



2/05

12. Dezember 2005

ISSN 1861-6364
(Printversion)

ISSN 1861-6372
(Internet-Version)

Informationen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

In dieser Ausgabe:

- Projekt SAMSON: Surveillance mit ADS-B und Multilateration am Standort Flughafen Nürnberg
- The Wake Vortex Warning System at Frankfurt Airport
- Projekt NUP Phase 2: Untersuchung der Anwendung „Airborne Approach Spacing (AAS)“
- Trackeruntersuchungen – ein Erfahrungsbericht
- Die SimSys Systeme und deren Nutzung für VAFORIT in Karlsruhe
- ADS-B Empfänger SBS-1



DFS Deutsche Flugsicherung



Inhalt

Steffen Marquard Projekt SAMSON: Surveillance mit ADS-B und Multilateration am Standort Flughafen Nürnberg	2
Dr. Jens Konopka, Harald Fischer The Wake Vortex Warning System at Frankfurt Airport	8
Anmerkungen zum Projektabschluss WSWS	21
Oliver Reitenbach Projekt NUP Phase 2: Untersuchung der Anwendung „Airborne Approach Spacing (AAS)“	22
Dr. Roland Mallwitz, Wolfgang Wissler, Stefan Schicktanz Trackeruntersuchungen – ein Erfahrungsbericht	26
Alexander Grimm, Dr. Ralph Leemüller, Dr. Thomas Bierwagen Die SimSys Systeme und deren Nutzung für VAFORIT in Karlsruhe	30
Heribert Lafferton, Matias Krempel (VY), Steffen Marquard, Dr. Andreas Herber ADS-B Empfänger SBS-1	34
Impressum	39

Projekt SAMSON¹: Surveillance mit ADS-B und Multilateration am Standort Flughafen Nürnberg

Steffen Marquard, TEA

Die Entwicklung von Boden-Überwachungssystemen konzentriert sich derzeit auf komplexe Systeme, die in der Lage sind, auch unabhängig von der Flugzeugausrüstung und Übermittlung von Borddaten eine lückenlose Überwachung zu gewährleisten. Eine mittlerweile technisch fortgeschrittene Ausrüstung der Flugzeuge und eine immer bessere Versorgung mit korrekten Borddaten bieten Chancen, kostengünstige Lösungen für Überwachungsanwendungen zu erarbeiten. Begründet wird dies durch die wachsende Flugzeugausrüstung mit ADS-B/Mode S Extended Squitter und die Entwicklungen in Richtung Multilateration als Ergänzung und Unterstützung von ADS-B.

Basierend auf ADS-B/Mode S Extended Squitter über 1090 MHz (SSR-Band) werden Informationen empfangen, zentral aufbereitet und dem Nutzer dargestellt. Auf Grund der nicht vollständigen Ausrüstung von Flugzeugen mit ADS-B ist es zukünftig erforderlich, ein zusätzliches, ergänzendes System zum Einsatz zu bringen, welches die entsprechenden Lücken in der Überwachung auffüllt. Hierfür soll ein Ortungssystem auf Basis von Multilateration (MLAT) entwickelt und eingesetzt werden. Auch bei diesem System dienen die von Fahrzeugen und Flugzeugen ausgesandten Meldungen auf 1090 MHz zur Positionsbestimmung. In Ergänzung zu ADS-B werden hier alle Meldungen verarbeitet bzw. kann die Positionsbestimmung aktiv über Abfragen auf 1030 MHz erfolgen. Damit wird es möglich, die Positionen aller mit Transpondern ausgerüsteten Fahrzeuge und Flugzeuge zu bestimmen und die über ADS-B empfangenen Positionsmeldungen zu verifizieren.

Gesamtziel des Vorhabens SAMSON ist es, eine kostengünstige Lösung für ein Überwachungssystem für Bewegungen von Fahrzeugen und Flugzeugen auf den Flughafen-Bewegungsflächen von kleineren und mittleren Flughäfen zu realisieren. Ausgangssituation ist

das Fehlen jeglicher Bodenüberwachungs-Infrastruktur, wie z.B. Bodenradar. Das Gesamtvorhaben wird in mehrere Phasen aufgeteilt, wobei in jeder Phase eine abschließende Bewertung des realisierten Systems aus betrieblicher und technischer Sicht erfolgt. Für die Entwicklung des Gesamtsystems sind folgende Phasen vorgesehen:

- Phase 1: Infrastrukturanalyse (Site Survey), Installation und Test eines Single Sensor ADS-B Systems, Systembewertung,
- Phase 2: Installation und Test eines Multi-Sensor ADS-B System mit zentraler Datenverarbeitung, Systembewertung,
- Phase 3: Installation und Erprobung eines Multilaterations-Systems mit optimiertem Display, Systembewertung,
- Phase 4: Optional, Bewertung der Möglichkeiten zur Datenübertragung, Erweiterung des Systems über die Flughafengrenzen hinaus, z.B. 10 Miles Out, 40 NM TMA.

SAMSON Phase 1 ist mittlerweile abgeschlossen. Phase 2 läuft derzeit, voraussichtlich bis Mitte 2006. Phase 1 gliederte sich in mehrere Arbeitspakete, in denen festgestellt wurde, welche infrastrukturellen Arbeiten notwendig sind, um eine Überwachung der Flughafen-Bewegungsflächen mit ADS-B zu gewährleisten. Gleichzeitig wurden Basis-Informationen zur Funkfeldbelastung und zur Leistungsfähigkeit eines Single Sensor Systems ermittelt. Nach Durchführung einer Infrastrukturanalyse wurden zwei Flughafenfahrzeuge mit ADS-B Sendern ausgerüstet und ein ADS-B Empfänger mit Verkehrsdisplay am Flughafen installiert. Im Anschluss an die Installation und Inbetriebnahme der ADS-B Komponenten erfolgte eine Bewertung des Systems aus technischer Sicht. Parallel hierzu wurden aufbauend auf den Ergebnissen der Infrastrukturanalyse sowie ersten Erkenntnissen aus der Installation des Basissystems ein technisches Konzept für ein Multilaterations-System definiert sowie die entsprechenden Kos-

¹ SAMSON ist ein Fördervorhaben des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie und wird zu 40% gefördert.

ten abgeschätzt. Die Ergebnisse dieser Aktivitäten bildeten dabei die Grundlage für weitere Phasen des Gesamtvorhabens.

In Phase 2 erfolgt derzeit die Entwicklung des Multi-Sensor ADS-B Systems mit seinen Komponenten, wie ADS-B Sender für Fahrzeuge, ADS-B Sensoren mit Netzwerkfähigkeit und die zentrale Datenverarbeitung mit ASTERIX Schnittstelle zu ATC Systemen wie z. B. PHOENIX.

