *Kanten*

(Verbindungen zwischen den Knoten). Abbildung 1 zeigt einen beispielhaften Ausschnitt aus einem ASRN (für den Flughafen Hamburg).



Abb. 1: Ein Routenplanungsnetzwerk (ASRN); Knoten dargestellt als gelbe Kreise, Kanten als gelbe, weiße und schwarze Linien (gelb und weiß: Verbindungen entlang realer Bodenmarkierungen; schwarz: zusätzliche Verbindungen ohne zugrundeliegende Bodenmarkierung)

Zur Vorbereitung der Routenberechnung kann das ASRN in einen *Graphen* im Sinne der *Graphentheorie* überführt werden. Dadurch wird das geometrische Routenfindungsproblem abstrahiert zu einem *Kürzester-Pfad-Problem* [10]. Mit Hilfe von Algorithmen ähnlich denen in Straßen-Navigationssystemen können Pfade durch den Graphen berechnet werden, die optimal sind bezüglich einer wählbaren Kostenfunktion. Im einfachsten Fall kann diese Kostenfunktion so gewählt werden, dass Pfade entsprechend der geometrisch kürzesten Routen gefunden werden. Darüber hinaus können in der Kostenfunktion auch weitere Kriterien berücksichtigt werden, wie z.B. aktuelle Rollbahnsperren, luftfahrzeugtypspezifische Nutzungseinschränkungen bestimmter Gebiete, bevorzugte Fahrtrichtungen entlang bestimmter Rollbahnen, oder bevorzugte Standardrouten für bestimmte Arten von Bewegungen (etwa „Routenführung von Abstellposition X zu Piste Y standardmäßig über Rollbahnen A und B“).

Eine der Herausforderungen bei der Gestaltung des Graphen und der Pfadsuchalgorithmen besteht darin, dass sowohl die jeweils aktuelle Position des (Luft- oder Boden-)Fahrzeugs auf dem ASRN als auch die weiteren Wegpunkte, durch welche die Route hindurchführen muss (z.B. Rollhalteorte, oder vom Lotsen manuell vorgegebene Wegpunkte) nicht immer eindeutig sind: Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, liegen benachbarte ASRN-Elemente oft sehr nah beieinander, so dass die begrenzte Genauigkeit der Ortungssensorik oder eines Mausklicks im Allgemeinen keine klare Zuordnung zu einem einzelnen Element erlaubt. Eine weitere Herausforderung liegt darin, dass die Routenplanung auch die Richtung berücksichtigen muss, in die ein Flugzeug aktuell ausgerichtet ist.

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für einen richtungs-sensitiven Graphen, in dem räumliche Positionen auf dem ASRN jeweils durch mehrere Knoten entsprechend der Durchquerungsrichtungen dargestellt werden.

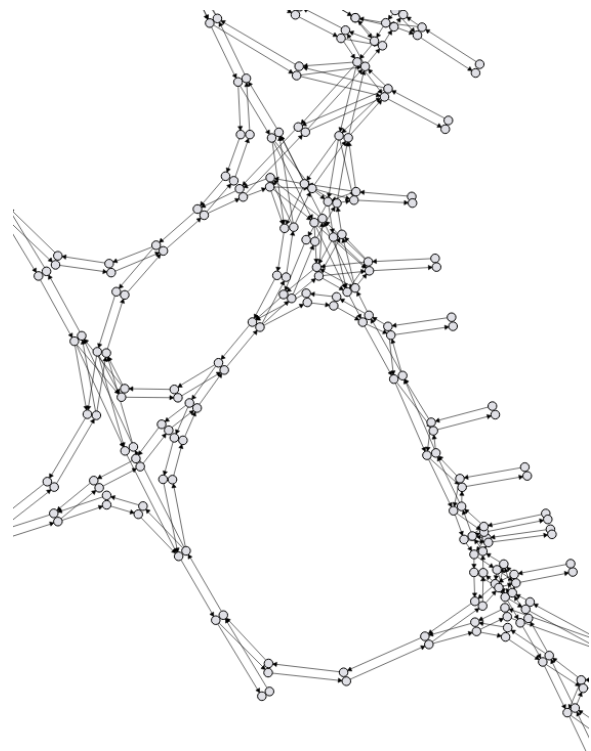


Abb. 2: Ein ASRN-basierter Graph für die Routenplanung

Die automatische Routenplanung erzeugt für Abflüge Routen von der im elektronischen Flugstreifen (z.B. *SHOWTIME-TFDPS* [11]) eingetragenen Abstellposition über einen Rollhalteort bis hin zur entfernten Schwelle der im Flugstreifen vorgesehenen Piste. Wenn nötig umfasst die Route auch das Zurückstoßen (Push-Back). Umgekehrt erhalten ankommende Flüge Routen von der

vorgesehenen Landeschwelle über einen Abrollweg bis hin zu ihrer Abstellposition. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für eine Route von der Abstellposition bis zum Aufrollen auf die Piste.



Abb. 3: Eine geplante Rollroute in der Bodenlagedarstellung des PHOENIX-Prototypen

Falls die automatisch erzeugte, angezeigte Route der Absicht des Lotsen nicht entspricht, kann sie auf unterschiedliche Weise editiert werden. Der Lotse kann die Darstellung der Route in PHOENIX direkt graphisch bearbeiten, beispielsweise durch Verziehen der Route von einer Rollbahn auf eine andere (Drag&Drop). Darüber hinaus kann die Route auch durch menübasierte Eingaben im elektronischen Flugstreifen beeinflusst werden, z.B. durch Auswählen eines anderen Rollhalteorts oder einer anderen Abstellposition.

Die vom Lotsen im elektronischen Flugstreifen eingegebenen Freigaben wie „Taxi“, „Line up“ oder „Takeoff“ erlauben dem A-SMGCS, die zugehörige Route einzuteilen in einen *freigegebenen* und einen *noch nicht freigegebenen* Abschnitt. Diese Einteilung wird in der Benutzeroberfläche angezeigt (Beispiel in Abbildung 4), und ist eine wichtige Grundlage für die im folgenden Abschnitt 3 beschriebenen Sicherheitsnetzfunktionen.

Während sich ein Luft- oder Bodenfahrzeug entlang der Route über den Flugplatz bewegt, verfolgt das A-SMGCS mit Hilfe der Ortungssensorik kontinuierlich seine Position, so dass die angezeigte Route immer an der

aktuellen Position beginnt. Im Fall einer Abweichung von der Route wird entweder eine Warnung ausgegeben, um den Lotsen auf die Situation aufmerksam zu machen (siehe Abschnitt 3), oder die Route wird automatisch von der veränderten Position aus neu geplant. Letzteres kann vor allem dann sinnvoll sein, wenn ein gelandetes Flugzeug einen anderen Abrollweg nimmt als erwartet: Da die Wahl des Abrollwegs häufig der Entscheidung des Piloten überlassen bleibt (und vom nicht immer im Voraus bekannten Bremsweg des Flugzeugs abhängt), müssen sich Lotse und A-SMGCS flexibel an diese Wahl anpassen können.



Abb. 4: Die verbleibende Route eines rollenden Flugzeugs, unterteilt in den aktuell freigegebenen Abschnitt (durchgezogene Linie) und den noch nicht freigegebenen Abschnitt (gestrichelte Linie)

3. Sicherheitsnetzfunktionen

Das „klassische“ Sicherheitsnetz aus A-SMGCS Level 2 – manchmal auch als *Runway Incursion Monitoring System (RIMS)* bezeichnet – arbeitet rein auf Basis der Ortungsdaten. Die in einem „höheren“ A-SMGCS zusätzlich verfügbaren Informationen, wie die Lotseneingaben in den elektronischen Flugstreifen und die geplanten Rollrouten, ermöglichen weitere, das RIMS ergänzende Sicherheitsnetzfunktionen. Ein wesentliches Ziel ist dabei, den Lotsen vor einer drohenden Runway Incursion schon zu einem früheren Zeitpunkt zu warnen, als es das RIMS nur mit Hilfe der Ortungsdaten tun kann.

Die SESAR-Arbeiten an zusätzlichen A-SMGCS-Sicherheitsnetzfunktionen (stark beeinflusst durch die Vorarbeiten an der EUROCONTROL ITWP) sind unterteilt in zwei Bereiche, genannt *Conflicting ATC Clearances (CATC)* und *Conformance Monitoring Alerts for Controllers (CMAC)* [12]. CATC zielt darauf ab, den Lotsen frühzeitig vor möglichen Widersprüchen zwischen seinen Freigaben zu warnen, während CMAC überwacht, ob das Verhalten der Luft- und Bodenfahrzeugführer im Einklang mit den erteilten Freigaben steht oder nicht.

Das CATC-System verarbeitet Ortungsinformationen, die erteilten Freigaben und (Teile der) geplanten Rollrouten, und überprüft kontinuierlich, ob zwei erteilte Freigaben zu einem Konflikt auf einer Piste führen könnten. Ein Beispiel ist in Abbildung 5 dargestellt: Ein Flugzeug erhält die Freigabe zum Überqueren der Piste vor einem anderen Flugzeug, das gleichzeitig eine „Takeoff“-Freigabe für diese Piste besitzt.



Abb. 5: CATC-Warnung „Cross-Freigabe gegen Takeoff-Freigabe“ (als gelbe Kopfzeile im Label)

Abbildung 6 zeigt ein zweites Beispiel, bei dem gleichzeitig eine „Line-Up“- und eine Landefreigabe für dieselbe Piste erteilt wurden.

Die CATC-Warnung erscheint typischerweise sofort nachdem die zweite beteiligte Freigabe in den elektronischen Flugstreifen eingegeben wird. Zusätzlich oder alternativ kann auch eine Vorhersage im Streifen angezeigt werden, die sichtbar macht, ob die *nächste*

ausstehende Freigabe aktuell zu einer CATC-Warnung führen würde oder nicht.



Abb. 6: CATC-Warnung „Line-Up-Freigabe gegen Land-Freigabe“

Wie das CATC-System verarbeitet auch das CMAC-System sowohl Ortungsinformationen als auch Freigaben und geplante Rollrouten. Es überprüft kontinuierlich, ob das beobachtete Verhalten der Luft- und Bodenfahrzeuge von den erteilten Freigaben abweicht. Beispielsweise werden Abweichungen von der freigegebenen Rollroute wie in Abbildung 7 erkannt, oder ein Weiterfahren entlang der geplanten Route ohne entsprechende Freigabe wie in Abbildung 8.



Abb. 7: CMAC-Warnung „Abweichung von der freigegebenen Route“

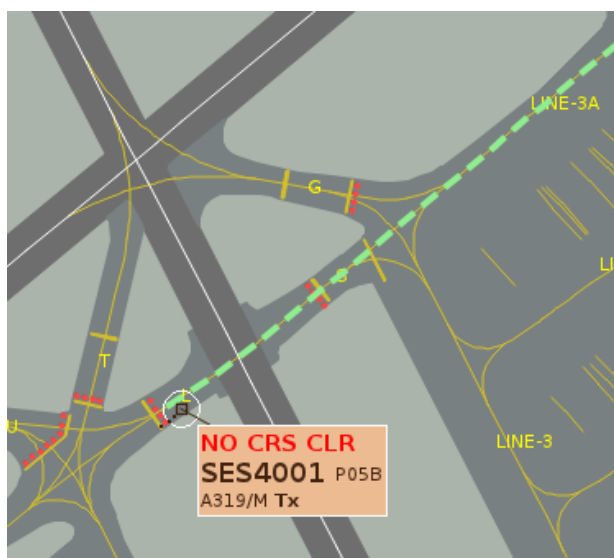


Abb. 8: CMAC-Alarm „Überqueren der Piste ohne Freigabe“

4. Befeuerungssteuerung

Neben den zusätzlichen Sicherheitsnetzen ist eine weitere Anwendungsmöglichkeit für Freigabe- und Routeninformationen im A-SMGCS die Unterstützung des Lotsen bei der Steuerung von Elementen der Flughafenbefeuerung (*Airfield Ground Lighting, AGL*). Insbesondere *Haltebalken* (Stop Bars) können vom System



Abb. 9: Vor dem mit einer „Cross Runway“-Freigabe ausgestatteten Flugzeug wird der Haltebalken automatisch ausgeschaltet (graue Kreise); später wird er automatisch wieder aktiviert, sobald das Flugzeug ihn passiert hat

entsprechend der erteilten Freigaben automatisch geschaltet werden. Dabei sind verschiedene Schaltungsstrategien vorstellbar; beispielsweise könnte – für größtmögliche Sicherheit – jeder Haltebalken zunächst immer angeschaltet sein, und vom A-SMGCS vorübergehend ausgeschaltet werden, solange mindestens ein Luft- oder Bodenfahrzeug eine Freigabe zum Überfahren des Haltebalkens besitzt. Abbildung 9 zeigt ein Beispiel.

Ein vielversprechendes Konzept zur Rollführung mittels dynamischer Schaltung der Rollbahn-Mittellinienbefeuerung ist als „Follow the Greens“ bekannt geworden [13]. Das A-SMGCS schaltet dabei Segmente der Rollbahn-Mittellinienbefeuerung dynamisch vor rollendem Verkehr entlang der freigegebenen Route an und dahinter wieder aus, so dass die grünen Lampen vor dem Flugzeug dem Piloten den richtigen Weg weisen. Das Übermitteln der Rollroute per Sprechfunk kann dann unter Umständen entfallen; Lotse, Pilot und Funkfrequenz können entlastet werden; und der Durchsatz des Flughafens bei schlechten Sichtbedingungen kann deutlich erhöht werden [14]. Ein Beispiel ist in Abbildung 10 dargestellt.



Abb. 10: Rollführung zweier Flugzeuge durch vor ihnen aktivierte Segmente der Mittellinienbefeuerung (grüne Lampen)

Als dritte Art von Befeuerungssteuerung umfasst der PHOENIX-Prototyp auch eine grobe Nachbildung („Mockup“) der Software-Seite von *Runway Status Lights (RWSL)* [15], einem ursprünglich bei der amerikanischen FAA entwickelten Konzept. RWSL beinhaltet zusätzliche Befeuerungselemente auf und um Pisten, die vollautomatisch auf Basis von Ortungsdaten an- und ausgeschaltet werden, um die Sicherheit von Start- und

Landevorgängen zu erhöhen. Beispielsweise werden rote Lampen auf Aufrollbahnen aktiviert, wenn das RWSL-System einen Start- oder Landevorgang auf der zugehörigen Piste erkennt. RWSL zielt auf eine direkte Warnung an den Piloten oder Bodenfahrzeugführer vor möglichen Gefahren, ohne „Umweg“ über den Lotsen. Im Rahmen von SESAR wird damit experimentiert, den Status der RWSL-Elemente zusätzlich in der Bodenlagedarstellung anzuzeigen, um den Lotsen über die Aktivität des RWSL-Systems zu informieren. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel.



Abb. 11: Aktivierte RWSL-Segmente (rote Linien) zum Schutz eines landenden Flugzeugs

5. Validierungen

Eine zentrale Triebfeder hinter der Prototypentwicklung ist die Unterstützung von Validierungen operationeller Konzepte, die im Rahmen von SESAR-Arbeitspaket 6 („Airport Operations“) durchgeführt werden. Eine erste Version des Prototypen diente als Kernkomponente der Validierungsplattform in der Validierung VP438, einer gemeinsam von DLR und DFS durchgeführten *Shadow Mode*-Validierung zu CATC im November 2012 am Flughafen Hamburg (Abbildung 12). Elf Lotsen bewerteten im Laufe einer Woche die operationellen Auswirkungen der verschiedenen, absichtlich provozierten CATC-Warnungen und der (gegenüber vorangegangenen CATC-Validierungen neu eingeführten) CATC-Vorhersage, mit mehrheitlich positiver Resonanz [16][17].



Abb. 12: SESAR-Validierung VP438 zu CATC

Der Prototyp aus der Validierung VP438 war die Keimzelle weiterer Entwicklungen nach dem Vorbild der EUROCONTROL ITWP, wobei das Team hinter der ITWP aktiv zur Seite stand und Erfahrungen sowie operationelle Expertise einbrachte. Das vorläufige Ergebnis dieser Weiterentwicklung kam im November 2014 bei Validierung VP678 in Brétigny (Abbildung 13) zum Einsatz.



Abb. 13: SESAR-Validierung VP678 zur A-CWP

Thema dieser Validierung war die sogenannte *Advanced (Tower) Controller Working Position (A-CWP)*, ein SESAR-Ansatz zur Integration von diversen Funktionalitäten (u.a. elektronische Flugstreifen, Luft- und Bodenlagedarstellung, Rollroutenplanung, CATC, CMAC,

automatisches Schalten von Haltebalken und Mittellinien-befuerung, RWSL, Übermittlung von Rollfreigaben über Datenlink) in einer einheitlichen Benutzeroberfläche. In einer Reihe von Echtzeitsimulationen im Laufe einer Woche wurde die Benutzbarkeit des gemeinsam von DFS und FREQUENTIS bereitgestellten A-CWP-Prototypen untersucht und Erkenntnisse über seine aktuellen Stärken und Schwächen gesammelt [18][19].

6. Fazit und Ausblick

Die DFS nutzt das SESAR-Arbeitspaket 12 zur prototypischen Erweiterung des PHOENIX-A-SMGCS um „höhere“ Funktionen wie Rollroutenplanung, zusätzliche Sicherheitsnetze, und Mechanismen zur Automatisierung der Befeuungssteuerung. Der Prototyp wird im Rahmen der laufenden SESAR-Aktivitäten kontinuierlich weiterentwickelt, an neue Erkenntnisse sowie an sich wandelnde SESAR-Anforderungen angepasst, und zur Unterstützung operationeller Validierungen verwendet. Als nächster Meilenstein ist eine Validierung in der Langener Tower-Simulationsplattform *TOSIM* für Ende 2015 vorgesehen.

Ein A-SMGCS mit höheren Funktionen ist ein komplexes System aus vielen interagierenden Einzelteilen, und seine Entwicklung ist ein dementsprechend aufwändiges Unterfangen. In weiten Teilen ist ein gemeinsames Verständnis der europäischen „Flugsicherungs-Gemeinde“ über das genaue „was“ und „wie“ der höheren A-SMGCS-Funktionen erst noch im Entstehen. Eine weitergehende Standardisierung ist wünschenswert, und wird von EUROCAE Working Group 41 auch derzeit in Angriff genommen. Die höheren A-SMGCS-Funktionen sind zum Teil mit veränderten Betriebsverfahren verbunden, die ebenfalls eine Standardisierung benötigen (z.B. „Follow the Greens“). Um ein möglichst optimal benutzbares und an lokale Anforderungen angepasstes System zu entwickeln, ist eine iterative Vorgehensweise mit regelmäßiger Beteiligung der späteren Nutzer (Lotsen) zwingend. In einigen Bereichen besteht noch grundsätzlicher Forschungsbedarf, beispielsweise zu Anforderungen und Algorithmen für verkehrssensitiv optimierte Routenvorschläge [20].

Der DFS-Prototyp ist ein Mittel zur Untersuchung der höheren A-SMGCS-Funktionen, ein Beitrag zu ihrem weiteren Heranreifen im europäischen Kontext, und die mögliche Basis einer Weiterentwicklung zur Produktreihe im Rahmen der PHOENIX-Produktfamilie.

Referenzen

- [1] ICAO: Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual. Doc 9830, 2004.
- [2] EUROCONTROL: Definition of A-SMGCS Implementation Levels. 2005.
- [3] EUROCAE: Minimum Aviation System Performance Specification for Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Levels 1 and 2. ED-87B, 2008.
- [4] ICAO: Manual on the Prevention of Runway Incursions. Doc 9870, 2007.
- [5] Dr. Jörg Bergner, Thomas Rüggeberg, Dr. Andreas Herber: AMAN, DMAN, CMAN, SMAN, XMAN... Ein Alphabet der ATM-Planungssysteme. In TE im Fokus 1/13, DFS, 2013.
- [6] Ralf Heidger: The PHOENIX White Paper. Version 5.0, DFS, 2014.
- [7] Klaus Pourvoyeur, Adolf Mathias, Ralf Heidger: Multi-Sensor Data-Fusion for Combined Air and Ground Situation Awareness. In International Symposium on Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (ESAVS), 2010.
- [8] EUROCONTROL: ITWP project website. http://www.eurocontrol.int/eec/public/standard_page/proj_ITWP.html
- [9] EUROCAE: User Requirements for Aerodrome Mapping Information. ED-99C, 2011.
- [10] Edsger W. Dijkstra: A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. In Numerische Mathematik, Band 1, Springer, 1959.
- [11] Ralf Heidger, Federico Centarti. The DFS-SHOWTIME-TFDPS White Paper. Version 1.5, DFS, 2012.
- [12] Stéphane Dubuisson, Roger Lane, Marc Bonnier, Haude Hermand, Marcus Biella, Marc-Antoine Laclautre, Thierry Virion: Interim (Final) OSED for Conflicting ATC Clearances and Conformance Monitoring for Controllers. P06.07.01 D32, SESAR Extranet, 2014.
- [13] Astrid Oehme, Steffen Böttcher, Thomas Lau, Nina Becker, Julian Heinsch, Susanne Schacht, Boris Langer, Stephan Kocks: Concept of Operations iPort:ROLF. 2010.
- [14] Björn Daniel Vieten, Karsten Straube, Marco Pasciuto, Marcus Biella, Marcus Rossbach, Michael Oberauer, Roland Becker, Jürgen Teutsch: Validation exercise Phase 1 exe 649 (AGL – SEAC). P06.07.03 D62, SESAR Extranet, 2014.
- [15] Laëtitia Mabilieu, Christelle Pianetti, Marc-Antoine Laclautre, Magali Kintzler, Christophe Hardy, Pierre-Marie Favier-Fray, Frédérique Ayache, Marie Wach,

Guillaume Auquier, Roland Becker: Operational Service and Environment Definition (OSD) for RWSL. P06.07.01 D07, SESAR Extranet, 2012.

- [16] Marcus Biella, Karsten Straube, Marcus Helms, Stephen Straub, Benjamin Weiß, Felix Schmitt, Heribert Lafferton, Stéphane Dubuisson, Roger Lane: How Can a Future Safety Net Successfully Detect Conflicting ATC Clearances – Yet Remain Inconspicuous to the Tower Runway Controller? First Results from a SESAR Exercise at Hamburg Airport. In 10th International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics: Applications and Services (EPCE), 2013.
- [17] Benjamin Weiß, Federico Centarti, Felix Schmitt, Stephen Straub: Route-Based Detection of Conflicting ATC Clearances on Airports. In International Symposium on Enhanced Solutions for Aircraft and Vehicle Surveillance Applications (ESAVS), 2013.
- [18] Monica Chis, Stefan Loitfelder, Nicolas Klein, Marc Bonnier, Roger Lane, Mohamed Ellejmi: VALR - EXE VP-678 (GENESIS). P06.09.02 D118, SESAR Extranet, to appear.
- [19] Mohamed Ellejmi, Benjamin Weiß, Felix Schmitt, Stephen Straub: Integration of a Routing Tool in an Advanced Airport Controller Working Position. In 15th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO), Aviation Forum 2015, to appear.
- [20] Jason A. D. Atkin, Edmund K. Burke, Stefan Ravizza: The Airport Ground Movement Problem: Past and Current Research and Future Directions. In 4th International Conference on Research in Air Transportation (ICRAT), 2010.