ADS-B Überblick

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) ist ein Luftraumüberwachungskonzept, bei dem Boden- und Luftfahrzeuge gleichermaßen in regelmäßigen Zeitabständen ihre Position (geografische Länge, Breite und Höhe) und gegebenenfalls weitere Informationen aussenden. Andere Luftfahrzeuge oder Bodensysteme können diese Informationen empfangen und verarbeiten. Somit wird ADS-B als Grundlage für eine ganze Reihe von neuen Anwendungen angesehen. Diese Anwendungen und Verfahren werden derzeit mit der Zielsetzung entwickelt, einen Beitrag zur Steigerung der Sicherheit und Kapazität im Luftverkehr zu liefern. Derzeitige Luftraumüberwachungssysteme (z.B. Radar) müssen die Position der Fahrzeuge selbst bestimmen, wohingegen bei ADS-B die Positionsinformation von den Fahrzeugen mit Hilfe von deren Navigationssystemen selbst bestimmt wird und anderen zur Verfügung gestellt wird. Als ein wesentlicher Vorteil des ADS-B Konzeptes wird die Bereitstellung von präzisen Positionsinformationen zu niedrigen Kosten angesehen, wobei das Konzept eben auch von allen involvierten Systemen (also z.B. auch GPS) abhängig ist.

Derzeit werden drei verschiedene technische Implementierungen von ADS-B diskutiert:

- VHF Data Link Mode 4 (VDL 4),
- Universal Access Transceiver (UAT) und
- Mode S Extended Squitter (1090ES)

Mode S Extended Squitter ist die Variante, die innerhalb des SAMSON Projektes verwendet wird, deswegen beziehen sich alle weiteren Ausführungen auf diese Technologie. 1090ES wurde von der Mode S Radartechnologie abgeleitet und

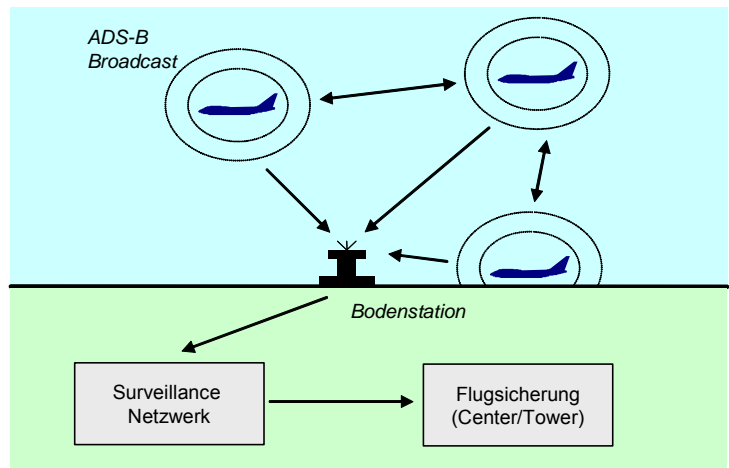


Abb. 1: ADS-B Überblick

verwendet auch die gleichen Funkfrequenzen (1090MHz) und Modulationsverfahren. Somit muss sich 1090ES die Funkkanalkapazität mit anderen aeronautischen Anwendungen teilen: SSR Mode A/C, SSR Mode S, TCAS/ACAS und militärische Daten Links. Ein wesentlicher Vorteil dieser Technologie ist der stetig wachsende Ausstattungsgrad von Flugzeugen mit geeigneter Bordtechnik (Transpondern). Damit besteht die Möglichkeit der unmittelbaren Nutzung einer bereits vorhandenen Infrastruktur.

Das System

Wie schon für Infrastrukturanalyse-Messungen wurde der „alte“ Tower am Flughafen Nürnberg als Standort für die ADS-B Empfänger Komponenten ausgewählt. Dieser befindet sich direkt am Vorfeld und bietet eine fast komplette Rundumsicht auf die Flughafen-Bewegungsflächen. Als Empfangsantenne wurde eine omnidirektionale Antenne verwendet, welche auf dem Tower installiert wurde. Der ADS-B Empfänger mit dem Datenverarbeitungssystem mit PC Arbeitsplatz und dem Display befand sich im Tower bei den Arbeitsplätzen der Vorfeldkontrolle.

Der ADS-B Empfänger besteht im Wesentlichen aus dem Empfänger RT-619 in einem 19 Zoll Gehäuse mit Stromversorgung, Antennenanschlüssen und einer Schnittstelle zum Datenverarbeitungssystem (Display Server). Das Gegenstück, die ADS-B Sender für die Fahrzeuge, sind Geräte des Typs RTH-80. Diese bestimmen ihre Position anhand von GPS Signalen und senden Position (2x pro Sekunde) und eine individuelle Kennung (1x in 5 Sekunden) periodisch aus. Für

die Ermittlung der Flugzeugpositionen werden die standardmäßig im Flugzeug verbauten SSR/Mode S Transponder mit 1090ES Kapazität verwendet.



Abb. 2: „alter“ Tower in Nürnberg

Das Datenverarbeitungssystem empfängt die Daten des ADS-B Empfängers, fügt einen Zeitstempel hinzu und bereitet sie für die Darstellung auf dem Display auf. Zudem wird hier die Datenaufzeichnung realisiert, welche die Daten für die spätere Analyse bereitstellt. Die Darstellung der empfangenen Positionsmeldungen inklusive der

Kennung des Fahrzeuges/Flugzeuges erfolgt mit Hilfe einer speziell für diesen Zweck adaptierten Displaysoftware. Abb. 4 zeigt den ADS-B Empfänger RT-619 und den ADS-B Transponder RTH-80 (Filsler Electronic GmbH), Abb. 5 einen Screenshot der „Aerofleet Monitor“ Software (Eurotelematik AG) mit der am Flughafen Nürnberg eingesetzten Karte und einem Fahrzeug. Abb. 3 gibt eine Übersicht über die Struktur des Gesamtsystems mit seinen Komponenten. Die Gesamtkosten für das eingesetzte System betragen weniger als 10.000 Euro.

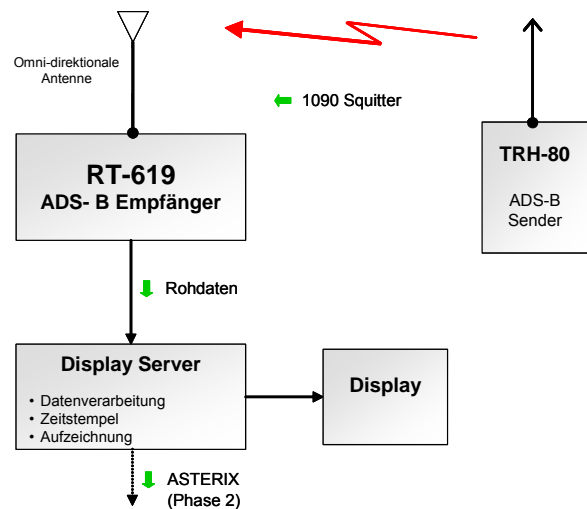


Abb. 3: Architekturübersicht des Single Sensor ADS-B Systems



Abb. 4: 1090ES Empfänger RT-619 (links) und Transponder RTH-80 (rechts)



Abb. 5: AeroFleet Monitor Display

Erste Resultate: Erfassung und Reichweiten

Der Erfassungsbereich der genutzten ADS-B Bodenstation wird hauptsächlich geprägt von den Flugrouten zwischen den Flughäfen Frankfurt, München, Stuttgart und überfliegenden Verkehr. Abhängig von der Flugzeugausrüstung mit

ADS-B sind diese mehr oder weniger ausgeprägt. Lücken innerhalb der maximalen Erfassungreichweite entstehen aufgrund der dort nicht vorhandenen Flugbewegungen und nicht durch stations- oder umgebungsbedingte Empfangsprobleme. Die Grenzen der Erfassungreichweite sind charakterisiert durch das „Ausfransen“ und Abreißen der Spuren und das Auftreten von vereinzelt Zielmeldungen. Als maximale Reichweite wird hier der Empfang von einzelnen Zielmeldungen am Rande des Erfassungsbereiches charakterisiert. Mit dem eingesetzten System wird eine Erfassungreichweite von über 40NM für mittlere und große Flughöhen erreicht. Abb. 6 zeigt eine horizontale Darstellung von empfangenen Flugzeug Positionsmeldungen in geografischen Koordinaten. Der eingezeichnete Kreis markiert mit seinem Durchmesser ein Gebiet von zirka 40 NM über der Empfangsantenne.

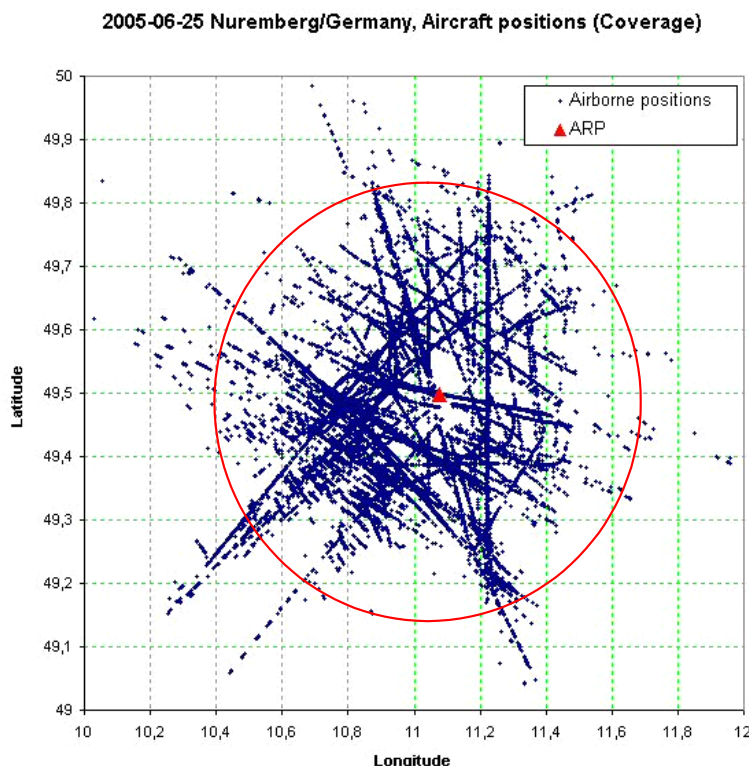


Abb. 6: Horizontaler ADS-B Erfassungsbereich

Der Bereich Flughafen-Bewegungsflächen ist mit dem installierten ADS-B System fast vollständig erfasst. Trotz der relativ einfachen Empfängertechnik und Antenne und der nicht ganz optimalen Antennenposition gibt es keine ausgeprägt große Lücken. Zu erkennen sind kleinere Lücken in der Erfassung auf Teilen der Start- und Landebahn und der Rollwege. Bei An- und Abflügen und dem Rollen auf dem Flughafen können Lücken durch Abschattungseffekte durch die Flugzeugzelle (Tragflächen, Leitwerk und Triebwerke und ihr Winkel zur Empfangsantenne) und durch Gebäudeteile hervorgerufen werden (Abb. 8). Eine ungünstige Position des Flughafenfahrzeuges zur Empfangsantenne wie auch die Position/Montage der Antenne am Fahrzeug selbst kann ebenfalls Abschattungen und somit Lücken in der Erfassung hervorrufen.

Von besonderem Interesse war die Erfassung von Bodenfahrzeugen, die mit einem ADS-B Sender ausgerüstet sind. Wie aus den Abb. 8 und 9 ersichtlich bewegte sich ein Fahrzeug im Flughafenbereich auf fast allen Bewegungsflächen. Dabei wurden für diese Aufzeichnungen keine festgelegten Strecken oder Bewegungsmuster vorgegeben. Die Fahrten sollten lediglich die üblichen genutzten Wege einschließlich Start- und Landebahn sowie Rollwege abdecken.

Anhand der Daten lassen sich, verglichen mit dem Flughafen Grundriss, deutlich die Strukturen des Flughafens erkennen. In Abb. 8 ist zu sehen, wie neben dem Vorfeld auch alle Rollwege abgefahren wurden. Hierbei sind keine signifikanten Lücken in der Erfassung zu erkennen. Die oszillierende Bewegung des Fahrzeuges um die Mittellinie der Start- und Landebahn ist kein Systemfehler sondern wurde absichtlich gewählt.

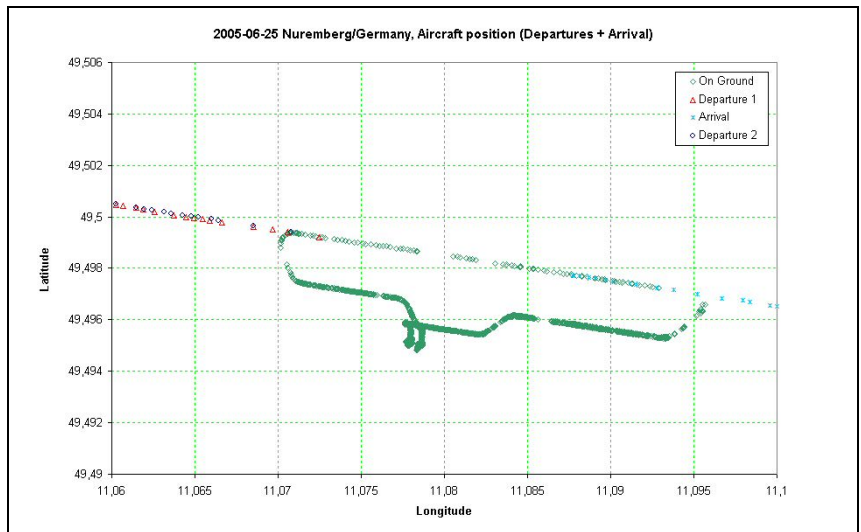


Abb. 7: Flughafennahbereich, 1 Flugzeug - Start/Landung

Zur Ermittlung der Positionsgenauigkeit wurde eine Fahrt entlang der Mittellinie der Start- und Landebahn ausgewertet. Für die Analyse wurde angenommen, dass das Fahrzeug sich exakt auf der Mittellinie befand. Stichprobenartig wurden die maximalen Abweichungen von Fahrzeugpositionen und Mittellinie errechnet.

Die ermittelte Abweichung lag hierbei unter 5 m. Zudem zeigte sich, dass eine Erfassung von Fahrzeugen auch außerhalb der „sensitiven“ Bereiche des Flughafens möglich ist. Das Fahrzeug hielt sich nicht nur direkt auf den Flughafen-Bewegungsflächen auf, sondern auch außerhalb des Flughafens. Deutlich ist zu erkennen, wie sich das Fahrzeug zwischen Terminal und Parkhäusern und angrenzenden Straßen bewegte.