Abkürzungen

A-CWP	Advanced (Tower) Controller Working Position
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control System
AGL	Airfield Ground Lighting
ASRN	Aerodrome Surface Routing Network
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
CATC	Conflicting ATC Clearances
CMAC	Conformance Monitoring Alerts for Controllers
CWP	Controller Working Position
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
FAA	Federal Aviation Administration
ICAO	International Civil Aviation Organization
ITWP	Integrated Tower Working Position (von EUROCONTROL)
RIMS	Runway Incursion Monitoring System
RWSL	Runway Status Lights
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme
SMAN	Surface Management
TFDPS	Tower Flight Data Processing System
TOSIM	Echtzeit-Towersimulationsplattform der DFS

Das Ground Based Augmentation System (GBAS) am Flughafen Frankfurt

Olaf Weber, Dr. Winfried Dunkel

Einleitung

Im Sommer 2013 haben die DFS und die Fraport AG eine Kooperation über die Errichtung und Betrieb einer GBAS CAT I Anlage (GBAS=Ground Based Augmentation System) als Präzisionsanflugsystem am Flughafen Frankfurt abgeschlossen. Ein Jahr später, im Sommer des vergangenen Jahres, wurde GBAS in Frankfurt erstmals operationell genutzt. Dieser Artikel beschreibt kurz Aufbau und Funktionsweise einer GBAS-Station und gibt anschließend einen Überblick über das Projekt von der Standorterkundung bis zur betrieblichen Freigabe.

Technik

Zurzeit betreibt die DFS insgesamt zwei betrieblich genutzte GBAS-Anlagen an den Flughäfen Bremen und Frankfurt. Die Anlage in Bremen wurde bereits im Februar 2012 freigegeben und war zu diesem Zeitpunkt weltweit das erste System, das uneingeschränkt betrieblich nutzbar war. Sowohl in Bremen als auch in Frankfurt handelt es sich um das Modell SLS-4000 des Herstellers Honeywell, das auch derzeit das einzige System mit einem FAA System Design Approval (SDA) und deutscher Musterzulassung des Bundesluftfahrtamts für Flugsicherung (BAF) ist.

Hintergrund: was ist GBAS?

GBAS ist ein Präzisionsanflugsystem, das die Daten des satellitengestützten Systems GPS nutzt. GBAS korrigiert die verbliebene GPS-Ungenauigkeit mit dem sogenannten DGPS-Verfahren durch die Ausstrahlung von Korrekturdaten der exakt vermessenen Bodenstationen. Diese Korrekturdaten werden dann in den landenden Flugzeugen verarbeitet.

Nach [4], Details siehe Erläuterungen im Artikel

Eine GBAS-Station besteht im Falle der SLS-4000 im Wesentlichen aus den nachfolgenden Komponenten (s. Abbildung 1):

- 4 GPS-Empfänger mit Antennen genannt Remote Satellite Measurement Unit (RSMU)
- VDB Sendeantenne (VHF Data Broadcast Antenna)
- 19" Schrank, in dem 4 Computer (paarweise zu zwei Kanälen zusammengefasst) sowie 2 VDB-Sender und 2 VDB-Empfänger integriert sind

Neben diesen technischen Komponenten besitzt eine GBAS-Bodenstation im Kern eine umfangreiche Integritätsüberwachung, die für die Fehlerfreiheit der gesendeten Korrekturen sorgt. Die etwa 30

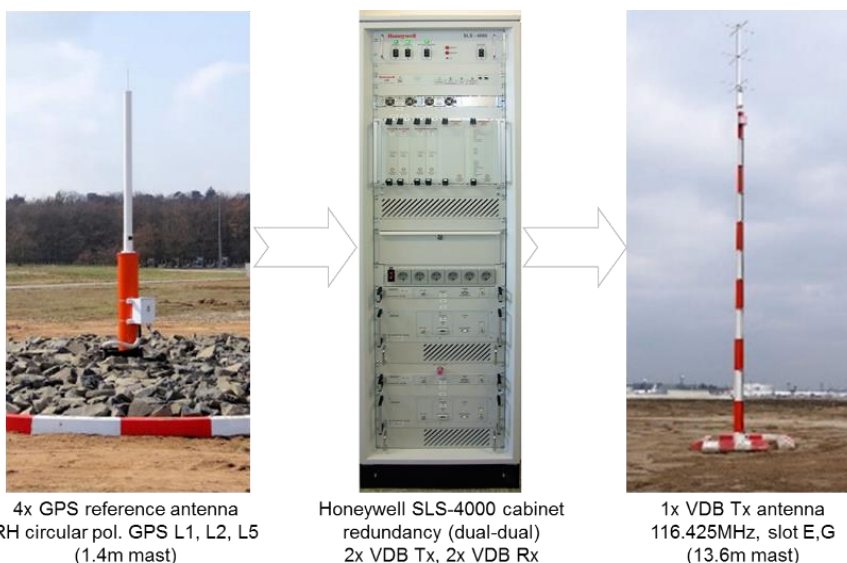


Abb. 1: Komponenten der GBAS-Station Frankfurt

verschiedenen Monitore (Überwachungsalgorithmen) sind dabei so ausgelegt, dass alle im Rahmen der System Safety Analysis betrachteten Fehlerzustände erkannt werden können. Diese umfassen bei einer GBAS-Station:

- Satellitenfehler (z.B. Bahndatenfehler),
- Signalfehler (bei Signalgenerierung und Signalübertragung),
- Umgebungsfehler der Referenzantennen (z.B. Mehrwegeausbreitung, Interferenz) und
- Gerätefehler (Fehlfunktionen von Systemkomponenten, z.B. des VHF-Senders)

Sofern die aus diesen Ursachen entstehenden Fehlereinflüsse nicht eindeutig berechnet werden können, wurden dafür bei der Systementwicklung konservative Annahmen über deren Auswirkung getroffen. So sind für GBAS statistische Fehlermodelle u.a. für den Einfluss von Signalreflexionen an Flugzeugstrukturen (airborne multipath) und mit dem Abstand des Flugzeugs von der Bodenstation wachsende Ionosphären- sowie Troposphären-Restfehler standardisiert. Die Atmosphärenmodelle werden für jede Einsatzregion von GBAS (wie z.B. Deutschland bzw. Mitteleuropa) an die lokalen Verhältnisse angepasst. Somit unterscheidet sich das in Deutschland zugrunde gelegte Fehlermodell von demjenigen in Nordamerika.

Die für CAT I geforderte Integrität [3] (Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb von 6 s alle für den Präzisionsanflug relevanten Fehler detektiert und behoben oder zur Anzeige gebracht werden) beträgt $1 - 2 \times 10^{-7}$ pro Anflug. Der maximal zulässige Positionsfehler liegt zu 95% der Zeit unterhalb der Grenzen von 4 m vertikal und 16 m horizontal. Dabei muss eine Kontinuität von $1 - 8 \times 10^{-6}$ in 15 s und eine Verfügbarkeit von mindestens 99% gewährleistet sein.

Differential GPS

GBAS nutzt das Prinzip des „Differential-GPS“. Das bedeutet, es wird der Schrägentfernungsfehler zu jedem empfangenen Satelliten durch Vergleich mit der exakt eingemessenen Antennenposition ermittelt (s. Abbildung 2). Die aktuellen Schrägentfernungsfehler für jeden Satelliten werden als Differentialkorrekturen per digitalem VHF-Datenlink an den Bordempfänger übermittelt, der wiederum damit seine eigene Positionslösung verbessert. Die übermittelte Differentialkorrektur ist im engeren Sinn nur am Ort der Bodenstations-Referenzantenne gültig (gleiches Equipment und gleiche Umgebungsbedingungen vorausgesetzt). Mit wachsender Entfernung des

Flugzeugs von der Bodenstation können Restfehler am Ort der Flugzeugempfangsantenne unkompensiert bleiben, z.B. weil die Satellitensignale durch etwas unterschiedliche Atmosphärenbedingungen minimal andere Verzögerungen erfahren.

Bei der Standardisierung der GBAS-Anlagen durch die ICAO wurden Modelle und Annahmen über den entfernungsabhängigen Fehler getroffen. Durch die Auslegung der Bodenstation wird sichergestellt, dass die für Präzisionslandungen der Kategorie CAT I geforderte Genauigkeit der Positionslösung in dem sog. „Servicebereich“ um die Bodenstation erreicht ist, wo das Signal für die Einhaltung des Anflugwegs benutzt wird.

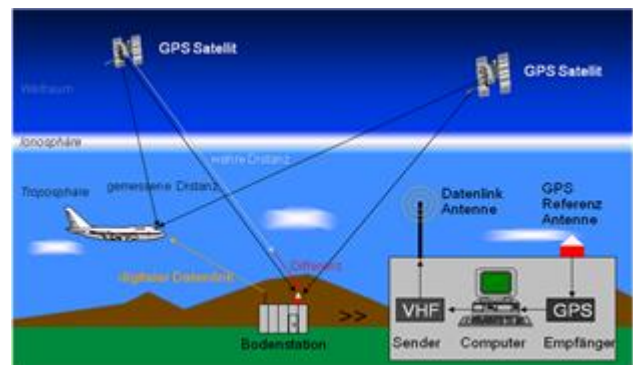


Abb. 2: Differential GPS- Prinzip

Von einer Bodenstation werden insgesamt folgende Daten über die VHF-Datenübertragung an das Flugzeug gesendet:

- Differentialkorrekturen der Schrägentfernungen für jeden von der Bodenstation sichtbaren Satelliten (Message Type 1, MT1)
- Stationsparameter wie z. B. Kennung, Ortsmissweisung oder GBAS-Referenzpunkt (MT2)

Dazu überträgt die Bodenstation die Daten, mit denen bis zu 26 Anflugwege (Approaches) definiert sind. Durch diese Übertragung der Anflugdaten entsteht im Vergleich zum Instrumentenlandesystem ILS die große Flexibilität einer GBAS-Station, die die Anflüge für mehrere Landebahnenden an einem Flughafen oder sogar für mehrere (höhengestaffelte) Anflugwege an das gleiche Landebahnende bereitstellen kann. Die hierfür übertragenen Daten sind im Message Type 4 (MT4) enthalten.

Die Differentialkorrekturen werden bei GBAS als Message Type 1 (MT1) mit einer Rate von 2 Hz an alle Flugzeuge im Endanflugbereich übertragen. MT2 und MT4 müssen jeweils einmal in 10 Sekunden gesendet

werden. Vom ICAO-Standard (Annex 10) ist vorgesehen, dass GBAS-Bodenstationen bis zu 48 Anflugwege ausstrahlen können. In Folgeversionen der Software wird diese Zahl auch mit den bisherigen GBAS-Anlagen erreicht werden.

GBAS VDB Datenlink

Die Datenübertragung erfolgt bei GBAS im VHF NAV-Band (108 – 117,975 MHz) mit einem Kanalabstand von 25 kHz. Anders als beispielsweise ILS verwendet GBAS jedoch einen digitalen Datenlink und einen Sender, der das TDMA (Time Division Multiple Access) Verfahren nutzt. Die zu übertragenden Informationen werden hierbei nicht kontinuierlich, sondern in Zeitschlitzten auf der zugewiesenen Frequenz übertragen. Es wird mit einer D8PSK (Differential 8 Phase Shift Keying) - Modulation gearbeitet, in der eine Sekunde in zwei Rahmen (Frames) von jeweils 0,5 s Dauer und jeder Rahmen in 8 Zeitschlitzte (Slots) mit einer Länge von je 62,5 ms unterteilt sind (s. Abbildung 3).

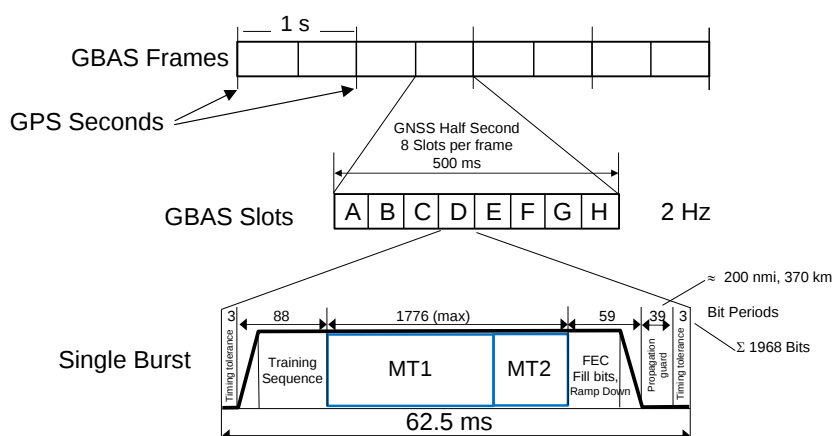


Abb. 3: GBAS TDMA Schema [1]

Eine GBAS CAT I Anlage benötigt zur Übertragung aller Daten (Message Types, MTs) in der Regel 2 Slots. Hieraus ergibt sich, dass bis zu 4 GBAS-Stationen auf der gleichen Frequenz arbeiten können, was bei bestehender Frequenzknappheit im VHF NAV-Band ein großer Vorteil ist.

Verschiedene Schutzmechanismen des Datenlinks sichern die übertragenen Dateninhalte. Das gewährleisten Korrekturmechanismen (2x Forward Error Correction - FEC), die bis zu zwei Bitfehler im Nachrichtenkopf bzw. bis zu drei Symbolfehler in der Nachricht erkennen und korrigieren können und eine mit jeder Nachricht gesendete 32 Bit lange Prüfsumme (Cyclic Redundancy Check – CRC), die es dem Empfänger ermöglicht, die Korrektheit der empfangenen

und ggf. vorkorrigierten Daten vor der weiteren Verarbeitung zu prüfen. In zukünftigen GBAS-Implementation wird noch ein überlagerter Mechanismus hinzukommen, um die Authentizität der Daten sicherzustellen. Diese rückwärtskompatible Neuerung ist aber nur für GBAS CAT III zwingend vorgeschrieben und für GBAS CAT I optional.

Der digitale Datenlink mit den hier vorgestellten Schutzmechanismen stellt sicher, dass im Gegensatz zu dem traditionellen ILS keine Anflugsignale oder Daten durch vorausfliegende oder am Boden rollende Großflugzeuge verfälscht werden können. Der Sollpfad für einen Anflugweg ist durch eine mathematische Gerade vorgegeben und ist nicht wie bei ILS von der Linearität von gerichteten Signalen abhängig, die in der Realität immer dem Einfluss von Störeffekten unterliegt. Der Sollpfad ändert sich bei GBAS weder über der Zeit noch durch zusätzliche Gebäude auf oder im Umfeld des Flughafens. Somit können aufwändige regelmäßige GBAS-Flugvermessungen mit den damit verbundenen Kosten und Lärmbelastigungen vermieden werden.

Der GBAS-Datenlink muss im Minimum für jeden Anflug einen ähnlichen Überdeckungsbereich wie das bisherige ILS garantieren (Abbildung 4). In der Regel kommen bei GBAS-Bodenstationen jedoch rundstrahlende VDB-Sendeantennen zum Einsatz, die mindestens 43 km (23 NM) Reichweite von der VDB-Sendeantenne bzw. mindestens 37 km (20 NM) von jeder unterstützten Landbahnschwelle aus sicherstellen. Dazu reicht in der Regel die nominelle Sendeleistung von 50 W. Die in den Standards definierten Feldstärkelimits (minimal 215 $\mu\text{V/m}$ bzw. -99 dBW/m², maximal 0,350 V/m bzw. -35 dBW/m²) diktieren derzeit einen Mindestabstand der VDB Sendeantenne von allen Landbahnen und Anflugwegen in der Größenordnung von 80 m, damit GBAS-Bordempfänger während der Nutzung nicht übersteuert werden. In Bereichen, in denen GBAS nicht genutzt wird, kann dieser Abstand auf ca. 16 m verringert werden, da dann nur sichergestellt sein muss, dass die GBAS-Bordempfänger keinen Schaden nehmen (Burn Out Protection).

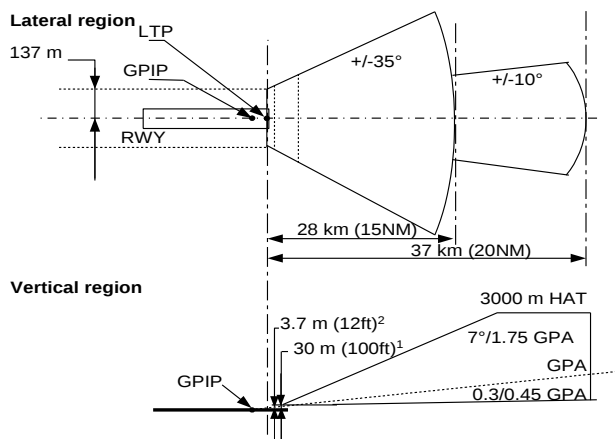


Abb. 4: Minimale VDB Datenlinküberdeckung für eine CAT I Anflugrichtung [1]

Auf der Seite der Flugzeughersteller verwendet z.B. Boeing eine kombinierte VOR/VDB-Antenne auf der Seitenleitwerksflosse zum Empfang der GBAS-Datenlinksignale. Bei Airbus-Flugzeugen kommt derzeit zumeist eine kombinierte ILS LOC/VDB Antenne in der Flugzeugnase zum Einsatz, die eine Richtcharakteristik aufweist.

GBAS Standorterkundung am Flughafen Frankfurt

Im Gegensatz zum Instrumentenlandesystem ILS ist GBAS nicht an fest vorgegebene Standorte neben bzw. hinter der Landebahn gebunden. Dennoch müssen auch bei der Aufstellung einer GBAS-Anlage gewisse Kriterien eingehalten werden, die nachfolgend kurz erläutert sind.

- Allgemeine Anforderungen
 - Die GBAS-Anlage muss auf dem geschützten Flughafengelände installiert werden (Security).
- Hindernisfreizonen
 - Die GBAS-Anlage muss außerhalb der Hindernisfreiflächen installiert werden. So dürfen sich z.B. im Bereich 150 m links und rechts der Landebahn keine bzw. nur solche Objekte befinden, die systembedingt dort stehen müssen (z.B. ILS-Gleitwegmast). Ab 150 m steigt die Hindernisfreifläche vom Boden aus mit einem Winkel von 1:7 an. So kann eine 3 m hohe GBAS-Referenzantenne minimal ca. 170 m neben der Landebahn installiert werden.
- GBAS VDB Anforderungen
 - Der Abstand der VDB Sendeantenne muss mindestens 80 m zur Landebahn (auch zur

verlängerten Anfluggrundlinie) und zu Rollwegen betragen.

- GBAS-GNSS-Anforderungen
 - Um die GPS-Referenzantennen ist ein Schutzbereich mit einem Radius von 155 m definiert. Sollten sich innerhalb dieses Bereichs Objekte befinden, müssen diese betrachtet und der Satellitenempfang in Richtung dieser Objekte ggf. ausmaskiert werden, was ggf. Verfügbarkeitseinbußen zur Folge hat. Im Umkreis von 50 m sollen keine permanenten Objekte und nur in begründeten Ausnahmefällen temporäre Objekte sein.
 - Der GBAS-Referenzpunkt muss innerhalb von 6,5 km zu allen bedienten CAT-I Entscheidungspunkten liegen.
 - Der Standort der Referenzantennen soll möglichst nicht unterhalb An- oder Abflugstrecken liegen, da überfliegende Flugzeuge kurzzeitig den Empfang des Satellitensignals abschatten können, wodurch die kontinuierliche Positionsberechnung des GPS-Empfängers unterbrochen werden kann (Cycle Slip).

Legt man von den obigen Kriterien nur die Hindernisfreizonen- und VDB-Anforderungen zu Grunde, so fand sich auf dem gesamten Flughafenareal in Frankfurt nahezu kein Bereich, in dem eine GBAS-Anlage installiert werden konnte (Abbildung 5, blau eingefärbte Flächen sind Ausschlussflächen).

Letztlich war nur ein schmaler Streifen westlich der Startbahn 18 und des dort befindlichen Rollwegs Whisky für eine GBAS-Installation nutzbar.

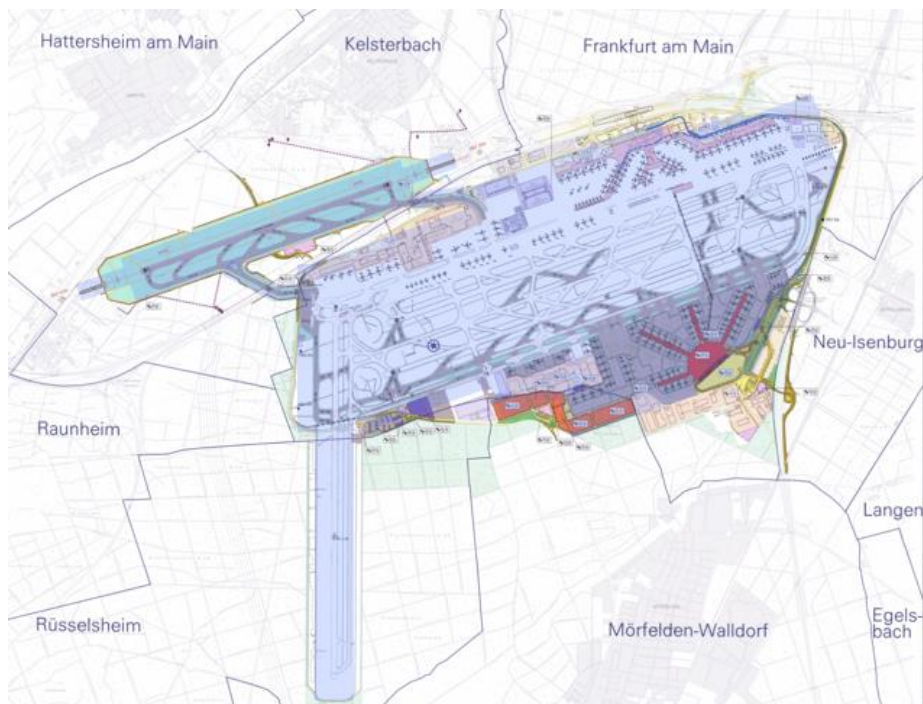


Abb. 5: Hindernisfreizonen und GBAS VDB Ausschluss-Zonen am Flughafen Frankfurt (blau eingefärbt: Ausschlussflächen)

In diesem Gebiet wurden im Rahmen der Standorterkundung insgesamt zwölf potentielle GPS- und zwei VDB-Antennenstandorte untersucht. Dabei wurde im Rahmen der Standortsuche an jedem potentiellen GPS-Standort eine Referenzantenne auf einem Stativ errichtet und über mindestens 24 Stunden die GPS-Rohdaten aufgezeichnet und ausgewertet. Die finalen 4 RSMU-Standorte mit den GPS-Empfängern und den VDB-Standort zeigt die nachfolgende Abbildung 6.



Abb. 6: Finaler Standort der GBAS-Antennen in Frankfurt

Die VDB-Standorterkundung gestaltete sich ebenfalls aufwändig. An den beiden potentiellen Orten wurde eine

an einem Hubsteiger montierte VDB-Antenne installiert und mit einem Testsender ein GBAS-Dummysignal ausgesendet. Anschließend wurde der empfangene Signalpegel auf den Landebahnen mit einem Messfahrzeug ermittelt. Nach Vergleich der Ergebnisse erfolgte für den besser geeigneten der beiden Standorte noch eine Flugvermessung, bei der die empfangene VDB-Signalstärke auf den Anflugwegen gemessen wurde (s. Abbildung 7).

Der abschließende Standorterkundungsbericht enthält alle Ergebnisse der Erkundung, die Messergebnisse für die in Frage kommenden Standorte und die zu erwartende Leistung der Bodenstation an dem jeweiligen Standort. Diese Informationen wurden gewichtet und der beste Kompromiss als späterer Bodenstationsstandort gewählt. Für diesen waren die genauen Standorte und Höhen aller Antennen im WGS84-Koordinatensystem und die im Folgenden zu berücksichtigenden Installationsanforderungen der Bodenstation angegeben. Zur Dimensionierung und Ausgestaltung der Fundamente für die Referenzantennen kann es erforderlich sein, zusätzlich ein Bodengutachten erstellen zu lassen, damit später sichergestellt ist, dass die Fundamente und die darauf montierten Referenzantennen sich nicht mehr bewegen (einsinken, kippen, verschieben) können.