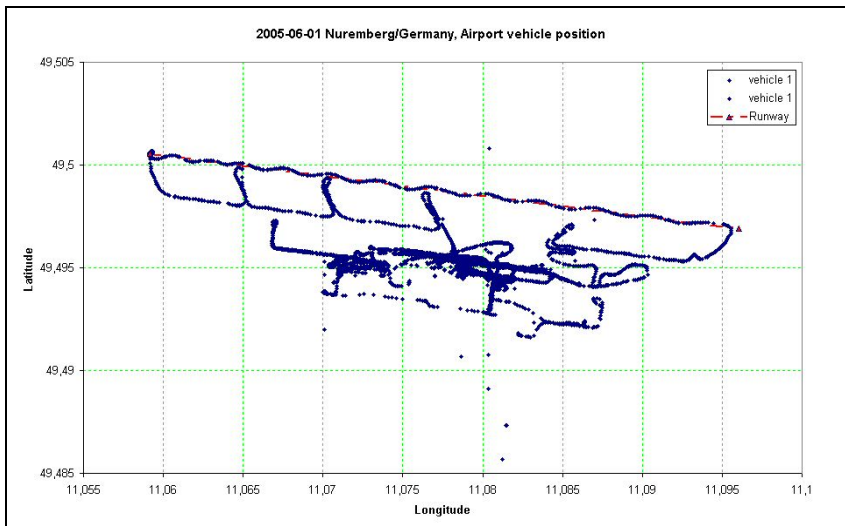


Abb. 8: Lokaler Erfassungsbereich, Flughafenfahrzeug

Erste Resultate: Positionsfehler

In vorausgegangenen Messungen wurden schon fehlerhafte Positionsinformationen in ADS-B Meldungen von Flugzeugen festgestellt, welche eindeutig dem Verursacher zugeordnet werden konnten. Auch in der aktuellen Installation und Kombination von ADS-B Empfänger und Flughafenfahrzeug konnten fehlerhafte Positionen beobachtet werden.

Wie sich Positionsfehler auswirken illustriert Abb. 9. Zur besseren Lesbarkeit sind alle Punkte der Bewegungsspuren (Tracks) mit Linien verbunden. So ist deutlich zu sehen, dass einzelne oder auch mehrere aufeinander folgende Positionen aus dem Track „ausbrechen“.

Ausgehend von den vorliegenden Daten wurde ein Anteil von ca. 2% an fehlerhaften Positionsmeldungen festgestellt. Dieser wird als hoch eingeschätzt, sollte sich aber nach Beseitigung von Datenverarbeitungsfehlern und mit Verbesserung der Signalverarbeitung im Empfänger (geplant für Phase 2) wesentlich reduzieren lassen.

Fazit

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass das derzeit eingesetzte ADS-B System sich gut eignet, um erste Erfahrungen über die Verfügbarkeit von kostengünstigen ADS-B Systemen und deren Nutzung im Zusammenhang mit Flughafenfahrzeugen zu sammeln. Das System mit Empfänger und zugehörigen Sendern im Fahrzeug bietet eine gute technische Basis und ermöglicht einen weiteren Ausbau. Für eine spätere betriebliche Nutzung ist es jedoch erforderlich das System weiter zu ergänzen, um eine für den operationellen Betrieb ausreichende Überwachungs Kapazität und Zuverlässigkeit bereitstellen zu können. Eine Erweiterung der Infrastruktur mit wenigen weiteren Sensoren sollte für eine ununterbrochene und lückenlose Erfassung aller ADS-B fähigen Fahrzeuge und Flugzeuge auf den Flughafen-Bewegungsflächen ausreichen. Dies wird ein Untersuchungsgegenstand in SAMSON Phase 2 sein.

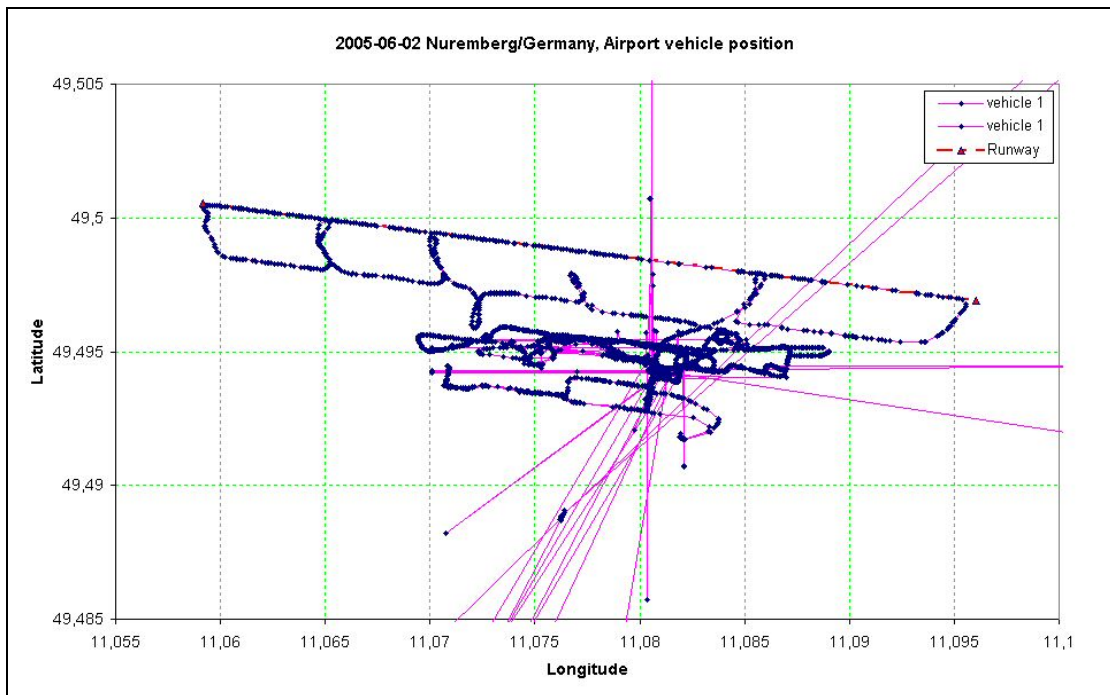


Abb. 9: Fehlerhafte Positionen (Ausschnitt)

The Wake Vortex Warning System at Frankfurt Airport¹

Dr. Jens Konopka, Harald Fischer, TEA

Abstract

The Wake Vortex Warning System, WVWS, at Frankfurt Airport, in particular the so called glide-path extension is now technically completed. The system shall enable a reduction of the wake turbulence separation using predictions of the wake vortices' motion between the two closely spaced parallel final approach paths for runways 25L and 25R up to 5000 ft above ground level.

The glide-path extension of the WVWS comprises a wind-temperature radar with a radio acoustic sounding system, WTR/RASS for real-time measurements of wind and temperature profiles. Every two minutes the wind profile is measured and fed into a wind forecast algorithm which produces estimates of the wind up to 20 minutes ahead. This information is used to determine whether wake transport between the two neighbouring glide paths can be excluded with high confidence.

The installation is now running on a routine basis since May 2004 without any modification to the separation standards yet. The data collected under operational conditions so far allows for a first assessment of the potential capacity increase when such a crosswind based system is used for approaches to closely spaced parallel runways.

The impact of different factors on the estimated benefit in terms of capacity will be discussed. These influencing factors include for example the wind profile itself, the runway geometry and the performance of aircraft on the glide slope.

The paramount system requirements regarding data availability and accuracy are confronted with the experience gathered so far. It turns out that the meteorology deteriorates the benefits for two reasons: Firstly the state of the atmosphere does not always allow for safe reduction of the wake turbulence separation and secondly the performance of remote sensing systems like wind profilers, sodars or lidars etc. are crucially dependent on the ambient conditions.

Introduction

The growth of air traffic in the recent years has led to an increasing congestion at many airports. While building new runways is a rather costly and long-lasting process, air traffic management research is challenged to develop innovative systems and novel procedures to accommodate at least part of the additional demand.

In particular close to airports the three-dimensional air traffic has somehow to be squeezed to one dimension when aircraft are lined up to approach for one or more runways. Inter-arrival spacing therefore sets stringent constraints to the number of aircraft that can land in a given period of time.

Possible inter-arrival spacing is limited mainly by two factors: Minimum radar separation and wake turbulence separation. Standards for the wake turbulence separation were implemented by the International Civil Aviation Organization in the early 1970's to avoid the hazard caused by encountering the vortices of the preceding aircraft.

The wake turbulence separation minimum for a medium aircraft following a heavy aircraft, e.g. an Airbus A320 behind a Boeing B747, is two times larger than the radar separation required for avoiding collisions between aircraft. If it can be proven that the vortices are not a factor under certain conditions, the separation needed between such pairs of aircraft can safely be reduced to the radar separation minimum.

Besides the characteristics of the vortex generating aircraft, in essence weight, wing-span and speed, the behavior of wake vortices is strongly dependent on meteorological parameters. The idea of a ground-based system [1,2] for wake avoidance is to accurately measure the state of the atmosphere and to use this information to predict the transport and decay of wake vortices. If such a prediction ensures that the flight corridor of the following aircraft is clear of vortices after a given time interval, wake turbulence separations can be reduced.

The German air navigation service provider, DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, has developed

¹ Dieser Beitrag wurde veröffentlicht auf der 24th Digital Avionics Systems Conference, October 30, 2005

such a wake vortex warning system for more than a decade. This work concluded with the deployment of all necessary components in 2004.

This article briefly describes the wake vortex phenomenon and addresses the particular problem at Frankfurt airport. An excellent overview can be found in [3]. The concept and the layout of the Wake Vortex Warning System, WVWS (in German Wirbelschleppen-Warnsystem, WSWS) is introduced. Hereby special attention will be given to the most recent developments, which include a wind-temperature radar with a radio acoustic sounding system, WTR/RASS, for the characterization of the atmospheric boundary layer up to 5000 ft above ground level.

An assessment of the overall system performance and the practically attainable increase in capacity is presented.

Early works

Frankfurt airport has two parallel runways 25 or 07 left and right plus a third runway, in direction 18, which is exclusively used for departures to the south. The separation of 518 m or 1700 ft between the two parallel runways is too small to allow for independent operations. Even more so, wake turbulence separations have to be applied also between aircraft approaching different runways. 760 m or 2500 ft would be needed to avoid this restriction.

Since the wake vortices are transported with the ambient wind a sufficiently strong crosswind will prevent vortices from moving to the adjacent up-wind runway. Thus even wake turbulence pairs could be separated by the minimum radar separation.

Necessity of forecasting the wake behavior

In busy terminal maneuvering areas the separation at threshold is already determined when the following aircraft intercepts the instrument landing system. For planning purposes the separation needs to be known even earlier. When the separation is to be reduced, as a consequence the behavior of the wake shall be known already up to 20 minutes before landing. Otherwise an encounter of a rather young vortex cannot be excluded without applying evasive maneuvers like a

go-around or radar vectoring out of the approach sequence.

Wake avoidance strategies

Hazardous encounters of wake vortices can be avoided due to three different strategies: Waiting until the vortices have decayed to a sufficiently low intensity was basically the idea when the ICAO wake turbulence separation minima were established.

Away from the ground vortices are descending below the flight level due to mutual induction. The following aircraft is vertically separated from the vortices.

The third avoidance strategy involves a lateral separation between the wake and the aircraft, e.g. when two aircraft are flying on the same track but the wind component perpendicular to the track transports the vortices laterally out of the flight path of the following aircraft.

Only the avoidance strategy due to lateral transport is used in the WVWS. For operations with reduced separations it is rather unlikely that a major fraction of the vortices has decayed before the following aircraft is landing, therefore only avoidance strategies due to transport are feasible. Close to the ground, where the vortices are in ground effect (roughly speaking at altitudes equivalent to one wingspan or lower), the ground inhibits vortex descent. Even more so, vortices may rebound when interacting with the ground [4]. The only option, how the approach corridor can quickly be cleared of vortices, is a rapid side-ward motion.

Initial deployment

The Wake Vortex Warning System at Frankfurt airport has a long history. Already in 1996 all components were installed to treat vortices up to 80 m above ground level.

At this stage the system consisted of ten ultrasonic anemometers mounted on 15 m poles approximately 0.5 NM before thresholds 25R and 25L respectively. Such an array of anemometers is also known as a 'wind line'. To accurately characterize the local wind field, these instruments, Metek USA-1, measure the three-dimensional wind vector and the temperature at a rate of 25 Hz. In Figure 1 the ten masts are

shown together with a medium size aircraft just flying over the sensors.



Fig. 1: Wind line at Frankfurt airport

Multiple sensors are needed, because at this site the data of a single sensor may be contaminated by the vortex induced wind. Secondly, with this layout the system can tolerate failures or malfunctions of one or two sensors.

Although the wind line has been installed only for the purpose of characterization of the local wind field, it serves also an excellent tool to detect and track vortices as they move between the two parallel runways [5].

The wind data is transmitted via fiber-optics to the WVWS computers in the control tower and is subsequently fed into a dedicated algorithm for now-casting the ambient wind up to 20 minutes into the future [6]. This algorithm computes the wind vector including uncertainty bounds, which increase with the horizon of the forecast. Finally the extremes of the predicted crosswind interval are used to determine the maximum distance the downwind vortex can be transported under these conditions. A display inside the main radar window provides the approach controllers with a

recommendation, how heavy-medium pairs could be staggered optimally.

Modes of operation

Depending on the ambient wind and therefore on the motion of the vortices four different modes of operation with reduced wake turbulence separation minima are identified:

- Staggered approach (Staggered)
- Modified staggered approach heavy left (Mod25L)
- Modified staggered approach heavy right (Mod25R)
- Single runway approach (Single)

The staggered approach procedure requires a very weak crosswind such that neither the right vortex of an aircraft landing on 25L can move to the safety corridor of 25R nor the left vortex of an aircraft landing on 25R can move into the safety corridor of 25L. Staggered approach may be applied if the criteria for Mod25L and Mod25R are fulfilled simultaneously.