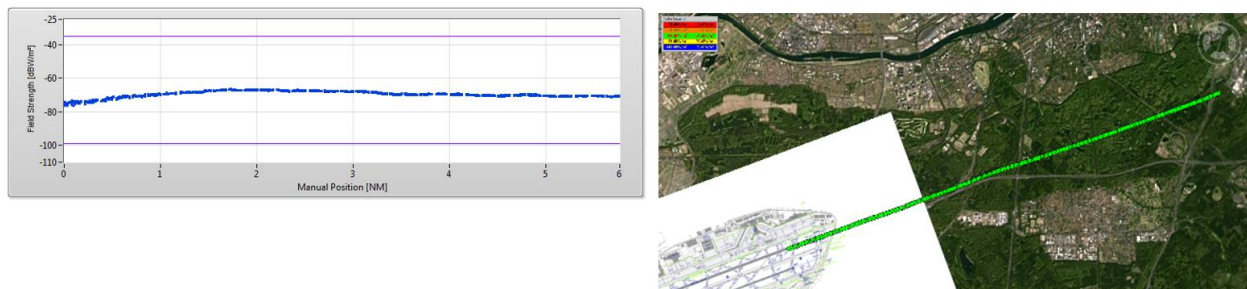


Abb. 7: Gemessene Signalstärke (links) auf dem Anflugweg RWY 25C (rechts)

Mit den Angaben im Standorterkundungsbericht können die notwendigen Unterlagen (z.B. Zeichnungen) erstellt und damit die Anträge für die Errichtung der Bodenstation gestellt werden. Die notwendigen Anträge umfassen im Allgemeinen:

- den Frequenzantrag für den GBAS-Datenlink und später die Standortbescheinigung zum Betrieb ortsfester Funkanlagen,
- die Luftverkehrsrechtliche Genehmigung und
- den Bauantrag.

Wie auch in diesem Fall nimmt die Bearbeitung dieser Anträge durch die zuständigen Stellen in der Regel mehrere Monate in Anspruch.

Beim Frequenzantrag werden nicht nur wie bei anderen Funknavigationsanlagen die Frequenz, sondern auch die zu belegenden Zeitschlitz und der Wertebereich für die Anflugwegdatensätze (Reference Path Data Selector RPDS, Reference Station Data Selector RSDS) koordiniert.

GBAS-Installation

Mit Vorliegen der Genehmigungen konnten die Tiefbauarbeiten für Fundamente und Kabelkanäle ausgeführt werden. Diese Arbeiten wurden meist durch Bauunternehmen durchgeführt, die mit dem jeweiligen Flughafenumfeld und den Sicherheitsprozeduren vertraut sind sowie die entsprechenden Zugangsberechtigungen des Flughafens haben. Die Tiefbauarbeiten in Frankfurt sind unter Koordination des Flughafenbetreibers Fraport durchgeführt worden.

Nach den Tiefbauarbeiten konnte der Shelter zur späteren Aufnahme des Equipments aufgestellt und die erforderlichen Strom- und Kommunikationsanschlüsse gelegt werden. Der Shelter enthält auch spezielle Vorkehrungen für Klimatisierung, Blitzschutz und Warneinrichtungen z.B. für Einbruch und Feuer.

Die Montage der Antennen wurde vorbereitet durch Installation der exakt ausgerichteten, steifen

Antennenmaste und das Einziehen der benötigten Kabel in die vorbereiteten Kabelkanäle.

Nach Abschluss der Tiefbauarbeiten konnte mit der Installation der GBAS-Anlage begonnen werden. Das Aufstellen und Bestücken des 19“-Racks, die Montage der Referenzantennen, RSMU-Boxen, VDB-Antenne sowie die Verkabelung nahmen rund eine Woche in Anspruch. Die finale Konfiguration der Bodenstation erforderte eine exakte Einmessung aller Antennen-Phasenzentren in Relation zu den Schwellen im WGS84-Koordinatensystem. Hierzu waren die Phasenzentren des L1 – Signals für jede Antenne individuell mit Genauigkeiten im Bereich von ca. 1 cm zu bestimmen. Wichtig war hierbei, die gleichen Prozeduren und Flughafenkontrollpunkte zu nutzen, wie sie auch für die Einmessung der Schwellenkoordinaten genutzt werden, um so den entscheidenden relativen Positionsfehler klein zu halten.

Danach war eine erneute GPS-Datenerfassung der fertig installierten Station über einige Tage notwendig, um die Integritätsmonitore an die Umgebungsverhältnisse der Referenzantennen anzupassen. Diese werden im Measured Site Data File (MSD File) parametrisiert, das durch den Anlagenhersteller nach Auswertung der GPS-Daten gemäß einer zertifizierten Prozedur erstellt wird.

ATC-Interface

Parallel zur Installation lief die Datenanbindung der GBAS-Anlage an die vorhandene DFS-Infrastruktur. Die GBAS-Station sendet immer für alle Landebahnen die GLS-Anflüge über den VDB-Datenlink aus. Eine Umschaltung auf eine bestimmte Landerichtung, wie beim ILS, ist nicht erforderlich. Es muss lediglich der Status der GBAS-Anlage (verfügbar oder nicht verfügbar) an den verschiedenen Lotsenarbeitsplätzen im Tower / Center sowie in der Technischen Überwachung angezeigt werden. Hierzu ist in Frankfurt eine redundante Datenanbindung in einem aufwendigen Test- und Freigabeprozess realisiert worden.

Stabilitätstest und Bodenmessung

Nachdem die GBAS-Station final konfiguriert und an den Standort angepasst war, schloss sich ein 14-tägiger Stabilitätstest an. Während dieser Periode muss die Anlage fehlerfrei funktionieren. Es durfte währenddessen weder zu einem Ausfall oder Reset von Hardwarekomponenten kommen, noch durften sich Einträge in der Logdatei befinden, die nicht denen eines Regelbetriebs entsprechen. Mit einem erfolgreich bestandenem Stabilitätstest konnte eine korrekte Anlageninstallation und Konfiguration (Hardware und Software) nachgewiesen werden. Mit dieser Voraussetzung konnten die von der ICAO im Doc 8071 [2] festgelegten Bodenmessungen beginnen. Die GBAS-Bodenmessung findet erstmalig vor der betrieblichen Nutzung der GBAS-Station und dann periodisch in einem Intervall von 12 Monaten statt.

Da bei Satellitennavigation im Allgemeinen und GBAS im Besonderen nur eine Abhängigkeit der Performance von der Zeit (mit der sich stetig verändernden Satellitenkonstellation) und nicht von dem Ort wie bei ILS existiert, sind z.B. Überprüfungen zur Performance an einem geeigneten Ort über längere Zeiträume von zumeist 24 Stunden oder länger durchzuführen. Dieses kann nur in Bodenmessungen und nicht wie bei ILS in Flugvermessungen erfolgen, sodass die Bodenmessungen bei GBAS einen viel höheren Stellenwert haben als bei ILS.

Die GBAS-Bodenmessung erfolgt bei der DFS in folgenden Prüfmodulen (Reihenfolge in Grenzen variierbar):

- GNSS- und VDB-Interferenz,
- Referenzantennenpositionen,
- HF-Messungen,
- ortsabhängige Parameter,
- VDB-Datenlinküberdeckung am Boden,
- Performance-Untersuchungen,
- Betriebsstabilität.

Unabhängiger GBAS-Monitor, UGM

Zur Unterstützung bei den GBAS-Bodenmessungen, bei der permanenten Überwachung einer GBAS-Bodenstation während der Einführungs- und Qualifikationsphase und zur permanenten GNSS Datenaufzeichnung wurde von der DFS ein System mit der Bezeichnung Unabhängiger GBAS-Monitor (UGM,

oder Independent GBAS Monitor - IGM) spezifiziert und beauftragt.

Mittels zweier unterschiedlichen, redundanten GNSS- und einem VDB-Empfänger simuliert dieses System permanent einen je nach Einsatzzweck konfigurierbaren GBAS Nutzer und kann so z.B. bei bekannter Position geringfügige Abweichungen im Betrieb der GBAS-Bodenstation entdecken und z.B. via Email melden.



Abb. 8: UGM im mobilen Einsatz mit zertifiziertem GBAS Multi Mode Receiver (MMR)

Bei GBAS-Bodenmessungen wird das System im stationären Modus zur Kontrolle der Datenlinkinhalte und für Performance Tests eingesetzt. Im mobilen Betrieb (Abbildung 8) unterstützt es die Landebahnmessungen und ermöglicht so eine sehr effektive Überprüfung der Anforderungen ohne langwierige Auswertungen. So erfolgt neben VDB Pegelmessungen eine erste Überprüfung aller FAS-Daten-Parameter für jeden Anflug. Ein zertifizierter GBAS-Bordempfänger wie er u.a. in Flugzeugen des Typs Boeing B737NG zum Einsatz kommt, kann zusätzlich für bestimmte Tests an den UGM angeschlossen werden (Abbildung 8, untere Box).

Der Unabhängige GBAS-Monitor ist kein Bestandteil der GBAS-Station, wie sie im Annex 10 definiert ist. Nach der Ermittlung der relevanten GBAS-Stationsdaten ist kein Betrieb des UGM mehr erforderlich. Die DFS betreibt diese Systeme jedoch unter der Kontrolle des Produktmanagements, um mehr über das Signalverhalten von GBAS-Anlagen zu erfahren und bestehende SESAR- Vorhaben (z.B. im Projekt 15.3.6, GBAS Cat II/III L1 Approach) zu unterstützen.

GNSS Interference Monitoring System, GIMOS

Zur Unterstützung bei den GNSS-Interferenzmessungen und für hochpräzise VDB-Messungen wurde von der DFS ein System mit der Bezeichnung GNSS Interference Monitoring System (GIMOS) spezifiziert.



Abb. 9: GIMOS im mobilen Einsatz

Das System führt in verschiedenen Messmodi benötigte Messungen durch und bedient sich dazu eines integrierten, programmierbaren, digitalen Spektrum-Analysators und eines zertifizierten GPS-Luftfahrtempfängers, die sich gegenseitig triggern können. Auch hier wird das System im stationären Modus über längere Zeiträume an einem Bodenstationsstandort betrieben oder temporär für VDB-Messungen eingesetzt. Darüber hinaus sind mobile Einsätze bei Fahrten auf dem Flughafengelände möglich (Abbildung 9), z.B. um auch lokale Störer aufspüren zu können. Auch der Einsatz des GIMOS in Flugmessungen ist möglich.

Die DFS Messsysteme GIMOS und UGM wurden über viele Jahre entwickelt, getestet und erprobt. Fortlaufende Optimierung und Weiterentwicklung sorgen dafür, dass die Systeme auf dem neuesten Stand der Technik bleiben. So ist beim GIMOS aktuell bereits die vierte Generation in Nutzung.

Flugvermessung

Die Flugvermessung dient bei GBAS im Wesentlichen dazu, die empfangene VDB-Signalstärke sowie den störungsfreien Empfang von VDB Datenlink und GPS innerhalb des Coverage Volumes zu überprüfen. Daneben werden auch noch flugbetriebliche Kriterien für die einzelnen GLS Verfahren, wie Arbeitsbelastung im

Cockpit und Fliegbarkeit, verifiziert. Die Flugvermessung findet in der Regel einmalig bei Einführung der GBAS Anlage statt. Eine periodische Überprüfung, wie beim terrestrischen ILS, ist für GBAS nicht gefordert.

Während der Erstflugvermessung in Frankfurt wurde festgestellt, dass mit der ursprünglich eingestellten Sendeleistung die maximal zulässige Feldstärke beim Vorbeiflug an der VDB Antenne (Anflug 07C) überschritten wird. Daraufhin wurde die Sendeleistung entsprechend reduziert. Hierdurch, und durch einen Dämpfungseffekt hervorgerufen durch den sich im Westen des Flughafens anschließenden Wald, wird derzeit allerdings die Mindestfeldstärke in 20 NM Entfernung nicht mehr überall erreicht. Die GLS Verfahren 07 R/C/L sind daher zunächst hinsichtlich der Reichweite eingeschränkt. Konstruktive Maßnahmen an der VDB-Antenneninstallation sollen diese Einschränkungen auflösen.

Zusammenfassung und Ausblick

Seit dem AIRAC 21. August 2014 befindet sich die GBAS Station am Frankfurter Flughafen in der betrieblichen Nutzung. Frankfurt ist damit nach Bremen der zweite deutsche Flughafen, der diese Technologie anbietet. Im Gegensatz zu Bremen sind in Frankfurt allerdings die topographischen Voraussetzungen für die Installation einer GBAS-Anlage ungleich schwieriger. Trotz einer augenscheinlich größeren Flexibilität was die Standortwahl für eine GBAS-Anlage angeht, ist in Frankfurt nach Anwendung aller Kriterien genau ein geeigneter Installationsort übrig geblieben. In diesem Zusammenhang müssen von den Anlagenherstellern noch Alternativen geschaffen werden, mit denen z. B. durch Nutzung von Lichtwellenleiter (LWL) bei der Anbindung der GPS-Referenzempfänger eine noch flexiblere GBAS-Installation möglich wird. Dazu zählt auch der von der GBAS-Station abgesetzte Betrieb eines oder mehrerer VDB Sender.

Beide GBAS-Stationen der DFS zeichnen sich durch einen sehr stabilen Systembetrieb und äußerst wenig Wartungsaufwand aus. Die meisten Wartungsaufgaben müssen nur alle zwölf Monate durchgeführt werden. Außerdem kann eine Vielzahl per Fernwartung erledigt werden.

Obwohl der Ausrüstungsgrad der GBAS-fähigen Flugzeuge derzeit nur bei etwa fünf Prozent liegt, stehen Airlines und Flughafenbetreiber dem System positiv gegenüber. Bordseitig ist GBAS bislang serienmäßig in den Boeing Modellen 747-8 und 787 verfügbar. Bei der 737NG Familie ist GBAS optional im „RNP Avionik Paket“

enthalten, das von vielen Airlines geordert wird. Airbus bietet GBAS für alle neuen Flugzeuge optional (gegen Mehrpreis) an. Boeing und Airbus verwenden zugelassene Multimode Empfänger (MMR) der Hersteller Rockwell Collins und Honeywell. Diese MMRs sind momentan ausschließlich für die Flugzeuge der beiden großen Hersteller zertifiziert. Ein zugelassenes Gerät für Regional- und Businessjets fehlt noch.

Die GBAS-Anlage in Frankfurt unterstützt momentan GLS CAT-I Anflugverfahren mit einem Gleitwinkel von $3,0^\circ$. Die auf der Nordwestbahn genutzten (ILS-) Anflüge mit $3,2^\circ$ sollen mit GBAS für alle Pisten verfügbar gemacht werden, sobald die noch ausstehende ICAO-Veröffentlichung für 'Independent Parallel Operations' erfolgt ist.

Die ICAO wird die seit 2010 laufende operationelle Validierung für den GBAS CAT III Standard in diesem Jahr abschließen. Die Ergebnisse sind in das neueste Amendement des Annex 10 [3] eingeflossen, das voraussichtlich 2017 in Kraft treten wird.

Die Realisierung von GBAS CAT III auf Basis von GPS L1 wird nach einem neuen Equipment und Service Klassifikationsschema der ICAO (GBAS Approach Service Type 'D') *GAST D* genannt. Die Entwicklung von Bodenstationen und Flugzeugausrüstung für GBAS CAT III hat in Europa und den USA begonnen. Die erste Ausbaustufe einer *GAST D*-Bodenstation ist von Thales Deutschland im Rahmen von HETEREX am Forschungsflughafen in Braunschweig und im Rahmen von SESAR 15.3.6 in Toulouse aufgebaut worden. Eine weitere *GAST D*-Bodenstation von Indra Navia wird derzeit in Frankfurt erprobt. Danach sind diese Produkte noch zur Marktreife zu entwickeln und zuzulassen. Parallel dazu betreibt Honeywell die Entwicklung einer GBAS *GAST D*-Station, die im Jahr 2018 durch die FAA zugelassen sein soll.

Referenzen

[1]	EUROCAE ED-114A - MOPS for Global Navigation Satellite Ground Based Augmentation System Ground Equipment to Support Category I Operations, European Organization for Civil Aviation Equipment
[2]	ICAO DOC 8071 MANUAL ON TESTING OF RADIO NAVIGATION AIDS, Vol II Testing of Satellite-based Radio Navigation Systems Ed 5 , International Civil Aviation Organization
[3]	ICAO Annex 10 Aeronautical Telecommunications, International Civil Aviation Organization
[4]	Stefan Jaekel, Boris Pfetzing, in: direct, Ausgabe Mai 2012, DFS Deutsche Flugsicherung

Abkürzungen

BAF	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
D8PSK	Differential 8 Phase Shift Keying
FEC	Forward Error Correction
GAST D	GBAS Approach Service Type 'D'
GBAS	Ground Based Augmentation System
GIMOS	GNSS Interference Monitoring System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HETEREX	Heterogener komplexer Flugverkehr
ILS	Instrumentenlandesystem
LWL	Lichtwellenleiter
MMR	Multimode Receiver
MSD	Measured Site Data
MT	Message Type
NAV	Navigation
RPDS	Reference Path Data Selector
RSDS	Reference Station Data Selector
RSMU	Remote Satellite Measurement Unit
SDA	System Design Approval
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme
VDB	VHF Data Broadcast

Spracherkennung im Flugsicherungsumfeld

Jörg Buxbaum, Hon. Prof. Dr. Hartmut Helmke (DLR), Oliver Rühl, Michael Slotty

Einleitung

Spracherkennung gehört zu den Technologien, denen seit Jahrzehnten eine rosige Zukunft beschieden wird. Nach vielen vergeblichen Anläufen erreichten erste verwendungsfähige Produkte in den 80er Jahren den Markt. Heute ist Spracherkennung aus etlichen Produkten kaum mehr wegzudenken. Die Frage liegt deshalb nahe, ob diese Technologie nicht auch im Flugsicherungsumfeld erfolgreich eingesetzt werden kann. Erste Versuche, Spracherkennung nutzbar zu machen, reichen bei der DFS immerhin ins vorletzte Jahrzehnt zurück [1], [2]. Dieser Artikel beleuchtet aus aktueller Sicht Chancen und Grenzen der Technologie und stellt den Sachstand ihrer Verwendung und Entwicklung bei der DFS vor.

Spracherkennung im Alltag 2015

Spracherkennung bewährte sich zunächst als Nischenapplikation in speziellen Anwendungen wie z.B. als Diktiersoftware für Berufszweige wie Anwälte und Ärzte. In diesem Fall kann der verwendete Wortschatz des zu protokollierenden Schriftverkehrs zwar groß sein, dafür gehorcht die Satzstruktur strengen grammatikalischen Regeln. Vor allem aber muss „nur“ jedes einzelne Wort verstanden werden, die Bedeutung des Satzes muss vom Spracherkenner nicht verstanden werden.

Über diese Nischen hinaus sammelten selbst innovationsfreundliche Verwender in den vergangenen drei Jahrzehnten negative Erfahrungen mit der schlechten Qualität von Spracherkennung. Ein erneuter Anlauf zur Marktdurchdringung der Spracherkennung als Technologie hat stets gegen diese persönlichen Erfahrungen zu kämpfen.

Ein begrenzter „Durchbruch“ von Spracherkennung war mit der Einführung von Siri (Speech Interpretation and Recognition Interface) von Apple zu beobachten. Im Home-Entertainment spielt Spracherkennung ebenfalls eine immer präsentere Rolle. Viele Muster der neuesten Fernsehergeneration sind mittlerweile mit diesem Feature ausgestattet. Mit dem Spracherkennungssystem „Amazon Echo“, einem kleinen, displaylosen, mit dem Internet verbundenen Zylinder, der kontinuierlich das im Umfeld Gesprochene analysiert, sollen weitere

Anwendungen von Spracherkennung im Haushalt erschlossen werden.

Spracherkennung im Transportwesen

In der Automobilbranche gibt es seit Jahrzehnten Ansätze (und mittlerweile auch konkrete Implementierungen), Spracherkennung zur Steuerung von Bordsystemen wie Navigation, Telefon und Audio zu nutzen. Ziel ist, dass der Fahrer bei der Systembedienung so wenig wie möglich von seiner Aufgabe und vom Straßenverkehr abgelenkt wird. Händische Bedienung soll möglichst gänzlich vermieden werden.

Drei Kampfflugzeugtypen weltweit nutzen derzeit Spracherkennung als Assistenzsystem: Der Eurofighter, die schwedische Saab JAS 39 Gripen sowie die Lockheed Martin F-35. Testläufe für Spracherkennung in US-Kampfflugzeugen hatte es zuvor in der F-16 VISTA und der AV-8B Harrier gegeben. Interessant ist, dass alle diese Flugzeuge außer in den Trainerversionen Single-Pilot-Flugzeuge sind. Assistenzsysteme wie Spracherkennung erscheinen also insbesondere dort sinnvoll, wo auf Assistenz durch einen zweiten Operateur verzichtet wird.

In der zivilen Luftfahrt spielt Spracherkennung außer bei telefonischen Kundenbeziehungssystemen so gut wie keine Rolle. Im Herbst 2014 verkündete Rockwell Collins, die in der F-35 verbaute Technologie zur Anwendung in zivilen Cockpits weiterentwickeln zu wollen. Konkrete Produkte sind allerdings noch nicht zur Marktreife gebracht worden. Die Rede ist von einer Vorlaufzeit von 10 Jahren. Bemerkenswert ist, dass das in der Entwicklung befindliche System z.B. Pilotenanweisungen über Kurse und Höhen erkennen soll. Werte also, die aktuell entweder über die primären Flugsteuerungssysteme angesteuert oder als Vorgabe in den Autopiloten eingegeben werden. Man könnte meinen, die Entwicklung sei damit konträr zu den Bemühungen, die Kommunikation zwischen ATC und Cockpit durch Datalink von mündlicher Kommunikation „wegzuentwickeln“. Anders interpretiert zeigt sich aber nur die Tendenz, Multimodalität bei der HMI-Bedienung zu fördern.

Motivation, Spracherkennung im Flugsicherungsbetrieb zu verwenden

Seit rund 70 Jahren ist Sprechfunk das dominierende Medium beim Austausch von Informationen und Anweisungen zwischen Flugsicherung und Cockpitbesatzung. Innerhalb der nächsten zwei Jahrzehnte ist nicht davon auszugehen, dass sich das wesentlich ändern wird. Zwar wird seit langer Zeit unter dem Oberbegriff Datalink (Controller-Pilot Datalink Communication, CPDLC) an einem schrittweisen Ersatz bzw. Ergänzung der Sprechfunkkommunikation durch Bord-Boden-Datenaustausch gearbeitet. Allerdings zeigen jüngste Erfahrungen u.a. in den Kontrollzentralen Maastricht und Karlsruhe, dass CPDLC in der aktuellen technischen Entwicklungs- und Verbreitungsstufe keinen messbaren Nutzen bringt und sich dies vor Behebung grundsätzlicher Mängel auch nicht ändern wird.

Wenn auf Sprechfunk vorerst nicht verzichtet wird, darf postuliert werden, dass ein „Mitschneiden“ des über dieses Medium ausgetauschten Inhalts ohne Zusatzaufwand für den Operateur (Lotsen) bleibt, da er sowieso mit den Cockpitbesatzungen kommuniziert. Spracherkennung könnte einen Vorteil erschließen, ohne jegliche Zusatzanstrengung für den Lotsen zu generieren. Dieser Nutzen besteht nun in erster Linie darin, Systemeingaben zu vereinfachen und Head-Down-Zeiten zu minimieren. Wo derzeit noch Flugverkehrsfreigaben auf Papier (Flugstreifen) notiert oder Eingaben in elektronische Systeme (PSS) getätigt werden, könnte durch Einsatz von Spracherkennung die Eingabe auf die Korrektur nicht oder falsch erkannter Passagen reduziert werden.