Modified staggered heavy right (Mod25R)

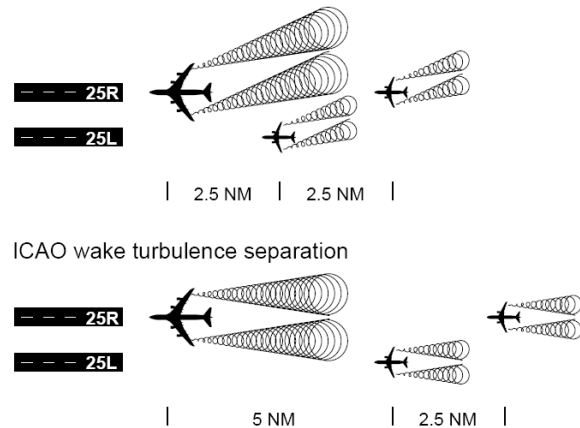


Fig. 2: WVWS vs. ICAO separation

Figure 2 illustrates the basic concept of the WVWS using a heavy-medium-medium chain of aircraft approaching a closely spaced parallel runway system. The ICAO wake turbulence separation was established to provide sufficient time for the vortices to decay or to move out of a safety corridor of a single runway. Therefore the following medium on 25L could also land behind the heavy aircraft on 25R.

In the upper part of Figure 2 a crosswind from 25L towards 25R transports the wake of the leading heavy aircraft safely away from the approach corridor of runway 25L. Therefore minimum radar separation is sufficient to avoid any wake vortex induced risk for the following medium on 25L. If the minimum radar separation is not lower than 2.5 NM, as is the case in this example, the third aircraft, another medium, is also properly separated to the heavy in front.

The modified staggered approach procedures require an intermediate to strong crosswind which transports the vortices away from the flight corridor of the adjacent runway.

The single runway approach is aiming at cases where both landing aircraft are using the same runway, e.g. 25L. This mode of operation requires a strong crosswind to ensure that both, the upwind and the downwind vortices, are transported out of the safety corridor of that runway. Single runway approaches always imply that one of the modified procedures can be applied as well.

The single runway operation is distinct from the other options, because it requires explicit treatment of the upwind vortex. The staggered and the modified staggered modes are based on the concept that the downwind vortex cannot reach the adjacent runway. For operations on one runway, the downwind vortex clears the runway much faster than the upwind vortex.

The single runway option was merely considered at the beginning of the project. Already the early measurements of the wind field showed only rare occurrence of strong and persistent enough crosswinds, which also moved the upwind vortex out of the safety corridor.

Operational trials, however, have not taken place, because the limitation to the very last part of the final approach was criticized by pilots. The main reason were findings from flight tests which showed that even away from the ground vortices may stay at altitude and even rise [7].

This situation led to a follow-up project, the glide-path extension of the Wake Vortex Warning System.

Glide-path extension

Since the project was aiming at reducing the separation of a medium behind a heavy aircraft by

50 % in most of the cases it could not be assumed that the vortices of the leading heavy aircraft have decayed to an insignificant level within such a short time. E.g. assuming a final approach speed of 140 kt a separation of 2.5 NM translates into 64 s between two aircraft. Therefore wake encounters need to be avoided by other means.

Since rising vortices were the sources of concern, initially the glide-path extension was aiming at the prediction when vortices could be expected to rise. A more refined analysis showed however that this approach is associated with a number of uncertainties. The reasons that finally led to a different concept are of common interest and are summarized below.

In order to address all the criticisms, the operational requirements included the coverage of the entire height range of interest, i.e. starting at 80 m above ground, the lower 80 m were already covered by the existing system, up to the top of glide slope at 5000 ft.

Rising wake vortices

To date only very few rising wakes have been observed at altitude. Even fewer cases have been scientifically analyzed. Although there are several theoretical attempts to quantify the problem, only little is known about the conditions where rising vortices are likely to be expected.

Since the downward motion of the wake is just a manifestation of Newton's third axiom "actio = reactio", the momentum transfer to the wake per unit time is in balance with the lift of the aircraft. The descent speed is proportional to m/b^2 , where m is the mass and b the wingspan of the aircraft. Typical descent speeds are between 1.5 and 2.5 m/s.

Rather strong forces are needed to stop the downward motion of the vortices. Nevertheless such forces can exist in the atmosphere: According to the current understanding of the phenomenon there are three types of meteorological conditions which inhibit vortex descent and might lead to rising vortices:

- vertical wind speed on the order of the descent speed of the vortices
- wind shear
- stratification effect (vortex bouncing at an inversion layer)

Combinations among these conditions may even enhance the effect. In particular strong inversions often coincide with pronounced wind shears.

Updrafts with vertical wind speed exceeding 1 m/s are frequently observed in the convective boundary layer. The measurements with the WTR/RASS showed that during 1.5% of the time vertical wind speed at 300 m above ground exceeds 1 m/s. In 0.6% (0.2%) of the cases the vertical wind speed at 300 m exceeds 1.5 m/s (2 m/s).

At a first glance this looks like rare events. It is however extremely difficult to forecast the occurrence of strong updrafts. Therefore rising wakes due to convective motion may be expected during almost half of the year, i.e. when the solar radiation is strong enough that convection can develop.

Although simulations show that if a segment of a vortex is embedded in an updraft it'll likely decay faster than on average [8], little is known about the magnitude of this accelerated decay. Moreover these theoretical results need to be validated in field measurements before these considerations can be used in a safety critical ATC procedure.

The observation of the vortices themselves was deemed not feasible, because the probability of detection of wake vortices using remote sensing technology is far off the ideal value of 100 %. Even if only 5 % were missed, on average every half an hour the system could not give a reliable conclusion, unless it could be proven that the vortices were not detectable just because they disappeared and did no longer pose a threat to following aircraft.

Wind-temperature radar with RASS

There several possibilities to gather the necessary meteorological input data for the glide-path extension. Beside all kinds of remote sensing technology, like lidars, sodars and wind profilers, in principle also the meteorological data measured on-board the aircraft and down-linked to the air traffic management system on the ground could be used.

Data-link of meteorological parameters appeared to have an essential shortcoming: Data quality could not be controlled to the necessary level and the frequency of the transmissions was also

dependent on too many external factors like the instrumentation of aircraft or the availability of the necessary data link bandwidth. Even at a busy airport like Frankfurt the absence or small abundance of aircraft with suitable equipment onboard could lead to gaps of more than one hour in the data.

For the use of a remote sensing system as a part of the Wake Vortex Warning System a number of challenging technical and operational requirements had to be met. These requirements included

- continuous measurement of wind and temperature profiles under nearly all conditions including e.g. low visibility
- vertical resolution of 50 m or better
- actual wind and temperature profile every two minutes
- measurement between 80 m and 1500 m above ground level
- availability of high resolution wind and temperature data exceeding 95%
- accuracy of the wind measurements of 1 m/s or better
- unmanned operation at a busy airport where reflections of the radar signals by aircraft deteriorates the measurement

For the system at Frankfurt airport a wind profiler has been chosen, since the performance of existing profilers was already close to our requirements.

To minimize the problem of radar reflections by aircraft it was further required that the profiler performs wind measurements in two different ways. Data from conventional clear-air measurements can not be used if the return signal from the atmosphere is covered by the much stronger return from aircraft or other moving solid objects, like e.g. birds. Therefore the system was designed to measure the wind also by radio-acoustic sounding (RASS = radio acoustic sounding system). Doing so, also the adverse effect due to radar reflections at fixed objects (ground clutter) is reduced. Details of the RASS technique are given below.

In Figure 3 the WTR/RASS site at the western end of Frankfurt airport is shown. The system, a

Scintec AP 1000, is mounted on an octagonal foundation with a diameter of 24 m. The antenna for the emission and detection of the electromagnetic signal is located in the center. The size of the antenna is 4.8 m × 4.8 m. It is surrounded by 20 acoustic arrays each consisting of 32 × 32 = 1024 piezoelectric oszillators, which generate the sound for the RASS wind- and temperature measurements. The installation is surrounded by a wall in order to reduce the noise emissions in the side-lobes.



Figure 3. WTR/RASS at Frankfurt airport

The container in the foreground of Figure 3 accommodates the WTR/RASS System rack. The computers inside this rack control the measurement cycles, the emission of electromagnetic and acoustic waves, sample the incoming signals and compute wind and temperature information from the raw spectra. Every time when a new profile has been obtained, this so called 'main data' is transmitted via Ethernet to the central unit of the WVWS located in the air traffic control tower.

Clear air and RASS measurement techniques

A wind profiler emits radio-frequency pulses into the atmosphere, where a small fraction of the radio waves is backscattered at fluctuations of the refractive index (Bragg reflection at density inhomogeneities) and at hydrometeors if present in the atmosphere (Rayleigh scattering). The frequency of the backscattered signal is Doppler shifted, because the parcel of air, in which the scattering takes place, is moving with the ambient wind. Of course, by using this technique only the velocity component in radar-beam direction can be obtained. The operation principle is also sketched in Figure 4.

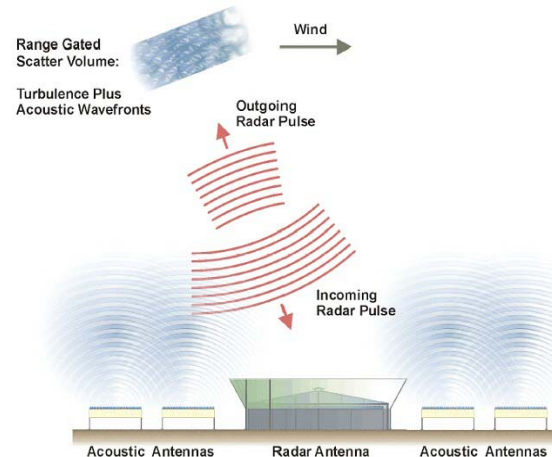


Figure 4. WTR/RASS measurement scheme

The signals are received by the antenna of the wind profiler and are sorted according to the signal propagation time T . For a vertical emission and employing the relation $h=c \cdot T/2$, where c denotes the speed of light, the height h is readily determined. The analog signal is transformed to an intermediate frequency, which is digitally sampled and Fourier transformed. From the latter information the wind component in beam direction is derived.

The radar antenna of the WTR/RASS is a phased array with 768 elements thus allowing for a beam steering. The system is operating at 1290 MHz in a five-beam configuration. Beside the vertical beam two beams parallel and another two beams perpendicular to the runways are used.

Parallel to the radio emission sound is emitted from the acoustic sources. Here, the electromagnetic signal is backscattered at the density fluctuations in the sound wave. To achieve optimal results the Bragg condition needs to be fulfilled, i.e. the acoustic wavelength must equal half the electromagnetic wavelength. Since the density fluctuations are moving with the speed of sound, the associated Doppler shift is much larger than in the clear air case. Therefore, these signals are much less influenced by ground clutter and echoes from aircraft, because these objects would need to move nearly at the speed of sound to produce a signal in the RASS part of the spectrum. Since the relation between temperature and speed of sound is known, the temperature is readily obtained from the RASS signal.

Using RASS to supplement conventional wind profilers to measure temperature has been realized at many sites. The WTR/RASS at Frankfurt however is the first wind profiler for operational purposes, which employs the radio acoustic sounding technique also for wind measurements. To achieve this, it was necessary to develop acoustic phased arrays to steer also the sound beam parallel to the steered electromagnetic beam.

Results

The WTR/RASS is now operating since May 2004 with only few interruptions due to unforeseen outages and planned system adaptations. Between May 28th, 2004 and July 25th, 2005 WTR/RASS data from 402 days have been collected.

Wind profile measurements

An example of a daily summary is shown in Figure 5. The plot contains hourly averages of the wind profiles measured on June 28th, 2005. In addition to the average over one hour the data is averaged vertically over 100 m. In the first 12 hours a distinct change of the wind direction is observed. The transition happens rather smooth over the height range between 500 and 1000 m. Around noon the situation is characterized by a very weak wind from various directions. Later on the wind speed increases again and a pronounced shear around 1200 m develops.

This shear layer can be analyzed in more detail when looking at Figure 6. Here all the horizontal wind information of the WTR/RASS, i.e. all height ranges and all profiles are displayed. The plot covers a full hour between 22:00 and 23:00 h UTC (midnight – 1:00 h local time).

While this kind of graph is best suited to demonstrate temporal changes in the wind profile, the magnitude of the shear becomes apparent in Figure 7.