Weitere Anwendungsfelder von Spracherkennung in der Flugsicherung:

- Schnellere Anpassung von Sequenzplanung und Ankunftszeiten in Arrival-Management-Systemen nach Einzelfreigaben
- Abgleich der Freigabe mit den im Flugplanungssystem hinterlegten Informationen (z.B. Runway-zuordnung)
- Unmittelbare Warnung, wenn eine erteilte Freigabe zu einem potentiellen Konflikt mit einem anderen Flugzeug führen kann (Voraussetzung: Hochentwickelte Konflikterkennung wie z.B. im System CATO [3] validiert)
- Brückentechnologie zu Datalink: Mündlich erteilte Freigaben automatisch als Datalink-Message übertragen, wenn das Flugzeug Datalink-ausgerüstet ist

Spracherkennung in den Simulationssystemen der DFS

2010 begann die DFS damit, ihre Simulationssysteme (Tower- und Center-Trainingssimulatoren) mit Spracherkennung auszustatten. Ziel der Entwicklung war, die Trainingssimulationen flexibler zu gestalten und durch den weitgehenden Verzicht auf Simulationspiloten kostengünstiger zu gestalten.

Schon Ende der 1990er Jahre hatte sich der Bereich Forschung und Entwicklung der DFS mit dem Thema Spracherkennung im Simulationsumfeld befasst. Allerdings waren weder Technik noch Nutzer soweit, dass es für einen testweisen Einsatz reichte[2].

Nach der Einführung von NEWSIM als neuer Center-Simulator in der Akademie in 2003 wurde eine erneute Kampagne gestartet, Spracherkennung im Trainingsumfeld einzusetzen. Der Spracherkenner hatte sich weiterentwickelt, allerdings verhinderte insbesondere das schlechte Verhältnis von Nutzen zu Aufwand weiterhin eine entsprechende Entwicklung und Ausrüstung.

In der Zwischenzeit hatte die Firma UFA (Lieferant der Simulatorfamilien für Tower und Center der DFS), zusammen mit amerikanischen Universitäten und der kanadischen Flugsicherungsorganisation NAV Canada den Spracherkenner intensiv weiterentwickelt und zur Einsatzreife gebracht (s. Abb. 1). Sowohl im Daniel Webster College (nahe Boston) als auch bei NAV Canada konnte sich die DFS in 2010 überzeugen, dass Spracherkennung im Training von Fluglotsen zuverlässig funktioniert.

Angetrieben durch die positiven Ergebnisse fanden daraufhin Gespräche zwischen dem Produktmanagement Center-Simulatoren und den DFS-Center-Niederlassungen statt. Die Kontrollzentrale München (Niederlassung Süd) meldete sich als Launching Customer. Als erster Einsatzzweck von „Voice Recognition and Response“ (VRR) wurde das Training von Karlsruher Lotsen in München für den oberen Luftraum im Rahmen von Multi-Sektor-Übungen festgelegt. Hierbei wurde der Ansatz gewählt, zuerst nur die notwendige Phraseologie für den oberen Luftraum (gem. DFS BA-FVD) zu implementieren anstatt per „Big-Bang“ die komplette Phraseologie bereitzustellen.

Im August 2011 startete der erste Kurs mit VRR-unterstütztem Training in München.

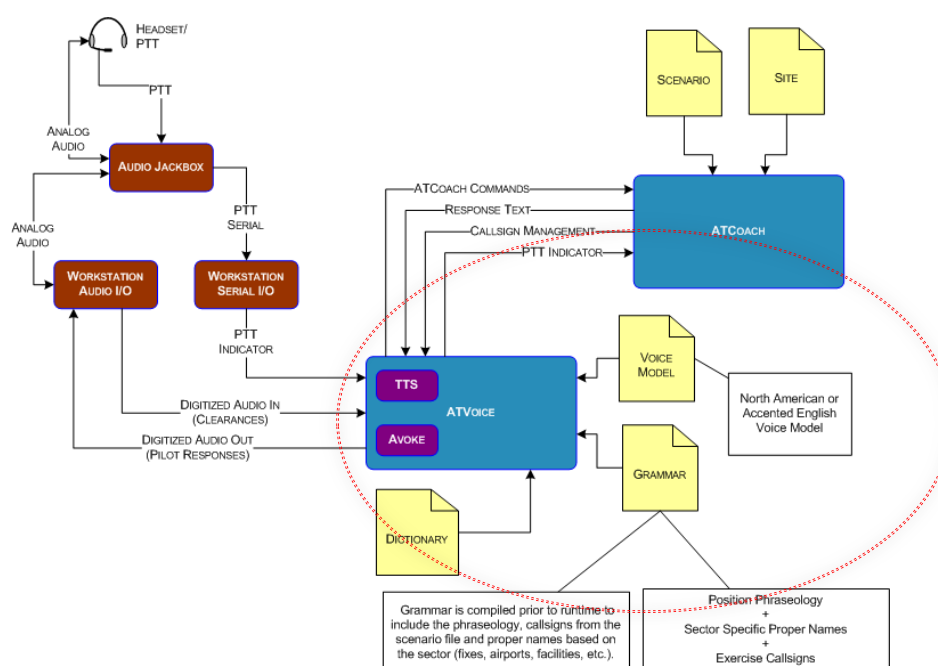


Abb. 1: Voice Recognition and Response im NEWSIM

Sukzessive wurde die Phraseologie erweitert. Seit Anfang 2014 nutzen alle Einsatzberechtigungsgruppen in der Kontrollzentrale München VRR sowohl im so genannten Pre-OJT (Pre-„On the Job Training“) und Proficiency-Training als auch in der Kreuzausbildung.

Parallel mit dem Start in München wurde ein Systemprojekt aufgesetzt, um Spracherkennung für den Trainingsbetrieb auch an den anderen Center-Niederlassungen schrittweise bereitzustellen. Die aktuelle Planung sieht wie folgt aus:

- Niederlassung Nord: Mai 2015 – Pre-OJT-Kurs
- Niederlassung Mitte: Oktober 2015 – Pre-OJT-Kurs
- Niederlassung Upper (Karlsruhe): September 2015 – Tests mit PHOENIX-Fallbackübungen

Auch im Ausbildungsbetrieb der Flugsicherungs-Akademie zieht Spracherkennung ein. Testweise wurden im Herbst 2013 erste Trainingsruns im „Single Sector“ Betrieb durchgeführt. Hierzu wurde der Spracherkenner im „Mixed Mode“ betrieben: Der (menschliche) Simulationspilot übernimmt die Spezialfälle, während der Spracherkenner den Standardverkehr handhabt.

Ebenfalls wird die individuelle Lotsenausbildung von VRR unterstützt: Um den Trainees erweiterte Trainingsmöglichkeiten zu bieten, kann der Centersimulator NEWSIM mittlerweile in der Cloud mit Spracherkennung genutzt werden. Dieses Feature bietet den Trainees zeitliche und räumliche Flexibilität, das Erlernte in

Eigenregie zu vertiefen – unter Nutzung auch eigener, mit dem Internet verbundener Rechner.

Mit dem DFS-Forschungsprojekt iPort („Innovativer Airport“) zog die Spracherkennung im Jahr 2011 auch in die Towersimulator-Systeme der DFS ein und bewies: Vorteile von VRR zeigen sich auch bei Forschung und Entwicklung. Tests und Simulationen können schnell und flexibel ohne großen Personalaufwand durchgeführt werden. Eine große Erleichterung gerade bei Verbundsimulationen, also der Kopplung von Tower- und Centersimulatoren.

Nach erfolgreicher Validierung in verschiedenen Forschungssimulationen bereitete iPort den Weg, die Spracherkennung im nächsten Schritt auch für die Lotsenausbildung an den Towersimulatoren der DFS-Akademie einzuführen. Die Spracherkennung wird hier phasenweise an den verschiedenen Positionen eingeführt. Den Anfang bildet dabei die Start-up- und Clearance-Delivery-Position, an der die Erlaubnis zum Anlassen der Motoren sowie die Streckenfreigabe erteilt werden.

Die Besonderheit bei der Einführung der Spracherkennung in der Towerlotsen-Ausbildung lag vor allem in der Einführung einer bilingualen, also zweisprachigen Spracherkennung. Der Sprechfunk im Sichtflug (VFR) kann schließlich sowohl in Englisch als auch in deutscher Sprache durchgeführt werden. Mit dieser entwickelten Zweisprachigkeit ist es nun möglich, im Simulator in Deutsch oder Englisch zu sprechen – und

verstanden zu werden. Für dieses Vorhaben arbeiteten die DFS und der Softwarehersteller UFA mit dem amerikanischen Unternehmen BBN Raytheon zusammen. Hier wurde basierend auf einem Übersetzungsprogramm für das US-Militär ein Prototyp der bilingualen Spracherkennung für den Tower-Simulator entwickelt und im Anschluss erfolgreich in den Simulator integriert.

Im Jahr 2014 wurde dann in der regulären Towerlotsen-Ausbildung der Flugsicherungsakademie die bilinguale Spracherkennung am Simulator zunächst in einer Testphase validiert. In zahlreichen Übungen konnte gemeinsam mit Lehrgangsleiter, Lehrern und Lotsen-Trainees die Funktionalität, Verfügbarkeit, Erkennungsrate sowie die im Spracherkenner implementierte Phraseologie intensiv getestet und bewertet werden. Mit den positiven Ergebnissen dieser Validierung wird die Spracherkennung zukünftig dauerhaft auf der Clearance-Delivery-Position genutzt. Darüber hinaus wird der Testbetrieb auf die Radarposition im Towersimulator-Training ausgeweitet (s. Abb. 2).



Abb. 2 Testbetrieb der bilingualen Spracherkennung an der Clearance Delivery Position im Towersimulator

Ein Vorteil in der Nutzung von Spracherkennung zu Trainingszwecken ist übrigens das Auffrischen und das Einfordern von Standard-Phraseologie. Dieses – im Rahmen der Nutzung nicht unumstrittene – Feld zeigt: Die Einführung von Spracherkennung ist kein rein technisches Thema. Natürlich muss der Spracherkenner annähernd zu 100% zuverlässig arbeiten. Allerdings handelt es sich aufgrund vieler Aspekte auch um einen grundlegenden Wandel. So sind die Coaches beispielsweise gewohnt, flexibel das Training auf den

Trainee anzupassen und durch Sonderanweisungen an den Simulationspiloten Besonderheiten einzubringen. Andererseits „verzeihen“ Simulationspiloten auch Non-Standard-Phraseologie und antizipieren, was der Trainee anweisen möchte. Sehr oft haben Lotsen oder Trainees, wenn sie zum ersten Mal mit der Spracherkennung arbeiten, erhebliche Vorbehalte, weil sie schon schlechte Nachrichten im Vorfeld gehört haben oder nicht an den sinnvollen Nutzen glauben. Hierzu wurde für jede Art des Einsatzes an jeder Niederlassung mindestens ein „Promoter“ aus den Lotsenreihen benannt, der als „Gleicher unter Gleichen“ den Dialog mit den Nutzern führt und sie mit dem Thema vertraut macht.

Spracherkennung als Assistenz im AMAN: Erfahrungen in AcListant

2013 startete das DLR Braunschweig (Institut für Flugführung) zusammen mit der Universität des Saarlandes (UdS) das Forschungsprojekt AcListant (Active Listening Assistant). In dem Projekt steht die Untersuchung des Nutzens von Spracherkennung für die operative Flugverkehrskontrolle im Mittelpunkt. Validiert wurde der Effekt von Spracherkennung am Einsatz eines Arrival Management Systems (AMAN) für den Flughafen-nahbereich Düsseldorf. Der Flughafen wurde gewählt, da er ebenfalls im seit 2012 laufenden SESAR-Projekt CMAN (P5.4.1) im Mittelpunkt der Untersuchungen steht. Aufgrund dessen konnten nicht nur statische und dynamische Simulationsdaten (Luftraum, Verfahren, Verkehr) zwischen DFS und DLR ausgetauscht werden, es ergab sich auch die Möglichkeit, während der CMAN-Echtzeitsimulationen Sprechfunkverkehr aufzuzeichnen, um das Sprachmodell von AcListant zu „füttern“.

Von Relevanz ist der „Mitschnitt“ von Lotsen-anweisungen, da der AMAN im Flugsicherungsbetrieb aktuell als Vorschlagssystem für den Lotsen gesehen wird und nicht als Kommandosystem. Der Lotse als Alleinverantwortlicher entscheidet, welche Vorschläge des AMANs er umsetzt und welche nicht. Damit weichen AMAN-Planung und Lotsenplanung oft deutlich voneinander ab. Das AcListant-Projekt zeigte, dass gerade in Sondersituationen wie einer Bahnspernung, einem Prioritätsflieger (Emergency oder „Sick Passenger“) oder einem Go-Around ein Assistenzsystem von besonderem Nutzen sein kann, wenn das System frühzeitig bemerkt, dass der Lotse vom aktuellen Plan abweicht.

Die Spracherkennung im AMAN soll somit folgendes Manko der aktuellen Systemeigenschaften mildern bzw. beseitigen: Planabweichungen von durch den AMAN

berechneten Landereihenfolge und dazu passender Flugbahn werden aktuell zwischen Lotsen und Piloten über einen Sprachkanal ausgetauscht. Das elektronische System erfährt davon erst durch Änderung der Flugbahn der Flugzeuge aus den Radardaten mit bis zu 30 Sekunden Verzögerung. Und selbst dann ist das System nicht in der Lage, zu antizipieren wie die Freigabe des Lotsen gelaute hat. Aufgrund der späten und kaum exakten Feststellung der tatsächlichen Flugführung kann die Planung des Assistenzsystems erst verspätet nachgefahren werden und ist selbst dann nur noch von eingeschränktem Nutzen für den Lotsen.

Das AcListant-System plant, diesen Nachteil zu beheben, indem es die Kommunikation zwischen Lotse und Pilot analysiert und als zusätzliche Informationsquelle berücksichtigt. Ermöglicht wird diese Verbesserung durch eine Erweiterung des Assistenzsystems um eine Sprachverarbeitungskomponente. Die Planung informiert die Sprachverarbeitung über erwartete Lotsenanweisungen, d.h. sie liefert ständig aktuelle Kontextinformationen. Die Sprachverarbeitung erkennt die Sprachkommandos unter Verwendung dieses von außen gelieferten Kontextes. Das Assistenzsystem kann dadurch seine Planungsgrundlagen, d.h. sein Wissen über mögliche zukünftige Systemzustände, ständig und frühzeitig verbessern.

These der Untersuchungen ist, dass AcListant die Nutzer eines Assistenzsystems von der Aufgabe entlastet, über eine ggf. komplexe Benutzerschnittstelle manuelle Eingaben in das Assistenzsystem vorzunehmen. Das Assistenzsystem unterstützt den Bediener und fordert

nun nicht mehr die umgekehrte wenig effektive Unterstützung vom Bediener ein.

Obwohl AcListant als Projekt noch nicht abgeschlossen ist, lässt sich auf Grundlage der bereits jetzt feststehenden Untersuchungsergebnisse aus den Echtzeitsimulationen (s. Abb. 3) ableiten, dass Spracherkennung die Arbeitsbelastung von Fluglotsen in relevantem Maße zu senken vermag und eine bessere Unterstützungsleistung des AMAN-Systems ermöglicht. Der Zeitraum, in dem die vom AMAN geplante Flugbahn von der tatsächlich geflogenen Flugbahn abweicht, konnte mit Spracherkennungserkennung halbiert werden. Die Unterstützung erstreckt sich potentiell auch auf bessere Informationen bzgl. der verbleibenden Restflugstrecke, die z.B. relevant ist für die Umsetzung eines Continuous Descent Approaches. Im Februar und März 2015 wurden beim DLR in Braunschweig Simulationen mit 11 Lotsen aus Düsseldorf, München, Frankfurt, Wien und Prag durchgeführt. Die Erstverschriftung der Sprachaufnahmen deutet auf durchschnittliche Erkennungsraten von über 90% und Fehlerraten unter 3% hin. Erreicht wird diese im Vergleich zu anderen Spracherkennern sehr gute Erkennungsrate durch die Nutzung des Kontextwissens aus dem AMAN, sodass die Menge der aktuell sinnvollen Lotsenkommandos drastisch eingeschränkt wird. Ohne Nutzung von Kontextwissen müssen Erkennungsraten von 70% bei Fehlerraten größer 15% akzeptiert werden.

Als Nebeneffekt zeigt sich, dass Spracherkennung die Arbeitsbelastung des Lotsen signifikant reduzieren kann, wenn sie die Eingabe von Flugverkehrskontrolle anweisungen bei papierstreifenloser Dokumentation unterstützt. In einer beantragten Projektverlängerung soll

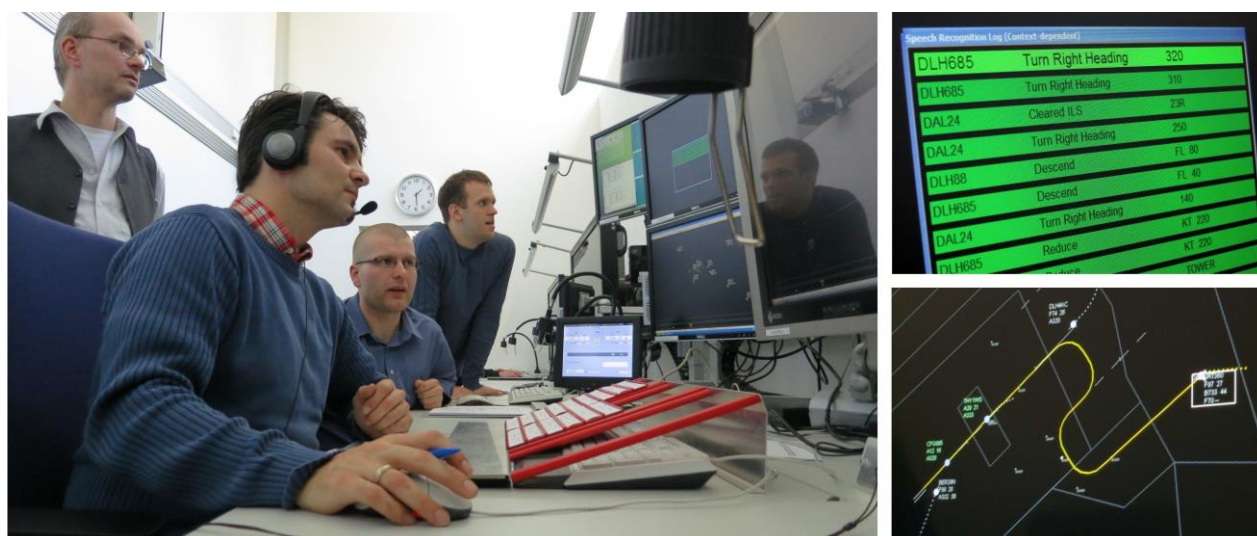


Abb. 3: Erste AcListant-Validierungen beim DLR

dieser Effekt quantitativ untersucht werden. Insbesondere wird untersucht, ob durch Spracherkennungunterstützung der Einbruch des Verkehrsdurchsatzes beim Übergang von Papierstreifen zu elektronischen Flugstreifen abgemildert werden kann. Entsprechende Untersuchungen mit Unterstützung der DFS und Austro Control sind für Ende 2015 vorgesehen.

Erfahrungen mit Spracherkennung beim DFS Tower Flight Data Processing System TFDPS

Aufbauend auf den guten Erfahrungen mit Spracherkennung in den Simulationssystemen der DFS regte Ende 2012 das DFS-Innovationsboard an, für den Tower Düsseldorf eine prototypische Anwendung zu entwickeln, die im System TFDPS (Tower Flight Data Processing System) Spracherkennung nutzt. Das System wird damit in die Lage versetzt, Freigaben des Lotsen zu erkennen und darauf aufbauend relevante Informationen auf dem TFDPS-Bildschirm optisch hervorzuheben. Zusätzlich wurde eine Funktion entwickelt, die die tatsächlich gesprochene Landefreigabe mit den im System hinterlegten Daten abgleicht und bei Non-Konformität eine Warnung ausgibt. So wird der Lotse automatisch darauf aufmerksam gemacht, wenn ein Flugzeug beispielsweise laut TFDPS auf der Piste 23L landen soll, allerdings eine mündliche Freigabe zur Landung auf der Piste 23R erteilt wird. Neben Rufzeichen und Landefreigabe wurden zudem weitere Freigaben wie z.B. Tiefanflug, Aufsetzen und Durchstarten, Startfreigabe sowie Anweisungen zum Kreuzen der Bahn erkannt und vom System automatisch eingepflegt.

Der Standort Düsseldorf wurde ausgewählt, da dort ein Assistenzsystem aufgrund der hohen Arbeitsbelastung bestimmter Positionen im Tower einen sichtbaren Nutzen schaffen und diese Entlastung ggf. eine Kapazitätssteigerung am Flughafen unterstützen könnte.

In zwei je einwöchigen Simulationskampagnen am Standort Düsseldorf wurde 2014 die Spracherkennung im System TFDPS zusammen mit den Fluglotsen unter realistischen Bedingungen am örtlichen Towersimulator validiert. Die Ergebnisse zeigen eine äußerst hohe Erkennungsrate der Anweisungen. Rund 95% aller Anweisungen wurden korrekt erkannt und durch TFDPS entsprechend berücksichtigt.

Grenzen der Spracherkennung

So vielversprechend der Einsatz von Spracherkennung in der Flugsicherung scheint, umso sichtbarer sind auch noch deren Grenzen. Nicht praktikabel ist derzeit die Spracherkennung von pilotenseitigen Funksprüchen – dies haben vor einigen Jahren Tests ergeben. Grund dafür sind die schwankende Übertragungsqualität des Sprachsignals und die grundsätzlichen Eigenschaften einer amplitudenmodulierten Funkkommunikation. Für eine Nutzbarkeit der cockpitseitigen Sprachinformation ist noch weitere Forschungsarbeit zu leisten.

Grenzen werden auch sichtbar, wenn es um Abweichungen von der Standard-Phraseologie geht. Gerade in Sondersituationen treten diese auf – und würden ein Assistenzsystem ggf. genau dann überfordern, wenn es gerade am nötigsten gebraucht wird. Die Einsatzmöglichkeiten werden sich deswegen auch immer an der Qualität der Spracherkennung und an dem Aufwand einer manuellen „Nachbesserung“ orientieren.

Beispiele für Transmissions, die für den Spracherkennung schwierig zu interpretieren sind:

„lufthansa eight charly hotel you were supposed to continue on present heading turn now right on heading aeh two five zero“

➤ keine Standard-Phraseologie

„jat tree four two turn right heading tree four zero descend five thousand feet qnh one zero one four“

➤ Da gibt es aber nur eine JAT324

„air portugal five four two servus ils two tree right continue transition“

➤ keine Standard-Phraseologie

„lufthansa eight papa hotel servus ils two tree right descend flight level six zero and is checked“

➤ keine Standard-Phraseologie

„air berlin nine five zero charly descend correction on present heading cleared ils approach runway two tree right report established maintain highspeed“

➤ fehlerhafte (inkomplette?) Phraseologie

Im Training ist auch nicht das Ziel, eine vollständige Anwendung von VRR erreichen zu wollen. So scheint es aktuell nicht möglich, Spracherkennung in den Bereichen militärisches Training oder Notfalltraining einzusetzen, da in solchen Fällen auch wieder sehr wenig „Standard-

Phraseologie“ verwendet wird. Auch für Übungen mit simuliertem schlechtem Wetter ist eine stärkere vom Piloten getriebene Kommunikation notwendig, die durch VRR schwierig abzubilden ist.

Mit Fortschreiten der Technologie sowie Sammeln von Sprachdaten und Erfahrungen muss regelmäßig neu überlegt werden, bis zu welchem Grad des Trainings Spracherkennung sinnvoll einsetzbar ist, um den Faktor der menschlichen Stimme und des menschlichen Verhaltens nicht zu vernachlässigen, welches über die Simulationspiloten eingebracht wird.

Fazit und Ausblick

Neben den laufenden Arbeiten zur Nutzung von Spracherkennung im Training und Betrieb der DFS wird die DFS im aktuell in der Planung befindlichen europäischen Forschungsprogramm SESAR 2020 das Thema Spracherkennung treiben. Mögliche Beispiele für weiterführende Tätigkeiten im Bereich Spracherkennung sind:

- Spracherkennung für die Kommunikation der Lotsenseite, z.B. Nutzung der Freigaben als Eingaben im iCAS FDPS, Erzeugen von entsprechenden Datalink-Meldungen, Abgleich der Freigaben mit der Eingabe im System und Darstellung einer eventuellen Abweichung
- Spracherkennung für die pilotenseitige Kommunikation, z.B. Nutzung von Spracherkennung in Verbindung mit „Pilot calls“ zur Bereitstellung einer kostengünstigen Peiler-Funktion, Vergleich von readbacks mit Freigaben zur Identifikation falscher Rückmeldungen

In Summe scheinen diese Bestreben mittelfristig dazu zu führen, Spracherkennung in der Flugsicherung selbstverständlich werden zu lassen – solange das für jedes System immer neu zu berechnende Kosten-Nutzen-Verhältnis die Einführung stützt. Ein „Selbstläufer“ ist das Thema noch lange nicht, was die Rolle von Forschung und Entwicklung als Impulsgeber für Innovationen bis auf weiteres unterstreicht.

Referenzen

[1]	Spracherkennung findet Einzug in der DFS, Michael Slotty, Oliver Rühl in: TE im Fokus, Ausgabe 2/2012, DFS, 22.11.2012
[2]	Integration von Spracherkennung in die Mensch-Maschine-Interaktion am Fluglotsenarbeitsplatz,

	Dr. Thomas Bierwagen / Jürgen Vielhauer in: SE im Fokus, Ausgabe 2/2000, DFS, 24.11.2000
[3]	SEESAR P4.7.2: Konflikterkennung und -lösung für Radar- und Planungslotsen, Dr. Matthias Poppe, Stephan Herr, Dr. Andreas Herber, in: TE im Fokus, Ausgabe 1/2013, DFS, 07.06.2013

Abkürzungen

AcListant	Active Listening Assistant
ATCoach®, ATVoice®	Komponenten des DFS-Simulationssystems (Simulatorkern bzw. Sprachmodul)
Avoke	Produktname (Spracherkennungsmodul)
BA-FVD	Betriebsanweisung Flugverkehrsdienste
CATO	Controller Assistance Tools
CPDLC	Controller Pilot Datalink Communication
FDPS	Flight Data Processing System
iCAS	iTEC Center Automation System
iPort	Innovativer Airport
iTEC	Interoperability Through European Collaboration
Pre-OJT	On-the-Job Training, Ausbildung am Arbeitsplatz (erste Stufe)
PSS	Paperless Strip System
PTT	Push-to-talk
SEESAR	Single European Sky ATM Research
Siri	Speech Interpretation and Recognition Interface
VRR	Voice Recognition and Response

Videos

Relevante Videos zum Thema (siehe Hyperlinks):

- [Video aus dem Projekt AcListant, das die Vorteile bei einem AMAN-System illustriert](#)
- [„Voice Recognition and Response“ \(VRR\) für das Training in München](#)
- [bilinguale Spracherkennung im Towersimulator](#)

Die Hyperlinks können der elektronischen Version im Internet entnommen werden (www.dfs.de > Flugsicherung > F&E > Servicebereich).

Potential einer verbesserten Sichtweitenprognose durch Analyse von aktuellen Nebelfällen am Flughafen München

Stefan Schwanke, Kjell zum Berge, Dr. Andreas Herber

Einleitung

Vorliegender Artikel basiert im Wesentlichen auf einer Diplomarbeit, die im Rahmen des Forschungsprojekts TeFiS¹ (Technologie für Flugverkehrsmanagement in großen Strukturen) bei der DFS in Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig, Institut für Flugführung, durchgeführt wurde [1]. Die Arbeit bewertete anhand der aktuellen Nebelsituation am Beispiel „Flughafen München“, welchen Nutzen eine Sichtweitenprognose haben kann. Sie führte frühere Arbeiten zum Thema Wetter im Projekt iPort² (innovativer Airport) fort [2], [3].

Motivation und Zielsetzung

Der Flugverkehr wird durch verschiedene Wetterausprägungen negativ beeinflusst. Ein besonderes Phänomen vor allem im Nahbereich von Flughäfen bzw. auf dem Flughafengelände ist der Nebel. Sinken die Pistensichtweite oder die Vertikalsicht bis zur Hauptwolkenuntergrenze unter einen Grenzwert, werden bereits erste vorbereitende Maßnahmen hinsichtlich der Einführung von sog. *Low Visibility Procedures* (LVP) getroffen [1]. Vor allem das längerfristige Anhalten der damit verbundenen Betriebsstufen (BS bzw. CAT II - III) beeinflusst durch die notwendige Staffelerhöhung den abfliegenden und ankommenden Flugverkehr negativ, so dass in Zeiten mit hoher Verkehrsnachfrage mit Regulierungen reagiert werden muss. Warteschleifen, Verspätungen, Umleitungen zu anderen Flughäfen oder Annullierungen können die Konsequenzen sein. Um diesen wirtschaftlichen Schaden für unsere Kunden möglichst zu verringern, sollen am Münchener Flughafen im Rahmen des zu Beginn erwähnten Forschungsprojekts (Teilprojekt 3) zusammen mit den Partnern DWD und METEK neue meteorologische

Messgeräte beschafft, getestet und bei positiver Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anschließend in Betrieb genommen werden. Vor allem mit Hilfe von Daten aus SODAR³ (Sound Detection and Ranging) und Wolkenradar, die ein empirisches Modell des Wetterdienstes erweitern, soll die Prognose von Zeiten mit geringer Sichtweite, insbesondere die wichtigen Momente der Entstehung und der Auflösung von Nebel verbessert werden, um Verkehrsflussmaßnahmen zielgerichteter einsetzen zu können.

Die Vorarbeiten der statistischen Analyse der Nebelsituation der letzten Jahre am Flughafen München dienten als Ausgangslage und Vorbereitung der geplanten Messkampagnen in den Wintern 2015/16 und 2016/17 sowie der ersten Konzeption der Nutzenbewertung einer verbesserten Nebelprognose für die Flugsicherung.

Datenerhebung, Datengrundlage und Auswertekonzept

Der Münchener Flughafen befindet sich in einem ehemaligen Moorgebiet, dem sogenannten Erdinger Moos. Da noch heute der Untergrund feuchter als die restliche Umgebung ist, handelt es sich um ein Gebiet, welches für die Entstehung von Nebel prädestiniert ist. Dieser entsteht dort laut der Klimatologie des Deutschen Wetterdienstes (DWD) durchschnittlich an etwa 70 Tagen im Jahr. Damit ist der Flughafen München der nebelreichste Flughafen Deutschlands, vor allem was die Bildung von Strahlungsnebel⁴ betrifft; er eignet sich somit besonders für die zuvor erwähnten Sichtweitenanalysen.

Bei Nebel handelt es sich um Kondensation bzw. Sublimation von Wasserdampf an oder dicht über der

¹ TeFiS ist ein national gefördertes Projekt im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms LuFo V (Laufzeit 01.01.2014 – 31.03.2017).

² iPort war ein national gefördertes Projekt im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms LuFo IV (Laufzeit: 01.01.2009 – 31.12.2012).

³ Sound Detection and Ranging, akustisches Verfahren der Abstrahlung von gebündelten Schallimpulsen in die Atmosphäre und Auswertung der Rückstreuung

⁴ Strahlungsnebel gehört zum Nebeltyp Abkühlungsnebel und bildet sich, wenn die Temperatur der Erdoberfläche durch nächtliche Ausstrahlung absinkt und dabei auch die bodennahe Luftschicht unter den Taupunkt abgekühlt wurde.

Erdoberfläche. Liegt die horizontale Sichtweite für einen Beobachter unter 1000 m, spricht man meteorologisch von Nebel. Als Nebeltag wird in der Klimatologie ein Tag bezeichnet, an dem die horizontale Sichtweite mindestens in einem Sektor von 90° bezogen auf die Himmelsrichtungen im Zeitraum zwischen 00:00 und 24:00 Uhr Lokalzeit einmal unter den Wert 1000 m fällt. Für eine detaillierte meteorologische Betrachtung zu den Mechanismen der Nebelbildung und verschiedenen Nebelarten wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (z.B. [4] und [5]). Für den Luftverkehrsbetrieb existiert in Deutschland in Abhängigkeit der erfassten Pistensichtweite und Entscheidungshöhe für den Piloten eine Einteilung in Betriebsstufen, um Prozesse am Flughafen entsprechend der verringerten Sichtweite anpassen zu können (s. Tabelle 1⁵). Über die jeweils geltende Betriebsstufe werden u.a. sowohl Piloten, Luftverkehrsgesellschaften und Flughafenbetreiber informiert.

Zur adäquaten Erfassung und Vorhersage von widrigen Sichtbedingungen im Flughafennahbereich und zur Einteilung in die zuvor erwähnten Betriebsstufen sind verlässliche meteorologische Messwerte von besonderer Wichtigkeit. Am Flughafen München werden diese an verschiedenen Messpunkten mit unterschiedlicher Messinstrumentierung, wie in Abbildung 1 dargestellt, erhoben. Die minutlichen Durchschnittswerte für die Pistensichtweite aus allen acht Scatterometern⁶ A-H werden den Towerlotsen zeitlich gleitend gemittelt alle 10 Sekunden angezeigt. Mitentscheidend für die Einteilung in die Betriebsstufen ist der der Landebahnschwelle je nach Betriebsrichtung örtlich am nächsten liegende Wert der Pistensichtweite (z.B. der Wert aus Scatterometer D für die Bahn 08L, s.

Abbildung 1). Zusätzlich sind an den vier Bahnköpfen Ceilometer⁷ für die Erfassung der Rückstreuintensität zur Ermittlung der Vertikalsicht bei einer erkennbaren Hauptwolkenuntergrenze aufgestellt. Die Bodenwindrichtung und -stärke wird ebenfalls an vier Messstationen über Anemometer entlang der Start- und Landebahnen erhoben und den Towerlotsen unmittelbar angezeigt. Abbildung 1 zeigt weiterhin die Position der zusätzlichen Messgeräte SODAR und Wolkenradar während der bereits stattgefundenen sowie den zukünftigen Sichtweitenmesskampagnen im östlichen Bereich der Südbahn.

Weitere für die Nebelerfassung wichtige Informationen werden der Flugsicherung und dem Flugbetrieb in Flugplatznähe unter anderem in Form von standardisierten Routinewettermeldungen (METAR) halbstündlich übermittelt. Die METAR-Meldungen enthalten Messdaten und aktuell beobachtete Werte zur minimalen horizontalen Haupt- und Richtungssichtweite (über Sichtmarken aus der Wetterberatung), Umgebungstemperatur und Taupunkttemperatur. Bei Über- oder Unterschreitung gewisser Alarmwerte erfolgt nach Bedarf zusätzlich ein SPECI-Bericht [8]. Bei diesen Daten handelt es sich um gemittelte Werte der letzten 10 Minuten in einem Beobachterfeld um den Flughafenbezugspunkt mit einem Radius kleiner 8 km. Die Meldung der ebenfalls entscheidenden Hauptwolkenuntergrenze für die Fluglotsen (s. Tabelle 1) erfolgt bislang bei einem Wolkenbedeckungsgrad des Himmels von mehr als 5/8 (Broken BKN und Overcast OVC) ebenfalls in einem METAR/SPECI Bericht, der den Towerlotsen zur Verfügung steht. Die am Boden

Betriebsstufen	Entscheidungshöhe (<i>decision height</i>)	Pistensichtweite (<i>runway visual range</i>)
Betriebsstufe I (CAT I)	≥ 200 ft	≥ 550 m
Betriebsstufe II (CAT II)	100 ft ≤ DH < 200 ft	300 m ≤ RVR < 550 m
Betriebsstufe IIIa (CAT IIIa)	50 ft ≤ DH < 100 ft	200 m ≤ RVR < 300 m
Betriebsstufe IIIb (CAT IIIb)	0 ft < DH < 50 ft	75m ≤ RVR < 200 m
Betriebsstufe IIIc (CAT IIIc)	0 ft	0 m

Tabelle 1: Einteilung der Betriebsstufen [6]

⁵ Die DFS hat in ihrer Betriebsanweisung zum Teil höhere Mindestsichtweitenwerte angegeben, um sich einen zeitlichen Sicherheitspuffer für die Vorbereitung- und Übergangsphasen einzurichten [7].

⁶ Streustrahlungsmesser

⁷ Laser-Wolkenhöhenmesser, Wolkenradar

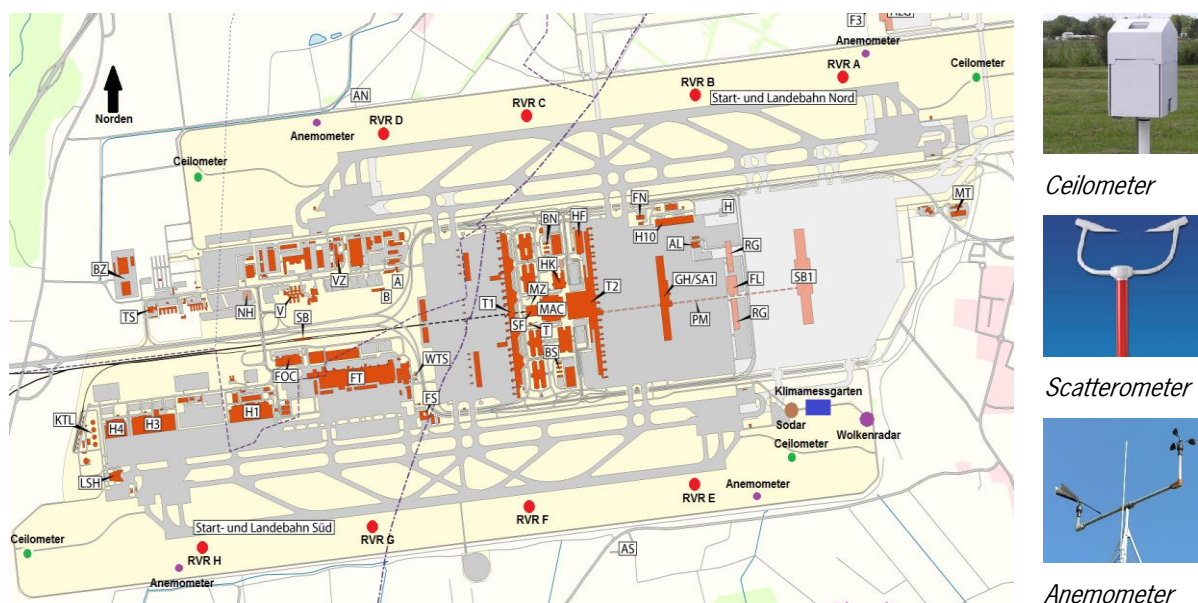


Abb. 1: Messsysteme und Messpunkte am Flughafen München mit Fokus Nebel [1]

gemessenen Daten für Pistensichtweite und Hauptwolkenuntergrenze dienen als Ersatzinformation für die eigentlich aus dem Cockpit einzuschätzenden Werte, die Grundlage für die Einteilung in die Betriebsstufen sind (s. Tabelle 1).

Neben den aktuellen Wetterdaten zur Erfassung von geringen Sichtweiten stehen der Flugsicherung auch Vorhersagen zu Nebelsituationen zur Verfügung. Dies sind zum einen Trendmeldungen in METAR (2h im Voraus) und zum anderen bis zu siebenstündige horizontale und vertikale Sichtweitenentwicklungen auf Basis des sogenannten *Nowcast* aus dem webbasierten *Meteorological Airport Briefing* wie in Abbildung 2 dargestellt. Das Produkt *Nowcast*, welches mehrmals am Tag, zum Teil stündlich, auf der Grundlage von Messungen und Modellrechnungen aktualisiert wird, ist u.a. auf Anregung von DFS und Fraport in Zusammenarbeit mit dem DWD entstanden und berücksichtigt die Besonderheiten der jeweiligen Flughäfen. Unter dem *Nowcast*-Bericht sind die entsprechenden Farbcodierungen für horizontale Sichtweite (*visibility*), Hauptwolkenuntergrenze (*ceiling*) und Temperatur zu sehen. An dem gezeigten Beispieltag wurde frühmorgens starker Nebel vorhergesagt (FG), der vor allem aus der niedrigen Wolkendecke resultierte.

Um einen Gesamtüberblick zur Analyse der Nebelsituation geben zu können, wurden zunächst meteorologische Daten hinsichtlich der Anzahl und Verteilung von Zeiten mit geringen Sichtweiten für den Flughafen München gesammelt und ausgewertet. Dazu wurden die horizontale Sichtweite, die

Hauptwolkenuntergrenze (HWUG), die Luft- und Taupunkttemperatur, Bodenwindrichtung und Bodenwindgeschwindigkeit aus den METAR-Meldungen für den gesamten Zeitraum untersucht, der jeweils die Monate zwischen 01. Oktober und 30. April für die Wintersaisons 2011/12, 2012/13 und 2013/14 umfasste. Zur Schaffung einer vergleichbaren Datenbasis für die im Anschluss geplante Messkampagne in München (Winter 2015/16, Winter 2016/17) wurden die Monate Mai, Juni, Juli, August und September von der Auswertung ausgeschlossen. Zudem standen für den Betrachtungszeitraum minütliche Pistensichtweitenwerte aus den Scatterometern A-H (s. Abbildung 1 für die Messinstrumentierung) sowie die Sichtweitenedaten *Nowcast* zur Verfügung. Sämtliche meteorologischen Daten wurden für den Analysezeitraum vom DWD mit Datum und Erhebungszeitpunkt (UTC) versehen geliefert.

In Ergänzung der Wetterdaten standen für den gleichen Beobachtungszeitraum Flugbewegungsdaten, CAT II/III Betriebszeiten sowie nebelbedingte Verspätungsdaten und Regulierungsangaben aus der Tower-Niederlassung München bzw. dem Lage- und Informationszentrum (LIZ) der DFS zur Auswertung zur Verfügung.

Das Auswertekonzept bestand in einem ersten Schritt darin, Nebeltage und Nebelereignisse anhand der horizontalen Sichtweite, aufgeteilt nach Haupt- und Richtungssicht, und der Hauptwolkenuntergrenze nach der meteorologischen Definition mittels METAR-Daten zu identifizieren [9]. Auf Basis dieser Auswertung wurde eine monatliche bzw. eine tageszeitliche Übersicht

NOWCAST MÜNCHEN AIRPORT 25.10.2014 03:02 UTC

Wetter	Morgens noch Hochdruckeinfluss mit Nebel. Ab dem Vormittag durchzug einer Warmfront mit Wolkenfeldern und etwas Regen am Nachmittag.							
TIME (UTC)	03	04	05	06	07	08	09	10
WIND DIRECT	100	100	100	100	100	120	130	140
WIND SPEED (KT)	3	3	3	3	3	3	3	3
GUSTS (KT)								
GUSTS DIRECTION								
WEATHER	FG	FG	FG	FG	FG	FG	BR	--
TEMPO								
PROB TEMPO (%)								
VIS	600 - 1500 m	600 - 1500 m	600 - 1500 m	600 - 1500 m	600 - 1500 m	600 - 1500 m	1500 - 5000 m	> 5000 m
ABWEICHUNG		300 - 600 m	300 - 600 m	300 - 600 m	300 - 600 m	300 - 600 m	600 - 1500 m	1500 - 5000 m
PROB ABWEICHUNG (%)								
CEILING	< 200ft	< 200ft	< 200ft	< 200ft	< 200ft	< 200ft	200 - 500 ft	500 - 1000 ft
ABWEICHUNG								
PROB ABWEICHUNG (%)								
WIND 3000 Ft AGL	150/005			150/005			200/005	
Lufttemperatur (°C)	4	4	3	3	3	4	5	7
Belagzustand	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken	trocken
Neuschneehöhe (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0
QNH (hPa)	1020	1020	1020	1020	1021	1021	1021	1021

Legende

Visibility	< 300 m	300 – 600 m	600 – 1500 m	1500 – 5000 m	> 5000 m
Ceiling	< 200 ft	200 – 500 ft	500 – 1000 ft	1000 – 1500 ft	> 1500 ft
Temperature	< 0 °C	0 – 3 °C	> 3 °C		

Abb. 2: Nowcast vom 25.10.2014, 03:02 UTC für den Flughafen München (Quelle: DWD)

erstellt, die durch eine Untersuchung des aufgetretenen Nebeltyps (z.B. Strahlungs- oder Advektionsnebel), der vorhandenen Bodenwindgeschwindigkeits- und Temperaturverteilung meteorologisch ergänzt wurde. Bereits zuvor wurde beschrieben, dass Lufttemperatur, Taupunkttemperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung wichtige Faktoren für die Bildung und Auflösung von Nebel sind. Speziell die Windrichtung ist von Interesse, da Nebel am Flughafen München besonders häufig bei leichtem Wind aus Nordosten und Osten auftritt [10].

Größere Bedeutung im Rahmen des Auswertekonzepts hatte aber die Erweiterung der identifizierten Nebelereignisse mit Flugsicherungsdaten hinsichtlich aufgetretener CAT II/III Dauer, Verkehrsfluss- und Verspätungswerten. Um die über einen längeren Zeitraum getroffenen Aussagen an einigen Beispielen zu verdeutlichen, wurden auch einzelne, besonders markante Tage gezielt betrachtet.

Auswertungen

Meteorologische Auswertung

Inhalt dieses Abschnitts ist die Auswertung der meteorologischen Daten, die überwiegend aus

halbstündlichen METAR-Meldungen extrahiert und analysiert wurden. Zunächst erfolgt eine Betrachtung der Klimatologie des Nebels, wobei Nebelereignisse und Nebeltage unterschieden werden (s. auch vorherigen Abschnitt). Auf Grundlage dieser Nebelereignisse wurden Nebelarten unterschieden und deren Häufigkeit dargestellt. Anschließend wurden die bestimmenden Faktoren für das Ausmaß des Nebels – Sichtweite, HWUG, Wind und Temperatur – für die definierten Winterzeiträume analysiert.

Es konnten insgesamt 143 Nebeltage und 147 Nebelereignisse gemäß der zuvor getroffenen Definitionen in den Wintermonaten Oktober bis April der Winter 2011/12 (53 Nebeltage), 2012/13 (39) und 2013/14 (51) festgestellt werden. Das entspricht im Mittel 47,6 Nebeltagen pro Winter. Abbildung 3 zeigt die zeitliche Verteilung der Nebeltage und Nebelstunden über die einzelnen Monate. Dabei wurde zwischen zwei Fällen unterschieden. Kommt es in einem kleinen, himmelsrichtungsbezogenem Gebiet zu einem Zeitpunkt im Tagesverlauf zu einer horizontalen Sichtreduktion auf weniger als 1000 m (Richtungssicht), obwohl die Hauptsicht sonst die gesamten 24 Stunden über 1000 m Sicht liegt, wird dieser Tag trotzdem als Nebeltage gewertet.

Der zweite Fall ist die ausschließliche Betrachtung der Hauptsicht, dabei entfallen allerdings etwa 16% der gesamten Nebeltage, da die richtungsabhängige minimale Bodensicht nicht berücksichtigt wurde. Vor allem in den Herbst- und Frühlingsmonaten tritt eine minimale Horizontalsicht mit Richtungsbezug vor allem im Bereich der Nordbahn auf (einzelne Nebelschwaden Richtung N, NO, NW bezüglich des Towers). Besonders auffällig ist der November 2011, er enthält alleine bereits 17,5% aller Nebeltage. Die anderen Winter erreichen Spitzenwerte um 10-15 Nebeltage pro Monat. Die ungleiche Verteilung der Nebeltage und Nebelereignisse der einzelnen Winter unterstützt die Betrachtung eines Auswertzeitraums von mehreren Wintern, um nicht zu verzerrten Ergebnissen aufgrund von Einzelbetrachtungen weniger Monate zu gelangen. Es können im Rahmen des vorliegenden Artikels nicht alle Ergebnisse gezeigt werden, hierzu sei auf [1] verwiesen.

Die am häufigsten vertretene Nebelart ist der Strahlungsnebel (53,7%), gefolgt vom Advektionsnebel (20,4%) und Nebel durch Wolkenabsenken (7,48%). Niederschlagsnebel kam mit 3,4% aller Ereignisse nur sehr selten vor, jedoch häufiger als der Verdunstungsnebel, der überhaupt nicht entstand. In

14,97% der Fälle konnte das Nebelereignis keiner der Nebelarten zugeordnet werden. 22 der 169 Ereignisse entstanden aufgrund einer Sichtreduktion infolge von Niederschlag (z. B. Schneefall, Regen) und wurden somit nicht als Nebel eingeordnet. Die Einteilung erfolgte nach den in [10] aufgestellten Kriterien eines Entscheidungsbaums. Wie in Abbildung 4 dargestellt, entsteht Nebel zu großen Teilen abends, nachts und in den Morgenstunden. Am häufigsten wurde Nebel zwischen 23 Uhr und 6 Uhr UTC des Folgetages festgestellt. Die Kurve fällt gegen 7 Uhr morgens sehr stark ab. Die aufgehende Sonne erwärmt den Boden und die darüber liegenden Luftschichten, der Wind nimmt häufig etwas zu, was zusammen oder auch einzeln zu einer Nebelauflösung führt. Erst am späten Nachmittag, gegen 17 Uhr, nimmt das Potential zur Nebelbildung wieder zu und steigt bis Mitternacht stetig an. Der Vergleich zeigt einen ähnlichen Verlauf für alle drei untersuchten Winterzeiträume. Speziell der Winter 2013/14 weist ein ausgeprägtes Maximum in den frühen Morgenstunden auf, während der Winter 2012/13 sein Maximum in den Nachtstunden hat. Für den Flugverkehr ist wie in Abbildung 5 aufgezeigt besonders die Zeit während des Betriebes des Flughafens interessant, in

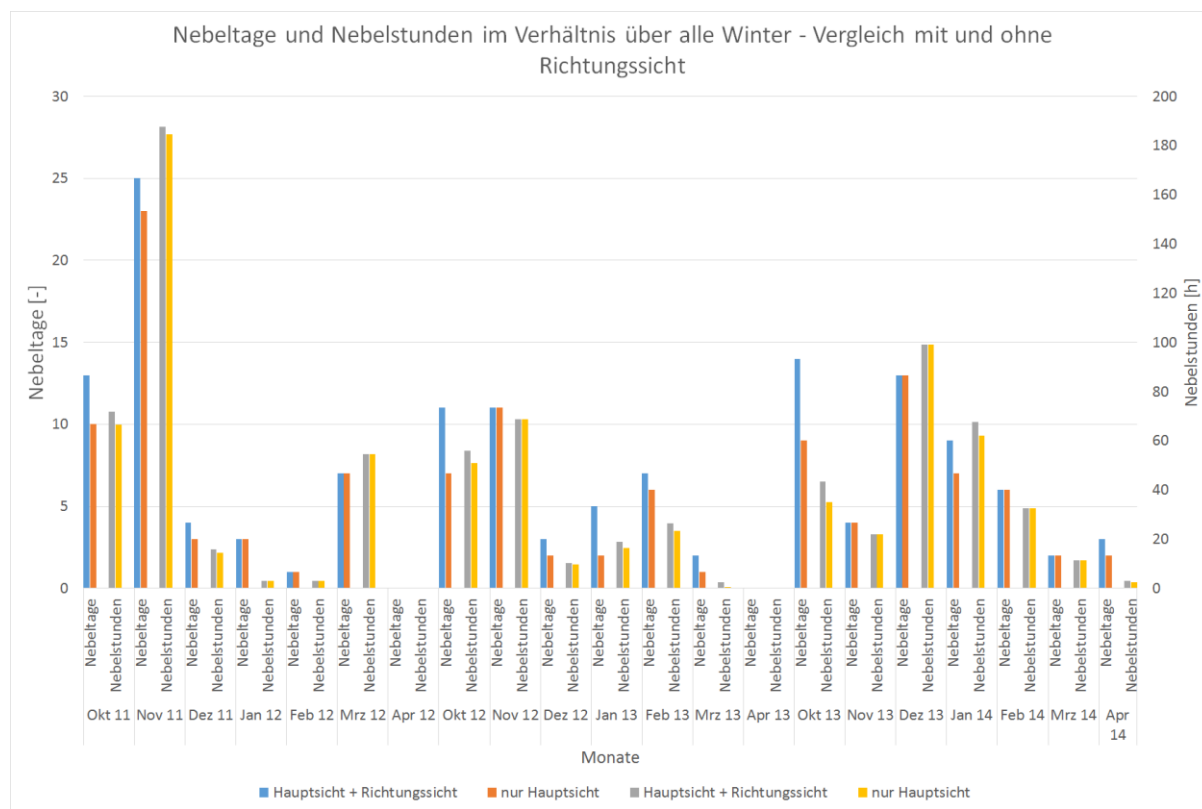


Abb.3: Monatliche Verteilung der Nebelstunden und -tage

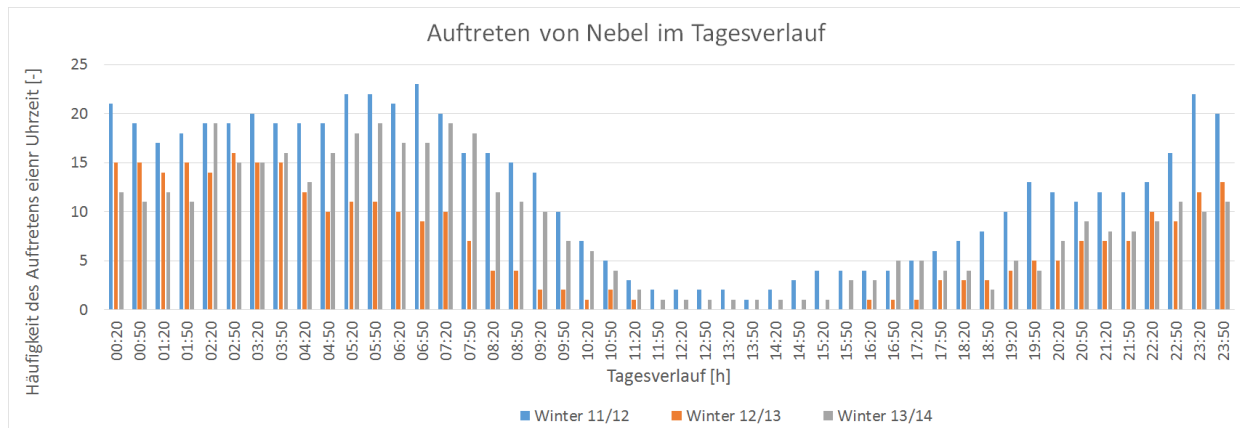


Abb.4: Zeitliche Verteilung von horizontalen Sichtweiten über den Tag

München also ein Zeitraum zwischen 6 Uhr morgens und 22 Uhr abends (Lokalzeit).

Flugsicherungsbezogene Auswertung

Nachdem mit der meteorologischen Auswertung im vorherigen Abschnitt die Nebeltage und die kritischen Uhrzeiten für Nebel herausgearbeitet wurden, sollen nun die Konsequenzen anhand von Flugdaten und Verspätungsdaten gezeigt werden. Zu diesem Zweck wird zunächst das Verkehrsaufkommen am Flughafen München über den Tagesablauf analysiert (s. Abbildung 5). Hier zeigt sich, dass das Verhältnis von Starts und Landungen über den gesamten Tag ziemlich ausgeglichen ist. Gerade in den Morgen- und Abendstunden führen geringe Sichtweiten aufgrund der

zunehmenden Nachfrage zu deutlichen Verspätungswerten. Wie weiterhin zu erkennen ist, landen nur wenige Luftfahrzeuge zwischen 0 und 4 Uhr UTC morgens (Post, Fracht, Wartung etc.). Der reguläre Flugverkehr beginnt erst ab 6 Uhr morgens Lokalzeit. Der Eckwert für Starts und Landungen am Flughafen München liegt bei 90 Bewegungen pro Stunde. Interessant ist der Unterschied der Betriebsrichtung an Nebeltagen im Vergleich zur Gesamtheit der Tage. Betrachtet man das ganze Jahr, ergeben sich etwa 60% für Betriebsrichtung 26 und nur etwa 40% für 08. An Nebeltagen hingegen ergibt sich eine umgekehrte Verteilung. Hier wird die Betriebsrichtung 08 zu etwa 60% verwendet, während nur 40% der An- und Abflüge bei BR 26 stattfinden. Dieser Umstand wird durch die

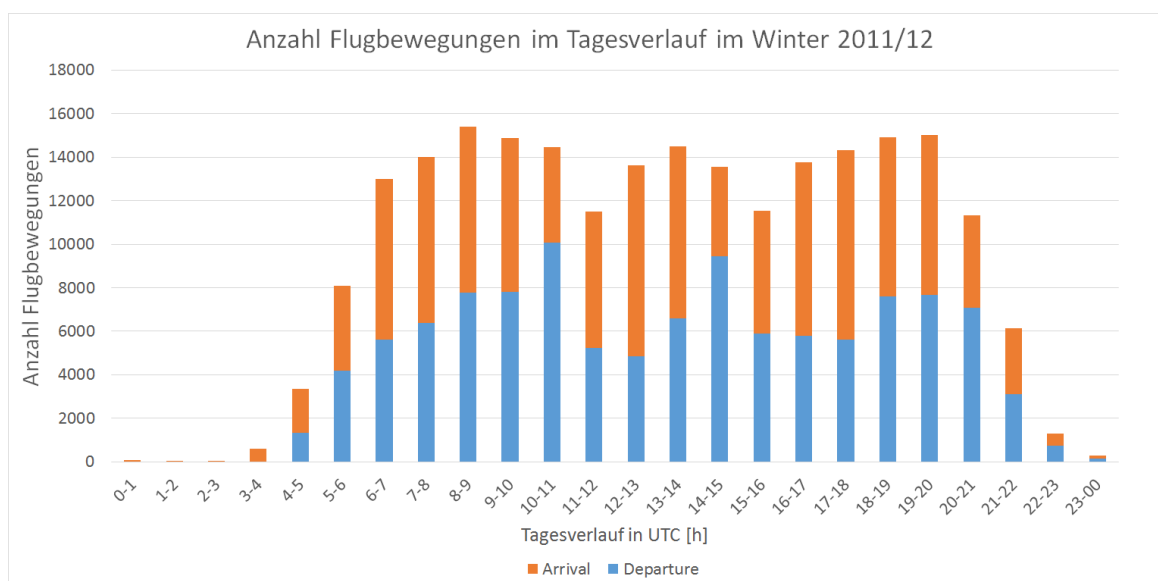


Abb.5: Flugbewegungen des Winters 2011/12 im Tagesverlauf

häufig auftretende östliche Windkomponente bei Nebel hervorgerufen [1].

Wird die horizontale oder vertikale Sichtweite am Flughafen unterschritten, wird der Betrieb je nach Intensität der Sichteinschränkung mit Betriebsstufe II oder Betriebsstufe III durchgeführt, was zu größeren Staffellungswerten zwischen den an- und abfliegenden Flugzeugen und somit zu Verspätungen führt. Um eine Aussage über ein mögliches Einsparpotential bei nebelbedingten Verspätungen im Betrieb zu erhalten, wurden die Zeitspannen in denen Nebel vorhanden war, mit den entsprechenden CAT-Zeiten verglichen (s. Tabelle 2 und [1]). Ähnlich wie bei den zuvor dargestellten Nebeltagen, ist auch an dieser Stelle ein klarer Schwerpunkt in den Monaten Oktober und November erkennbar. Diese Daten wurden, ebenso wie Verspätungsdaten und Regulierungsinformationen vom LIZ geliefert. Zunächst mussten die

Steuerungsmaßnahmen aufgrund von verringerter Sicht bzw. Nebel identifiziert werden. Diese Einträge sind mit „W-Weather“ gekennzeichnet. Es kann sich dabei allerdings um alle wetterinduzierten Regulierungsgründe handeln. Neben Nebel können das Gewitter, starke Winde, Schnee oder ähnliches sein. Eine Unterscheidung dieser Wetterereignisse ist nur durch das Kommentarfeld am Ende der Tabelle bzw. einem Vergleich mit METAR und RVR-Daten des DWD möglich. Zur Auswertung herangezogen wurden nur Regulierungen, welche im Kommentarfeld ein „FOG“, „Low Vis“ oder ähnliches enthalten, die eine Regulierung aufgrund von Nebel bzw. widriger Sicht andeutet. Zwar kann sich Nebel am Flughafen auch auf Sektoren um den Flughafen auswirken, jedoch wurden keine sichtweitenbedingte Regulierungen mit „W-Weather“ für Sektoren außerhalb des Flughafens gefunden, wodurch nur Regulierungen direkt am Flughafen Beachtung

Winter 11/12	Okt 11	Nov 11	Dez 11	Jan 12	Feb 12	Mrz 12	Apr 12
CAT II Dauer Nordbahn [min]	649	2281	829	13	75	1955	2
CAT III Dauer Nordbahn [min]	2542	5564	48	16	129	711	12
CAT II Dauer Südbahn [min]	501	1772	159	47	14	1739	1
CAT III Dauer Südbahn [min]	2509	5393	108	20	132	663	228
Ø Verspät. / reg. Flug [min]	14,9	14,8	11,8	9,2	18	14,2	0
Ø Dauer Verspät. [min] / Dauer Reg. [min]	12,89	9,97	11,61	5,93	15	12,8	0

Winter 12/13	Okt 12	Nov 12	Dez 12	Jan 13	Feb 13	Mrz 13	Apr 13
CAT II Dauer Nordbahn [min]	645	1558	295	7	372	16	2
CAT III Dauer Nordbahn [min]	1461	1224	394	551	447	109	94
CAT II Dauer Südbahn [min]	748	1768	86	15	59	3	3
CAT III Dauer Südbahn [min]	1077	970	468	576	327	126	29
Ø Verspät. / reg. Flug [min]	12,8	10,9	13	7,8	12,3	10,9	0
Ø Dauer Verspät. [min] / Dauer Reg. [min]	15,33	8,26	9,76	2,36	5,24	11,22	0

Winter 13/14	Okt 13	Nov 13	Dez 13	Jan 14	Feb 14	Mrz 14	Apr 14
CAT II Dauer Nordbahn [min]	222	514	1253	1449	708	83	26
CAT III Dauer Nordbahn [min]	821	159	3944	1294	373	412	439
CAT II Dauer Südbahn [min]	182	220	417	1109	974	282	18
CAT III Dauer Südbahn [min]	900	335	2343	1827	523	396	276
Ø Verspät. / reg. Flug [min]	10,1	7	10,1	11,7	10,7	9	5,8
Ø Dauer Verspät. [min] / Dauer Reg. [min]	14,32	9,04	14,53	8,01	7,69	6,95	5,79

Tabelle 2: Übersicht über CAT II/III -Dauern der betrachteten Winterzeiträume

fanden. Alle anderen Regulierungen wurden ignoriert, da sie die Ergebnisse verfälscht hätten. Insgesamt konnten auf diese Weise über die drei Winterzeiträume 155 Regulierungen mit Nebelbezug identifiziert werden (Winter 11/12: 72, Winter 12/13: 36, Winter 13/14: 47). Ein Großteil der Regulierungen wurde von 4:45 Uhr bis 6 Uhr morgens gestartet, insgesamt begannen etwa 63% der Regulierungen vor 6 Uhr morgens (jeweils in UTC). Der andere große Cluster befindet sich in einem Bereich von 15 bis 21 Uhr UTC. Zusätzlich zur Dauer der jeweiligen Betriebsstufen enthält Tabelle 2 für die betrachteten Monate auch Angaben über die durchschnittliche Verspätungsdauer pro reguliertem Flug und das Verhältnis von gesamten Verspätungsminuten der regulierten Flüge zur Regulierungsdauer. Wie zu erkennen ist, liegt die gesamte Verspätungsdauer in allen Fällen um ein vielfaches höher, als die Dauer der Regulierung (meist bewegt sich das Verhältnis zwischen 7 und 14). Je höher die Anzahl an Flugbewegungen pro Regulierung, desto weiter steigt die Verspätung. Insgesamt ergaben sich über alle drei Winter Verspätungen in Höhe von 241 344 Minuten oder 4 022 Stunden. Einen großen Anteil hat dabei der Winter 11/12 mit 155 022 Minuten und damit

64% aller Verspätungen. Der November 2011 ist mit 94 042 Minuten der Monat mit den meisten Verspätungsminuten. Er alleine macht knapp 39% der Gesamtverspätungen und 61% der Verspätungen im Winter 2011/12 aus. Gründe dafür sind die hohe durchschnittliche Nebeldauer der Tage im November, die hohe Anzahl der Nebeltage und die Tatsache, dass die besonders intensiven Nebel den gesamten Tag über anhielten und somit in den Bereich des größten Verkehrsaufkommens fielen. Die anderen beiden Winter haben mit 45 237 Minuten (2012/2013) bzw. 41 085 Minuten (2013/2014) etwa gleiche Anteile an der Gesamtverspätung.

Einzelfallbetrachtung

Zusätzlich zu den aggregierten Daten wurden über 50 Einzelfälle betrachtet, die in [1] eingesehen werden können. Abbildung 6 zeigt für einen ausgewählten Beispieltag den 24h-Verlauf der Pistensichtweite für die Scatterometer D und H, was Betriebsrichtung 08 entspricht. Zu Beginn des Tages liegt die RVR bereits bei weniger als 300 m und somit im Bereich von CAT III (die

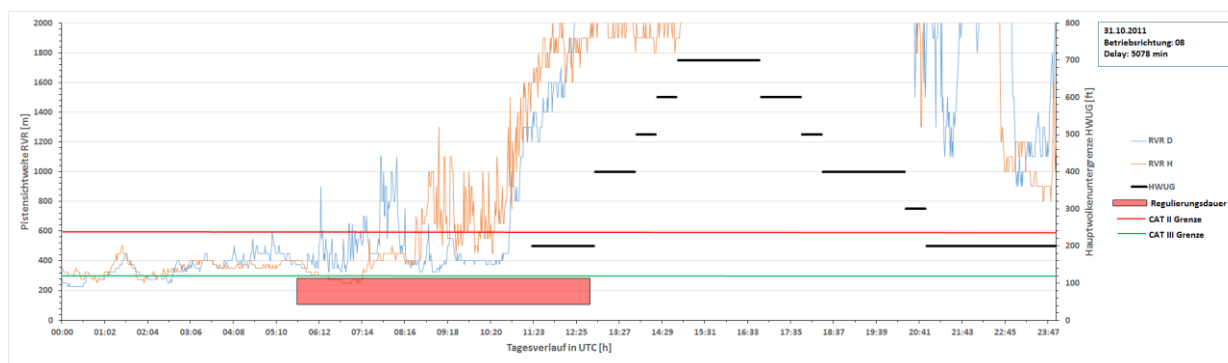


Abb.6: Einzelfallauswertung eines Nebeltages im Oktober 2011

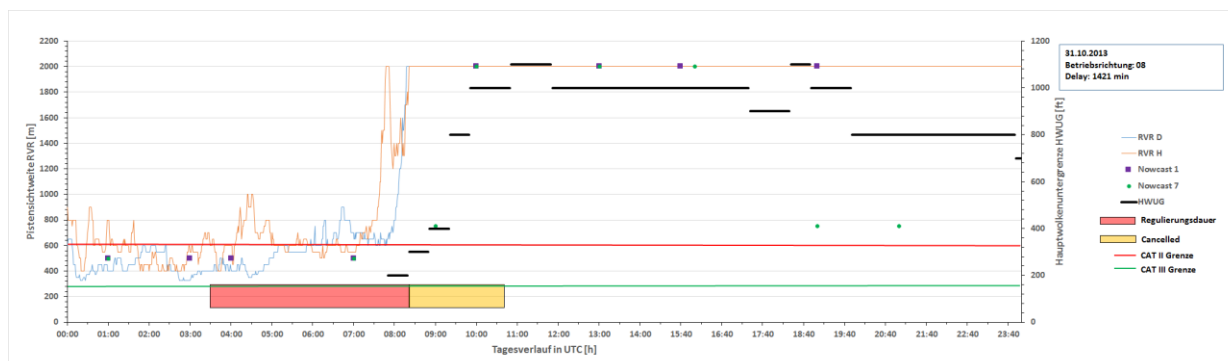


Abb.7: Einzelfallauswertung eines Nebeltages im Oktober 2013

Grenzwerte der Betriebsstufen hinsichtlich RVR sind mit den durchgezogenen Linien ebenfalls markiert). Morgens um 5:40 Uhr UTC wurde eine Steuerungsmaßnahme begonnen, welche bis einschließlich 12:50 Uhr UTC Bestand hatte (roter Balken). Zusätzlich eingetragen sind die Werte der bestimmten Hauptwolkenuntergrenze auf Basis von METAR-Berichten. Betrachtet man den Verlauf der RVR, steigt diese gegen 11 Uhr sprunghaft auf etwa 800 m und mehr an. Die Hauptwolkenuntergrenze liegt zu diesem Zeitpunkt bei einem Wert von 200 ft in METAR, welcher einer HWUG von 200 bis 299 ft entspricht und somit oberhalb der Grenzwerte von CAT II liegt. Der Regulierungsbeginn stellt einen typischen Zeitpunkt für Nebel in den Morgenstunden dar. Der Nebel ist zwar schon deutlich vorher vorhanden, die Betriebszeit des Flughafens beginnt jedoch erst um 6 Uhr morgens Lokalzeit. Die Regulierung wurde in diesem Fall also 40 Minuten nach Betriebsbeginn des Flughafens gestartet. Aus den 430 Minuten Regulierungsdauer haben sich 5078 Minuten Delay ergeben.

Es scheint auf Basis dieser Datenlage, dass die Verkehrsflussmaßnahme bei diesem Beispiel um 30 bis 60 Minuten hätte verkürzt werden können. Für weitere Entscheidungsfindungshinweise sind Einsichten in die Schichtbücher für das ausgewählte Beispiel sicher hilfreich. Dennoch zeigt der ausgewählte Tag das Potential einer auf diese Herausforderung entwickelten Nebelprognose mit hohen Eintreffwahrscheinlichkeiten, die es erlaubt, erste Regulierungsmodifikationen bereits gegen 12:00 Uhr UTC vorzunehmen. Es konnten mindestens 10 solcher Fälle mit einem möglichen Nutzenpotential identifiziert werden [1].

Wie hilfreich eine gute Sichtweitenprognose sein kann, zeigt ein Beispiel zwei Jahre darauf (s. Abbildung 7). Hier wurde bei eindeutig sich bessernder Wetterlage, aber auch unterstützt durch Vorhersagedaten aus *Nowcast* (viereckige Punkte) die Steuerungsmaßnahme frühzeitig abgebrochen.

Die Auswertungen, die in den vorherigen Abschnitten dargestellt worden sind, sollen im späteren Verlauf des Projektes mit den Ergebnissen zweier Messkampagnen am Flughafen München in den Wintern 2015/16 und 2016/17 verglichen werden, um durch die erhoffte Verbesserung eine Nutzenabschätzung für die

untersuchten meteorologischen Geräte (Wolkenradar, SODAR) als auch für die weiterentwickelten Sichtweitenprognosen unterstützen zu können.

Nutzenpotential und Anforderung an eine verbesserte Nebelprognose

Eine kundenorientierte Sichtweitenprognose kann zu positiven wirtschaftlichen Effekten führen, indem Verspätungen und Umweltbelastungen reduziert und die verfügbaren Flughafenkapazitäten besser ausgenutzt werden, wie im Ansatz durch die zuvor beschriebene Einzelfallauswertung aufgezeigt wurde. Kann mit Hilfe der neuen Messsysteme am Flughafen München eine Verbesserung erreicht werden, können die notwendigen Verkehrsflusssteuerungsmaßnahmen gegebenenfalls mit höherer zeitlichen Präzision im Hinblick auf Steuerungsbeginn bzw. Steuerungsende begonnen bzw. beendet werden.

Auf Basis der derzeit vorliegenden Datenlage⁸, scheint es nämlich, dass in manchen Fällen, nebelbedingte Steuerungen länger durchgeführt wurden als es nötig gewesen wäre. Diese Entscheidungen wurden auch durch eine nicht optimale und zielgerichtete Vorhersage beeinflusst, die derzeit im Wesentlichen durch das Produkt *Nowcast* (s. Abbildung 2) geleistet wird.

Eine Analyse der *Nowcast*-Meldungen zwischen Januar 2012 und April 2014 hat gezeigt, dass die bisherige Art und Weise der Sichtweitenprognose nicht ausreicht, um Nebelbeginn und -ende, und die damit verbundenen Handlungsaufgaben verlässlich vorherzusagen. Besonders kurze Nebelereignisse konnten nur sehr selten korrekt oder überhaupt vorhergesagt werden. Häufig wurde der Nebel erst kurz vor Beginn oder während der Nebelphase identifiziert. *Nowcast* liefert daher zwar dem Flugsicherungspersonal wichtige Anhaltspunkte über den Verlauf der Sichtweite für die nächsten sieben Stunden (in stündlicher Auflösung), es werden jedoch derzeit keine Steuerungsmaßnahmen durch das Personal auf Basis dieser Information initiiert. Grundsätzlich ist es wichtiger die Vorhersage der Nebelbildung zu verbessern, da auf eine Nebelauflösung schneller reagiert werden kann [1]. Um das Potential einer Nebelvorhersage besser ausschöpfen zu können und ggf. die Prognosequalität zu erhöhen, werden

⁸ Wenn möglich, scheint eine Ergänzung der Datenlage mit Tagesberichten der Wachleiter aus dem Center oder Tower sinnvoll.

folgende Verbesserungsmöglichkeiten zur Diskussion gestellt:

- Zeitlicher Prognosehorizont: 2h
- Ausgabe der Prognose in mindestens halbstündlichen Zeitscheiben
- Stündliches Update (wenn neue Beobachtungen, Messdaten und Modellläufe vorhanden sind)
- Angabe eines Wahrscheinlichkeitswerts, um die Güte der Vorhersage einschätzen zu können
- Überlegung, statt horizontaler Sichtweite eine Pistensichtweite, getrennt nach Nord- und Südbahn, vorherzusagen

Fazit

Die Untersuchungen haben bestätigt, dass der Flughafen München ein nebelreicher Flughafen ist und Nebel vor allem in nachfragestarken Morgen- und Abendstunden einen starken Einfluss auf den Betriebsablauf und die Kapazität hat. Basis dieser Auswertungen waren vom Wetterdienst DWD und von verschiedenen Bereichen der DFS zur Verfügung gestellte meteorologische und flugsicherungsbezogene Daten. Insgesamt ergaben sich für den Untersuchungszeitraum von 21 Monaten in den drei Wintern zwischen den Jahren 2011 und 2014 143 Nebeltage mit 147 Nebelereignissen. Die Gesamtdauer von Sichtweiten von weniger als 1000 m betrug 797,5 Stunden, mit einer durchschnittlichen Nebeldauer von 5,4 Stunden pro Ereignis. Zudem war eine Clusterung der Nebelereignisse auf mehrere hintereinander folgende Tage zu beobachten, bevor eine erneute Nebelperiode entstand. Ein Großteil des Nebels bildete sich vor allem frühmorgens vor Sonnenaufgang in Form von Strahlungsnebel, gefolgt von Advektionsnebel, der größtenteils bei östlichen Windrichtungen entstand und dann auf die Flughafenfläche getragen wurde. Aus diesem Grund war die Richtung 08 die vorherrschende Betriebsrichtung bei Nebel. Als nebelreichste Monate zeigten sich Oktober und November, der April ist der mit Abstand nebel schwächste der untersuchten Monate. Niedrige Horizontal- und Vertikalsichtweiten unter Bedingungen der Betriebsstufe II/III haben an über 100 Tagen in den drei Wintern zu Verkehrsflussmaßnahmen am Flughafen München geführt, die wiederum eine Gesamtverspätung von 4022 Stunden als Konsequenz hatten. Nur in wenigen Fällen wurden hinsichtlich der Pistensichtweite und der Hauptwolkenuntergrenze

tatsächlich auch Wetterbedingungen für CAT III erreicht. Die durchschnittliche Regulierungsdauer betrug 230 Minuten, pro regulierter Minute entstanden im Durchschnitt 10 Verspätungsminuten.

Nicht bei jeder Nebelsituation musste eine wetterbedingte Steuerung implementiert werden, da manche Ereignisse sich in verkehrsarmen Zeiten (z.B. 21:00 UTC) ereigneten. Anhand der Einzelfallanalysen der Nebeltage waren mindestens 10 Situationen erkennbar, in denen die Regulierungsdauer den Zeitraum der Einschränkung durch geringe Sichtweiten leicht überschritt. Durch eine Anpassung / Verkürzung der Steuerungsdauer wurde für diese 10 Fälle, die sich auf die drei untersuchten Winter verteilen, ein Einsparpotential von ca. 5000 Verspätungsminuten bzw. €450000⁹ abgeschätzt [1].

Voraussetzung für die Hebung des erwarteten Potentials ist jedoch eine Unterstützung durch eine erweiterte und verbesserte Sichtweitenprognose, so wie sie auf Basis der im vorherigen Abschnitt definierten Anforderungen im Projektverlauf TeFiS entwickelt werden soll. Zudem müssen die betreffenden Personen motiviert werden, ihre Handlungsweise in eine proaktive Richtung auf Grundlage einer zuverlässigen Vorhersage zu bewegen, was aber auch voraussetzt, die Folgen (vor allem sicherheitstechnisch) bei einer Fehlprognose zu ermitteln.

Ausblick

Für die Erweiterung der empirischen Nebelprognose auf Basis von Messdaten durch den DWD wird von Oktober 2015 bis März 2016 im Rahmen des Projekts TeFiS ein Wolkenradar der Firma METEK sowie ein SODAR am Flughafen München betrieben. In einer weiteren Messkampagne im Jahr darauf (Winter 2016/17, ebenfalls am Flughafen München) sollen die dann weiterentwickelten Algorithmen der Projektpartner auf ihre Verwendbarkeit und Vorhersagegüte, u.a. auch für die Flugsicherung, in der Praxis überprüft werden.

Um ergänzend zumindest das theoretisch im Idealfall mögliche Reduktionspotential von wetterbedingten Verspätungen durch eine verlässlich funktionierende Sichtweitenprognose und zeitlich darauf abgestimmte Verkehrsflussmaßnahmen abzuschätzen und mit den bisher erhaltenen Werten zu vergleichen, soll Anfang

⁹ Die Kosten für eine Verspätungsminute wurden gemäß Eurocontrol auf €90 angesetzt [11].

nächsten Jahres eine Schnellzeitsimulation durchgeführt werden.

Positive Ergebnisse, sowohl aus der Simulation als auch aus dem Feldtest, würden eine Beschaffung und einen dauerhaften Betrieb der meteorologischen Zusatzinstrumentierung unterstützen.

Referenzen

- [1] Unterstützung in der Potentialanalyse einer verbesserten Nebelprognose für die Flugverkehrskontrolle durch Datenauswertung am Beispiel Flughafen München, Kjell zum Berge (TU Braunschweig), 10.11.2014
- [2] Bewertung der derzeit verfügbaren Windprognose in der Flugverkehrskontrolle als Vorbereitung einer Kosten-Nutzenuntersuchung, Jan Hendrik Hedder (TU Braunschweig), 01.06.2012
- [3] Support for a benefit analysis of improved weather radar reflectivity data into the display of an air traffic control system, Valentina Renzetti (Universita di Roma), 13.03.2013
- [4] Grundlagen der Meteorologie, C. Bernhofer, Technische Universität Dresden
- [5] Umweltmeteorologie, O. Klemm, Universität Münster, 2000
- [6] Richtlinien für den Allwetterflugbetrieb, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 27.05.2014
- [7] Betriebsanweisung Flugverkehrsdienste BA-FVD, Deutsche Flugsicherung, 29.05.2014
- [8] Luftfahrthandbuch Deutschland – GEN 3.5 Meteorologischer Dienst, Deutsche Flugsicherung, 14.11.2013
- [9] Event-based climatology and typology of fog in the New York City Region, R. Tardif et al., Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46, 1141-1168, 2007
- [10] Nebelbildung am Flughafen München: Klimatologie und Modellierung, C. Mohr et al., Forschungsvertrag iPort, Universität Bonn
- [11] Standard inputs for Eurocontrol cost benefit analysis, Eurocontrol, Brussels, 2013

Abkürzungen

AIP	Aeronautical Publication Information
BKN	Broken (Wolkenbedeckungsgrad 5/8 - 7/8)
BS	Betriebsstufe
CAT	Category
DWD	Deutscher Wetterdienst
HWUG	Hauptwolkenuntergrenze
ILS	Instrument Landing System
LuFo	Luftfahrtforschung
LVP	Low Visibility Procedures
METAR	Meteorological Aviation Routine Weather Report
METEK	Firmenname (Meteorologische Messtechnik GmbH)
OVC	Overcast (Wolkenbedeckungsgrad 8/8)
RVR	Runway Visual Range
SODAR	Sound Detection and Ranging
SPECI	Special Aviation Weather Report
TeFiS	Technologie für Flugverkehrsmanagement in großen Strukturen
TU	Technische Universität
UTC	Universal Time Coordinated

Quantitative Analyse des erwarteten Bord-Boden-Kommunikationsumfangs bei sektorloser Flugverkehrskontrolle

Dr. Jens Konopka

Einleitung

Flugverkehrskontrolle ist heute eng mit dem Vorhandensein von Sektoren verknüpft. Ein Sektor ist ein lateral und vertikal zusammenhängender und klar abgegrenzter Teil des Luftraums, in dem alle darin operierenden Luftfahrzeuge eine diesem Sektor zugeordnete Funkfrequenz verwenden, um mit der Flugsicherung zu kommunizieren. In der Regel sind zwei Lotsen, ein Radarlotse (Executive) und ein Planungslotse (Planner), für die sichere und flüssige Abwicklung des in ihrem Sektor stattfindenden Luftverkehrs verantwortlich. Bei neueren Konzepten kann durch Automatisierung und entsprechende Unterstützungsfunktionen für die Verkehrsplanung die Zahl der Planungslotsen reduziert werden, indem beispielsweise ein Planner mehrerer Executives unterstützt (Multi-Sektor-Planner, [1],[2]) oder sogar gänzlich auf den Planungslotsen verzichtet werden kann (Single-Manned Sector Operation, [3]).

Die Größe der Sektoren bestimmt sich in erster Linie dadurch, wie viele Luftfahrzeuge gleichzeitig von der Besetzung des Sektors sicher kontrolliert werden können. Auf tageszeitliche oder saisonale Schwankungen in der Verkehrsnachfrage kann aktuell nur durch Zusammenlegung oder (meist vertikale) Teilung von Sektoren reagiert werden. Die Flexibilität, die die Flugsicherungsorganisationen dabei haben, ist insbesondere in Deutschland auch dadurch eingeschränkt, dass für die Kontrolle umfangreiche sektorspezifische Kenntnisse bei den Fluglotsen vorausgesetzt werden müssen, so dass Lotsen in einer Kontrollzentrale des unteren oder oberen Luftraums nur in einer Teilmenge der Sektoren (Einsatzberechtigungsgruppe) Flugverkehr kontrollieren dürfen.

Bei steigendem Verkehrsaufkommen sind einer weiteren Unterteilung von Sektoren noch aus anderen Gründen Grenzen gesetzt. Zum einen sind selbst mit dem 8,33 kHz [4] Raster die für den Luftverkehr zur Verfügung stehenden Funkfrequenzen eine Engpassressource, zum anderen werden mit zusätzlichen Sektoren nicht nur zusätzliche Kontrollkapazitäten geschaffen, sondern auch der Koordinationsaufwand mit den benachbarten Sektoren erhöht.

Ein Konzept, das diese Probleme zu vermeiden sucht und flexiblere und gleichmäßigere Verteilung der Arbeitsbelastung von Fluglotsen ermöglichen soll, ist sektorloses Air Traffic Management, S-ATM. Erste Ideen hierzu gehen auf den Anfang des Jahrtausends zurück [5]. Die DFS Deutsche Flugsicherung GmbH und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt haben schließlich ab 2008 begonnen, Überlegungen anzustellen, welche Implikationen die Umsetzung dieses Konzeptes für die Flugverkehrskontrolle haben würde und wie es konkret in der Flugsicherung realisiert werden könnte [6],[7].

Die positiven Ergebnisse dieser Aktivitäten mündeten in der Entscheidung der DFS, das Thema sektorloses ATM im Rahmen eines eigenen Forschungsprojekts näher zu untersuchen. Speziell soll die betriebliche Umsetzbarkeit in etwa 5-10 Jahren bewertet werden. Dabei soll lediglich nach realistischen Maßstäben dann schon mit hoher Verfügbarkeit nutzbare ATM und CNS Technik sowohl am Boden als auch an Bord der Luftfahrzeuge angenommen werden.

Seit Anfang 2014 arbeitet die DFS nun im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms V geförderten Projekt Technologie für Flugverkehrsmanagement in großen Strukturen, TeFiS, u.a. an der Weiterentwicklung und Validierung von sektorloser Flugverkehrskontrolle. Mit dem Abschluss einer ersten Kampagne von Echtzeitsimulationen Anfang März 2015 wurde ein wichtiger Meilenstein erreicht.

In diesem Artikel werden die ersten Ergebnisse aus diesen Simulationen zum Umfang der Sprachkommunikation zwischen Bord und Boden vorgestellt. Sie werden als Ausgangspunkt dienen, um nach einer weiteren Verfeinerung der hier ebenfalls vorzustellenden Methodik und weiteren Simulationskampagnen, Anforderungen an ein S-ATM Sprachkommunikationssystem abzuleiten.

Ausgehend von einer kurzen Beschreibung der bereits in dieser ersten Bestandsaufnahme verwendeten und für S-ATM spezifischen Werkzeuge und Verfahren, werden in weiteren Abschnitten die Charakteristika der Sektorlos-

Simulationen sowie die für die Kommunikation ermittelten Kenngrößen nebst der in der Simulation noch vorhandenen Vereinfachungen und Annahmen erläutert. Schließlich werden die quantitativen Ergebnisse vorgestellt. Mit einem Ausblick auf die weiteren Untersuchungen schließt dieser Artikel.

S-ATM

Mit S-ATM werden drei gegenüber der konventionellen Flugverkehrskontrolle fundamentale Änderungen vorzunehmen sein:

1. Das Assignment - die Verteilung der zu kontrollierenden Luftfahrzeuge auf die Lotsen
2. Regelung der Verantwortung für die Lösung von potentiellen Staffellungsunterschreitungen (Konflikte)
3. Kommunikation zwischen Bord und Boden

Bei allen der drei vorgenannten Aspekte bestimmt bei herkömmlicher Arbeitsweise in der Regel der aktuelle Aufenthaltsort des Luftfahrzeugs darüber, von welchem Lotsen es kontrolliert wird und welche Funkfrequenz dafür verwendet wird. Dass Luftfahrzeuge in vielen Fällen schon vor der Sektorgrenze zur Kontrolle an den nächsten Lotsen mit einer neuen Frequenz übergeben werden, spielt für die Eindeutigkeit der Zuordnung keine Rolle. Bei Konflikten ist derjenige Lotse verantwortlich, der den Sektor bearbeitet, in dem zuerst bestimmte Abstandskriterien zwischen zwei Luftfahrzeugen erstmalig unterschritten werden könnten.

Im Falle von sektorlosem ATM gibt es mehrere Lotsen mit gleichem Zuständigkeitsbereich, und die Kontrolle eines in einem sektorlosen Luftraum fliegenden Luftfahrzeugs könnte jedem dieser Lotsen gemäß beliebiger Kriterien oder Verteilmechanismen übertragen werden. Hierzu sind bereits diverse Alternativen betrachtet worden [8]. Für den Prozess der Zuordnung von Luftfahrzeugen zu Lotsen im sektorlosen Luftraum hat sich der Begriff "Assignment" etabliert. Das Assignment selbst wird durch das "Assignmentcenter" vorgenommen, wobei hierfür sowohl ein automatisch arbeitendes System verwendet werden kann, aber auch Operateure diese Aufgabe übernehmen können.

Sofern nicht schon beim Assignment Konflikte zwischen Luftfahrzeugen als Kriterien berücksichtigt werden, werden bei der Mehrzahl der Konflikte zwei unterschiedliche Lotsen für die beiden Konfliktpartner verantwortlich sein, so dass hier klare und eindeutige Vorrangregeln oder verbindliche Vorschriften zur

Koordination der beiden involvierten Lotsen vorgegeben werden müssen.

Die Sicherstellung einer jederzeit möglichen und problemlosen Kommunikation zwischen den Piloten und Fluglotsen ist eine der größten Herausforderungen, denen sich S-ATM stellen muss, insbesondere dann, wenn das Konzept mindestens während einer Transitionsphase auch ohne Verfügbarkeit von modernen Kommunikationssystemen wie einen performanten Datenlink oder einem zellularen Funknetz funktionieren soll.

Bei S-ATM wird über die drei Punkte hinaus eine ganze Reihe weiterer Veränderungen gegenüber konventioneller Flugverkehrskontrolle erforderlich sein, bzw. werden sich zwangsweise bei konsequenter Umsetzung dieser Idee ergeben. Beispielsweise wird sich der (laterale) Zuständigkeitsbereich der Lotsen gegenüber einem einzelnen Sektor deutlich vergrößern, und die für einen Sektor optimierte Verkehrsdarstellung auf dem Radardisplay muss noch einmal überdacht werden. Die Radardarstellung muss in einem größeren Maßstab erfolgen, wenn der gesamte Zuständigkeitsbereich noch auf einen Monitor passen soll. Dieses Problem tritt genaugenommen auch bei herkömmlicher Kontrolle auf, wenn die Sektoren sehr groß sind.

Die mittlere Verweildauer der Luftfahrzeuge unter der Verantwortung eines Lotsen ist deutlich länger als in einem sektorisierten Luftraum mit gleicher Verkehrsdichte.

Aufbau und Durchführung der Echtzeitsimulationen

Bei der ersten Sektorlos-Simulationskampagne wurde schwerpunktmäßig untersucht, inwieweit Fluglotsen in einer sektorlosen Umgebung gemeinsam den Luftverkehr kontrollieren können und inwieweit sich die Belastung verstetigen und gleichmäßiger über die beteiligten Fluglotsen verteilen lässt. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf der Zusammenarbeit der Lotsen innerhalb des sektorlosen Luftraums. Die Zusammenarbeit mit den Lotsen in angrenzenden Lufträumen wurde nur vereinfacht behandelt.

Selbst für dieses vergleichsweise einfache Setup waren bereits tief in das Simulationssystem eingreifende Änderungen erforderlich, um die Luftfahrzeuge zu den einzelnen Fluglotsen im sektorlosen Luftraum zuzuordnen und diese Zuordnung rollenabhängig in geeigneter Weise am Lotsenarbeitsplatz anzuzeigen. Die Luftfahrzeuge wurden so verteilt, dass die Lotsen zu jedem Zeitpunkt möglichst für die gleiche Anzahl von

Luftfahrzeugen verantwortlich waren. Spezielle Verfahren zur Behandlung von Konflikten wurden nicht verwendet. Insbesondere wurden keine Regeln dazu vorgegeben, welches Luftfahrzeug im Konfliktfalle ausweichpflichtig ist. Stattdessen waren die Lotsen aufgefordert, untereinander zu koordinieren, wer seinem, in ein Konflikt involvierten Luftfahrzeug Anweisungen zur Vermeidung des Konfliktes geben sollte.

Simuliert wurde realistischer Luftverkehr, basierend auf Flugplandaten aus dem Herbst 2014. Der sektorlose Luftraum, EDSL, ist lateral begrenzt durch die Umrisse der Rhein UIR und umfasste alle nutzbaren Flugflächen ab und inklusive FL380. In diesem Luftraum findet ca. ein Viertel des gesamten in der Rhein UIR operierenden Luftverkehrs statt. Unterhalb des sektorlosen Luftraums befindet sich ein sektorisierter Luftraum, ASKT, der aber nur mit einem Lotsen besetzt war und wie die lateral angrenzenden Lufträume im Nordwesten, ADJNW, und Südosten, ADJSE, lediglich die Aufgabe hatte, Flugzeuge in den sektorlosen Luftraum zu übergeben oder von dort entgegenzunehmen. Der Luftraum ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

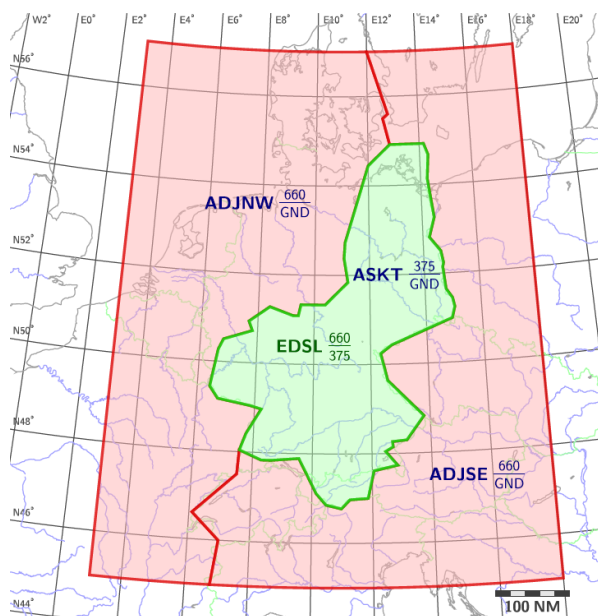


Abb. 1: Simulierter sektorloser Luftraum EDSL und angrenzende Lufträume

Die Verkehrsdarstellung der Luftlage erfolgte auf einem normalen 2k x 2k Monitor.

Die Echtzeitsimulationen wurden am Forschungssimulator der DFS in Langen im Zeitraum vom 23.02. bis 06.03.2015 durchgeführt. In 22

Simulationsruns von jeweils 80 Minuten Dauer nebst vier Trainingsruns konnten jeweils fünf oder sechs Fluglotsen Erfahrungen sammeln, was es bedeutet, gemeinsam den Luftverkehr im sektorlosen Luftraum EDSL zu kontrollieren. Knapp 30 Stunden simulierter Luftverkehr stehen somit als Rohdaten zur weiteren Analyse zur Verfügung. Zusätzlich zu den (simulierten) Flugverlaufsdaten in Form von (simulierten) Radar-Trackdaten sind dies vor allem die von den Fluglotsen in das ATM-System eingegebenen Freigaben und sonstigen Planänderungen, sowie die Zeitpunkte und Dauern aller zwischen Piloten und Lotsen durchgeführten Kommunikationsvorgänge. Eine Aufzeichnung der Sprachkommunikation selbst fand nicht statt.

Neben objektiven Daten wurden auch subjektive Einschätzungen der an der Simulation beteiligten Fluglotsen hinsichtlich ihrer empfundenen Beanspruchung und des Situationsbewusstseins erhoben.

Diese Daten befinden sich aktuell in der Auswertung und werden Gegenstand weiterer Publikationen sein. Vorliegender Artikel fokussiert auf einen wichtigen Teilaspekt, nämlich die Bord-Boden-Sprachkommunikation.

Während des Simulationsruns hatte jeder der Lotsen im sektorlosen Luftraum einen zugeordneten Simulationspiloten, der alle Luftfahrzeuge dieses Lotsen steuerte und die gesamte Kommunikation mit dem Lotsen übernahm. Wie bei Echtzeitsimulationen von sektorisierten Lufträumen auch, entfällt hier die Problematik, dass zwei Piloten gleichzeitig mit demselben Lotsen sprechen möchten. Weiterhin stand jedem Lotsen-Simulationspilotenpaar virtuell quasi ein Sprachkanal exklusiv und unabhängig vom Aufenthaltsort der Luftfahrzeuge im Luftraum zur Verfügung. Auf konventionelle Kommunikationstechnologie übertragen hätte dies bedeutet, dass jeder der 5 bzw. 6 Lotsen eine Funkfrequenz gehabt hätte, die in der gesamten Rhein UIR hätte genutzt werden können.

Die heute implementierten Frequenzschutzbereiche sind aber wesentlich kleiner und orientieren sich wie eingangs erwähnt an der Ausdehnung der deutlich kleineren Sektoren.

Andererseits ist damit zu rechnen, dass bei einer sektorlosen Arbeitsweise der Umfang der Kommunikation reduziert ist: Zum einen, weil Übergaben seltener vorkommen werden und zum anderen, weil ein einzelner Lotse einen größeren Planungshorizont für seine Luftfahrzeuge hat und nicht an jeder Sektorgrenze festgelegte Übergabebedingungen erreichen muss, von

denen nur abgewichen werden kann, wenn das mit den nächsten Sektoren koordiniert worden ist.

Bevor weitere Überlegungen zu technischen Lösungen getätigt werden [9], ist zu untersuchen, inwiefern die veränderte Arbeitsweise auch veränderte oder neue Anforderungen an das System zur Bord-Boden-Kommunikation bedingt.

Einige der Anforderungen an die Sprachkommunikation bei sektorlosem ATM hängen von dem konkreten beabsichtigten Anwendungsfall ab. Neben der Größe des sektorlosen Luftraums, wird auch die Verkehrsdichte und die Anzahl der gleichzeitig im sektorlosen Luftraum arbeitenden Fluglotsen Einfluss darauf haben.

Wenngleich die im folgenden Abschnitt aufgeführten Kenngrößen auch für andere als den hier diskutierten Anwendungsfall sinnvolle Hinweise geben können, beziehen sich die Ergebnisse nur auf den hier betrachteten Luftraum EDSL.

Kenngrößen der Bord-Boden Kommunikation

Sektorloses ATM ist nicht per se an eine bestimmte Kommunikationsinfrastruktur geknüpft. Abhängig von der Verkehrsdichte und der Verkehrsmenge sowie der Anzahl der Lotsen, die gleichzeitig sektorlos im gleichen Luftraum arbeiten, kann modifizierter Sprechfunk schon ausreichen, oder es müssen u.U. performante Datenlinks mit oder ohne Sprachkanal und mit der Möglichkeit einer gezielten Adressierung verwendet werden.

Daher wird im Folgenden häufig der allgemeinere Begriff „Kommunikationsvorgang“ anstatt „Funkspruch“ verwendet.

Um die Anforderungen bezüglich der Sprachkommunikation an ein zukünftiges S-ATM System zu erheben, gilt es in einem ersten Schritt, die Häufigkeit, die Länge und die zeitliche Verteilung der Kommunikationsvorgänge zu charakterisieren. Hierfür wurden aus den Aufzeichnungen der Zeitpunkte, an denen entweder der Lotse oder der Simulationspilot durch Drücken einer Sprechaste eine Kommunikation beginnt bzw. durch Loslassen dieser Taste die Kommunikation beendet, eine Reihe von Messgrößen abgeleitet:

Die „relative Sprechdauer“ ist die Gesamtdauer der Kommunikationsvorgänge bezogen auf Länge des betrachteten Zeitraums, in diesem Falle die Gesamtdauer der Simulation. Eine relative Sprechdauer von 100% bedeutet, dass alle Lotsen und Piloten zusammen bei den Luftraum EDSL betreffenden

Kommunikationsvorgängen insgesamt 60 Minuten gesprochen haben.

Bei einer relativen Sprechdauer von unter 100% würde theoretisch eine Funkfrequenz ausreichen, um den Kommunikationsumfang abzudecken, wenn man die Kommunikationsvorgänge zeitlich beliebig verteilen könnte. Das ist in der Praxis natürlich nicht der Fall, so dass diese Größe lediglich als ein initialer grober Anhaltspunkt dienen kann.

Besser geeignet, aber nicht mehr durch eine einzige Zahl fassbar, ist das „gleichzeitige Sprechen“. Dies zeigt die Zeitanteile im betrachteten Zeitraum, in denen keiner, einer, zwei oder noch mehr Kommunikationskanäle parallel genutzt werden.

Für weitere, auch losgelöst von den konkreten Simulationsruns durchzuführende Betrachtungen, ist die Verteilung der Länge der Kommunikationen („Länge der Funksprüche“) von Interesse. Neben einer Histogrammdarstellung und der Angabe der kürzesten und längsten Dauer wird in diesem Artikel noch die Anzahl der Kommunikationsvorgänge ausgewiesen, die länger als 2s, 4s, oder 6s dauerten.

Von betrieblich größten Interesse wird neben der Wahrscheinlichkeit, dass für eine eigene Mitteilung gerade kein Kommunikationskanal zur Verfügung steht, die Wartezeit sein, die vergeht, bis der besetzte Kommunikationskanal wieder frei ist für die eigene Mitteilung.

Quantitative Ergebnisse

Die im vorigen Abschnitt definierten Größen oder Verteilungen sind für alle durchgeführten Simulationsruns ermittelt worden.

In allen Runs betrug die relative Sprechdauer teilweise deutlich unter 100%. Abhängig von der Anzahl der durch die Lotsen im sektorlosen Luftraum zu kontrollierenden Luftfahrzeuge bewegte sich diese Kenngröße zwischen 37,4% und 80,9%. Unter der Annahme, dass die Dauer der Funksprüche von Piloten und Lotsen sich nicht gravierend unterscheidet und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass fünf oder sechs Lotsen im Luftraum EDSL gearbeitet haben, ergibt sich daraus, dass ein Lotse kumuliert weniger als 5 Minuten innerhalb von einer Stunde zu einem Piloten gesprochen hat und ebenfalls weniger als 5 Minuten Mitteilungen der Piloten aufgenommen hat.

Exemplarisch wird nachfolgend der erste Simulationsrun vom 05.03.2015 analysiert. Dieser Run basierte auf dem erwarteten Verkehr vom 25.10.2014 zwischen

10:00 Uhr und 11:20 UTC. Fünf Fluglotsen im sektorlosen Luftraum kontrollierten gemeinsam in der Spitze bis zu 45 Luftfahrzeugen gleichzeitig, was bereits einem hohen Verkehrsaufkommen entspricht. In diesem Run betrug die relative Sprechdauer 64,3%.

Wie aus Abbildung 2 hervorgeht wurde während dieses Runs zu etwa der Hälfte der Zeit auf keinem der Kommunikationskanäle gesprochen und lediglich zu 13% der Simulationszeit wurde auf zwei oder mehr Kanälen gleichzeitig gesprochen.

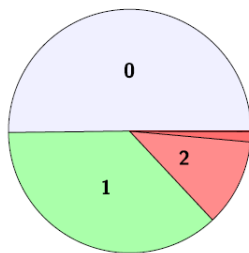


Abb. 2: Zeitanteile gleichzeitiges Sprechen

Dabei verteilten sich die Kommunikationsvorgänge relativ gleichmäßig über die gesamte Dauer der Simulation. Im Mittel wurde ca. 26-mal pro zwei Minuten Intervall gesprochen. Abbildung 3 zeigt den zeitlichen Verlauf der Anzahl der Kommunikationsvorgänge.

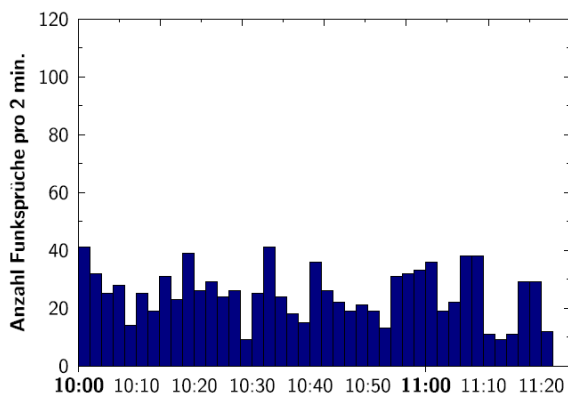


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf des Kommunikationsaufkommens

Die Verteilung der Länge der zwischen Lotsen und Piloten ausgetauschten „Funksprüche“ zeigte eine starke Konzentration um 3 Sekunden herum mit annähernd symmetrischen Anteilen hin zu längeren und kürzeren Intervallen.

Die Verteilung der Länge der „Funksprüche“ war in allen Runs dem in Abbildung 4 gezeigten Beispiel sehr ähnlich. Von den 1021 Kommunikationsvorgängen in dem Beispiel hatten sechs eine Länge von mehr als 6

Sekunden, der längste „Funkspruch“ dauerte 14,2 Sekunden.

Ob „Funksprüche“ mehr oder weniger Zeit in Anspruch nehmen, ist von Bedeutung, wenn es darum geht, auch ohne aufwändige Echtzeitsimulationen abzuschätzen, wie stark sich die verschiedenen Kommunikationsbedürfnisse gegenseitig behindern.

Unmittelbar am Lotsenarbeitsplatz bemerkbar würde sich eine solche Behinderung dadurch machen, dass ein Kommunikationskanal zeitweise durch andere belegt wird und für die eigene Kommunikation nicht nutzbar ist.

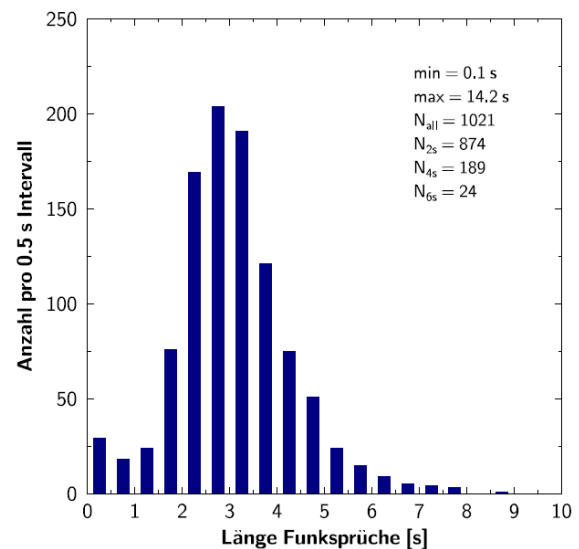


Abb. 4: Verteilung der Länge der „Funksprüche“

Um die Wahrscheinlichkeit, dass ein „Funkspruch“ erst verzögert abgesetzt werden kann und diese Verzögerung selbst zu quantifizieren, wird im Folgenden angenommen, dass die gesamte Bord-Boden Kommunikation über einen einzelnen Funkkanal hätte abgewickelt werden müssen, d.h. zu jedem Zeitpunkt hätte nur ein Pilot oder ein Lotse diesen Kanal nutzen können.

Mit einer relativen Sprechdauer von weniger als 100% hätten alle Kommunikationsvorgänge abgewickelt werden können, wobei es während der roten Zeitanteile aus Abbildung 2 nicht möglich gewesen wäre, den „Funkspruch“ sofort zu übermitteln.

In der Simulation selbst gab es die Beschränkungen selbstverständlich nicht, so dass die Zeitpunkte, zu denen die Kommunikationsvorgänge hätten beginnen sollen, bekannt sind. Da zudem die jeweiligen Belegungszeiten ebenfalls aus der Simulation entnommen werden können, kann eine Warteschlange [10] aufgebaut werden, sofern weitere Teilnehmer

sprechen wollten, als der hypothetische einzige zur Verfügung stehende Kanal noch belegt war. Die Kommunikationsvorgänge, die während der Echtzeitsimulation währenddessen auf anderen Kanälen durchgeführt worden sind, werden in der korrekten zeitlichen Reihenfolge in eine hypothetische Warteschlange gestellt und dann abgewickelt, wenn die aktuell den einzig verfügbaren Kanal belegende Kommunikation und ggf. auch weitere, sich ebenfalls schon in der Warteschlange befindliche Kommunikationsvorgänge abgeschlossen sind.

Die Ergebnisse dieser Betrachtung sind in Abbildung 5 dargestellt. Mehr als 60% der Kommunikationsvorgänge könnten mit einer Verzögerung von maximal 5 Sekunden durchgeführt werden, jedoch hätte ein Lotse oder Pilot bei der angenommenen Beschränkung auf einen Kommunikationskanal in 211 Fällen 10 Sekunden oder mehr warten müssen, bis die gewünschte Kommunikation hätte abgewickelt werden können. In einem Fall wäre diese Frequenz sogar für mehr als 30 Sekunden von anderen Teilnehmern blockiert gewesen.

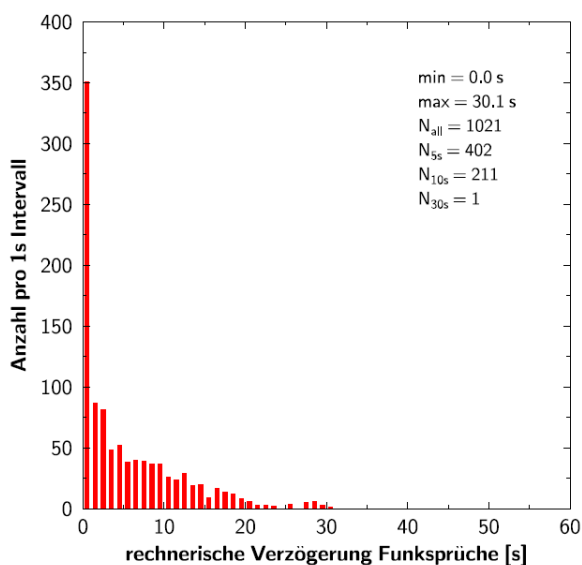


Abb. 5: Verteilung der rechnerischen Verzögerung der „Funkgespräche“ mit einer Frequenz für 5 Lotsen

Würde man das Ergebnis einer solchen zeitlichen Entzerrung der Kommunikation für dieses Beispiel in einer zu Abbildung 2 analogen Weise auftragen, würde das Diagramm nur aus einem grauen Bereich (Kommunikationskanal ungenutzt) und einem grünen Bereich bestehen. Letzterer entspräche, dann dem bereits erwähnten Anteil von 64,3%, der relativen Sprechzeit.

In den anderen, hier nicht explizit vorgestellten Runs waren teilweise auch rechnerische Verzögerungen von mehr als einer Minute zu verzeichnen, wobei diese extremen Werte nicht nur in Runs mit hohen relativen Sprechzeiten auftraten, sondern auch von der konkreten Durchführung der Simulation insbesondere am Beginn begünstigt worden sind.

Der Verkehr baute sich nämlich nicht erst allmählich auf, vielmehr sahen sich die Simulationsteilnehmer mit einem normal populierte Luftraum konfrontiert und begannen gleichzeitig in den ersten Simulationsminuten, den Verkehr gemäß der Erfordernisse und eigenen Vorstellungen zu organisieren, weshalb die Anzahl der „Funkgespräche“ zu Beginn meist mit am höchsten war.

Diese Betrachtungsweise mag auf den ersten Blick sehr akademisch und praxisfremd aussehen, birgt aber den Vorteil, dass man Anforderungen aus Sicht der von Fluglotsen, wie etwa: „In mehr als x Prozent der Fälle muss der gewünschte Kommunikationsvorgang innerhalb von y Sekunden beginnen können.“ oder „Innerhalb von einer Stunde soll ein Kommunikationskanal für maximal z Sekunden belegt sein, wenn ich ihn benötige.“ erheben kann. Mit der hier vorgestellten Methode lassen sich daraus dann technische Anforderungen an den Umfang und die Beschaffenheit der Kommunikationsinfrastruktur ableiten.

Das angeführte Beispiel mit signifikanten rechnerischen Verzögerungen, in dem sich 5 Lotsen und die Piloten von mehr als 40 Luftfahrzeugen einen Kommunikationskanal geteilt haben, wird den betrieblichen Kommunikationsanforderungen sicherlich nicht genügen.

Mit den Daten aus der Echtzeitsimulation kann jedoch in einfacher Weise ermittelt werden, wie stark sich die Situation verbesserte, wenn 3 Lotsen und deren Luftfahrzeuge einen Kanal, die beiden anderen Lotsen und deren Luftfahrzeuge einen zweiten Kanal genutzt hätten.

Wie aus Abbildung 6 ersichtlich könnten damit deutlich mehr Kommunikationsvorgänge verzögerungsfrei durchgeführt werden. Nur noch in 13 Fällen wären Wartezeiten von mehr als 10 Sekunden zu verzeichnen gewesen.

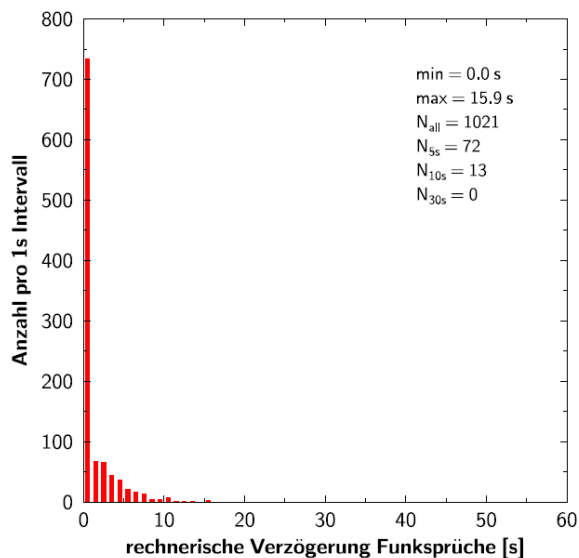


Abb. 6: Verteilung der rechnerischen Verzögerung der „Funksprüche“ mit zwei Frequenzen für 5 Lotsen

Mit den in der Simulation gesammelten Daten über den Kommunikationsumfang bei sektorlosem ATM können auch solche Szenarien durchgespielt werden, in denen es keine Kanäle gibt, die im gesamten Luftraum nutzbar sind, sondern mehrere, die unterschiedliche Teile des Luftraums abdecken, aber ebenfalls von den Lotsen gemeinsam zu nutzen wären. Beim Übergang zwischen zwei Abdeckungsbereichen müsste dann jedoch auch wieder ein Frequenzwechsel erfolgen, was zusätzlicher Kommunikation bedürfte. Die Zeitpunkte, an denen die Mitteilung über einen Frequenzwechsel stattfinden müsste, können aus den Flugverläufen in der Echtzeitsimulation ebenfalls ermittelt werden, so dass auch die Einflüsse der geographischen Aufteilung der Frequenzbereiche auf den Umfang der Kommunikation berechnet werden können.

Neben dem neuen und ungewohnten Aspekt, dass mehrere Lotsen mit der gleichen Frequenz arbeiten, kommt noch ein weiteres Element hinzu, dass hier noch nicht adressiert worden ist: Wenn Sprechfunk als Technologie für die Sprachkommunikation zwischen Bord und Boden verwendet würde, hörte ein Lotse die seine Kollegen betreffenden Funksprüche mit, ein Umstand, der im Cockpit zwar zum Alltagsgeschäft gehört, dessen Auswirkungen auf die Arbeit von Fluglotsen heute noch nicht bekannt sind.

Ebenfalls nicht explizit betrachtet worden ist die Frage nach der zeitlichen Dringlichkeit der abgesetzten Anweisungen und welche zeitlichen Verzögerungen kritisch zu bewerten sind.

Zusammenfassung und Ausblick

In einer ersten größeren Simulationskampagne konnte die Arbeit von Fluglotsen in einem sektorlosen Luftraum subjektiv und objektiv beurteilt werden. Unter anderem wurden die für die sichere und flüssige Abwicklung von Luftverkehr erforderlichen Kommunikationsvorgänge einer näheren Analyse unterzogen.

Bedingt durch die Größe des betrachteten Luftraums hätte eine konventionelle, den entsprechenden sektorisierten Luftraum betrachtende Referenzsimulation mindestens 16 Sektoren umfasst, aus denen jedoch nur ein Teil des Verkehrs hätte ausgewertet werden dürfen, so dass ein direkter Vergleich mit der aktuellen Arbeitsweise nicht möglich ist. Jedoch zeigte sich sowohl im Vergleich zu den Erfahrungen der Fluglotsen aus dem täglichen Betrieb, als auch im Vergleich zu früheren, bei der DFS durchgeführten Echtzeitsimulationen des oberen Luftraums, dass im sektorlosen Fall deutlich weniger Sprechfunk erforderlich wäre, sofern die Funkinfrastruktur und Frequenzverfügbarkeit für die neuartige Arbeitsweise erweitert und optimiert werden könnte.

Sprechfunk würde nur noch weniger als 10% der Zeit der Lotsen beanspruchen, so dass ggf. auch mehrere Lotsen gemeinsam die gleichen Kanäle nutzen könnten.

Es wurde eine Methode vorgestellt, wie man aus den vorhandenen Ergebnissen der Simulation ableiten kann, mit welchen Einschränkungen hinsichtlich zeitlicher Verfügbarkeit bzw. Verzögerungen in der Kommunikation gerechnet werden muss.

Hierfür wurden Statistiken über den zeitlichen Verlauf, der Länge der Kommunikationsvorgänge erstellt sowie die sich ergebenden Verzögerungen ermittelt, wenn mehrere Lotsen einen Kommunikationskanal gemeinsam nutzen würden.

Exemplarisch konnte mit den Daten aus einem Simulationsrun gezeigt werden, wie Wartezeiten bzw. Verzögerungen sich abhängig von der konkreten Kommunikationslösung beeinflussen lassen.

Diese Auswertungen sind lediglich ein Ansatzpunkt basierend auf einer ersten Bestandsaufnahme mittels Echtzeitsimulationen.

Die nächsten Simulationskampagnen werden auch was die Kommunikation anbelangt einen höheren Realitätsgrad aufweisen. Die Lotsen sollen beispielsweise dann auch mit der hier nur hypothetisch betrachteten Situation konfrontiert werden, dass ein Kommunikationskanal zeitweise durch andere belegt ist.

Quellenangaben

- [1] Pascal Latron, Roderick McGregor, Michel Geissel, Emmanuelle Wassmer, Alan Marsden, Phare PD3, PD3_EEC_PD3_3.1.3.2_SSR_01, 1997.
- [2] Stephan Herr, Andreas Herber, TE im Fokus 1/2006 S. 27ff, 2006.
- [3] DFS Fachliche Anweisung CC-03/2012, 2012.
- [4] European Commission, Commission Regulation (EC) No 1265/2007, Official Journal of the European Union L 283/25, 2007.
- [5] Vu Duong, Gilles Gawinowski, Jean-Pierre Nicolaon, Darren Smith, 4th USA / Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Santa Fe, 3-7 December 2001.
- [6] Thomas Pütz, Oliver Hassa, Bernd Mohrhard, Bernd Korn, Christiane Edinger, Dirk Kügler EUROCONTROL 8th Innovative Research Workshop & Exhibition, 2009.
- [7] Bernd Korn, Christiane Edinger, Sebastian Tittel, Dirk Kügler, Thomas Pütz, Oliver Hassa, Bernd Mohrhard, Proceedings of the 28th Digital Avionics Systems Conference, 2009.
- [8] Angela R. Schmitt, Christiane Edinger, Bernd Korn, CEAS Aeronaut J DOI 10.1007/s13272-011-0031-7, 2011.
- [9] Andreas Walter, Jörg Buxbaum, TE im Fokus 2/2013, S. 15ff, 2013.
- [10] Donald Gross, Carl M. Harris, Fundamentals of Queuing Theory, Wiley & Sons: New York, 1994.

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 der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH. Diese Ausgabe ist elektronisch im Internet (www.dfs.de > [Flugsicherung](#) > [F&E](#) > [Servicebereich](#)) sowie über das DFS Intranet verfügbar. 60 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: 09.06.2015

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 © 2015 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 GM-Eintrag.



Impressum

Innovation im Fokus

Informationen zu Forschung,
Entwicklung und Validierung

Herausgeber:

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

Günther Achatz, Ralf Bertsch,
Bereichsleitung Planung & Innovation;

Redaktion:

Dr. Andreas Herber
Tel. +49 (0)6103 707 5781
E-Mail: andreas.herber@dfs.de

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

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