WTR/RASS Flughafen Frankfurt am Main

Profiles of the horizontal wind 2005-06-28

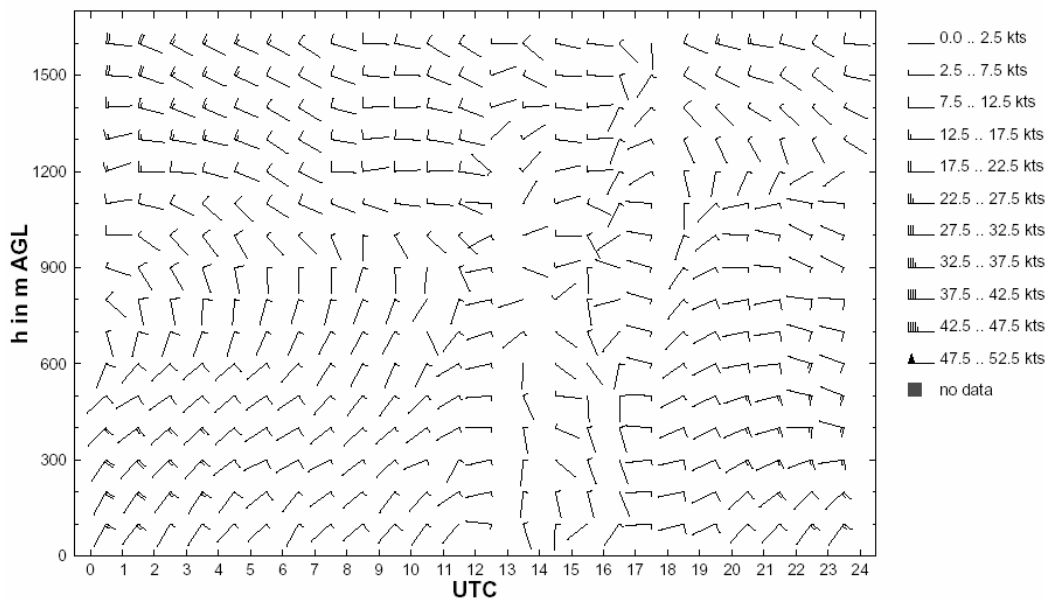


Figure 5. Wind profiles of one day

WTR/RASS Flughafen Frankfurt am Main

Profiles of the horizontal wind 2005-06-28 22:00

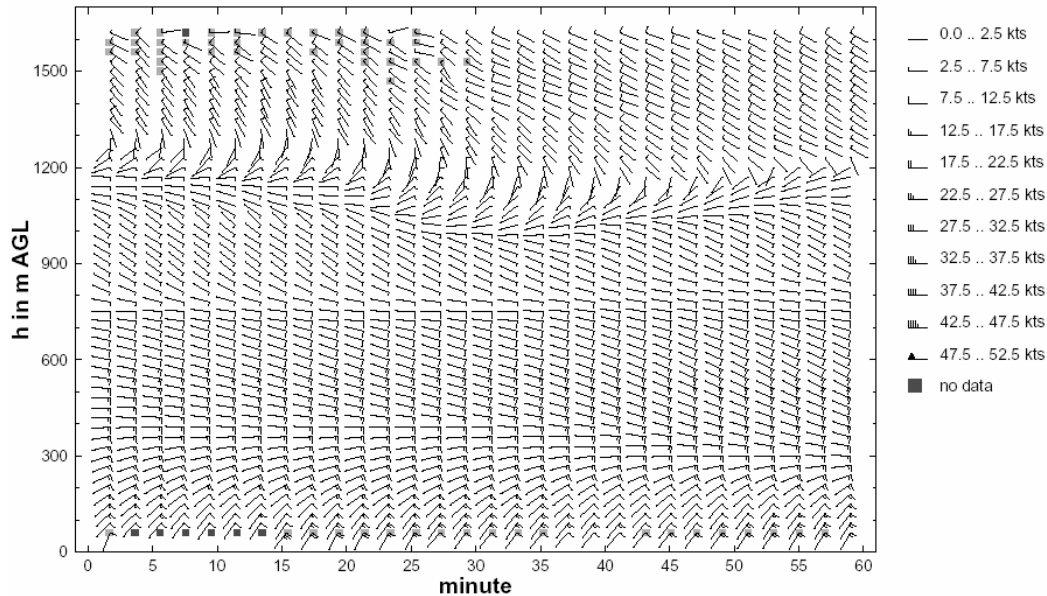


Figure 6. Wind profiles of one hour

Figure 7 shows the profile of wind speed (left), direction (middle) and the crosswind (right) at three different instants, 22:19, 22:29 and 22:49 hours. To avoid an artificial enhancement of the jump due to the transition across the north direction (0° or 360°) the angular range from 180° to 360° has been mapped onto the interval -180° to 0° .

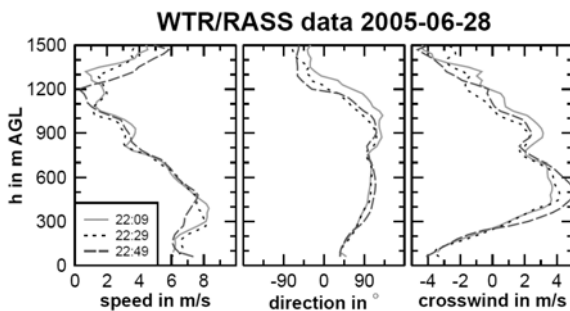


Figure 7. Wind shear at 1200 m

In this example the wind direction changes by more than 90° over only 100 m range. The change in wind direction is accompanied by a drop in wind speed. Around 1200 m the wind speed is less than 2 m/s but it rises above and below.

Rapid changes of the wind direction as well as large variations with height are crucial for the

purpose of wake avoidance. As mentioned earlier, these shear layers may have some adverse influence on the descent of the vortices. In addition to that, the crosswind can change its sign during the approach of an aircraft. In other words there is no consistent definition of an upwind runway. Hence there might be certain height ranges where the WWWS suggests to put the leading heavy aircraft on an approach to runway 25L, while at the same time but at different altitude the local wind conditions would transport the wakes from 25L towards 25R.

The phenomenon of alternating crosswind is illustrated in Figure 7 too. Around 100 m the crosswind is negative, -4 m/s. Already at 400 m, which is close to the outer marker, crosswind has become positive and it is exceeding $+4$ m/s. At even higher altitudes the crosswind sign is changing a second time. At the top of the measurement range again a -4 m/s crosswind is observed.

As long as the system needs to rely on lateral transport only, in such a situation it can only suggest to keep the wake turbulence separation minimum unchanged.

It is of no relevance to the overall conclusion that this very example had easterly winds near the surface and therefore runway 07 had been in

use. The only reason, why the WVWS is limited to runways 25, is that there is no equivalent to the wind line near thresholds 07L and 07R. The elements of the glide-path extension could be used for operations in both directions.

Figure 8 shows another example where an abnormal wake behavior can be expected. The figure shows three profiles of wind speed (left) and wind direction (middle) together with the temperature profiles, which have been measured on November 3rd, 2004. Note that there are ten hours between two consecutive profiles.

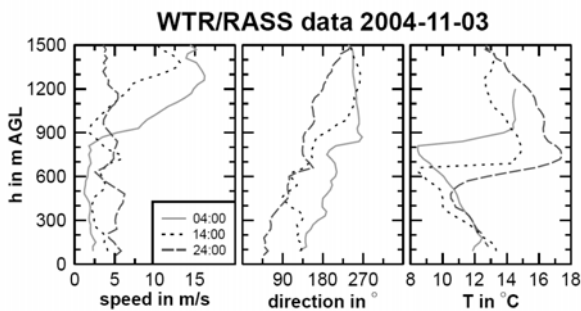


Figure 8. Inversion around 700 m

On November 3rd and 4th a remarkable inversion was lying over the area. It persisted for almost 48 hours and showed strong changes of the temperature with altitude (6 ° C within 100 m). The transition in the temperature profile was presumably sharper than that, but could not be resolved with the RASS due to the finite pulse length of 50 m. Nevertheless, in particular the data taken at 14:00 hours UTC exhibits a temperature jump of 6 ° C from one height gate to the next.

It should be further noted that this inversion was accompanied by a shear too. Both, wind speed and wind direction showed sudden changes at the altitude of the inversion.

It is beyond the scope of this paper to discuss the potential impact of wind shear or inversion on wake vortex trajectories and decay [9,10]. Nevertheless it is clear that these phenomena need to be understood before a reduction of the wake turbulence separation under suchlike conditions could be considered.

Statistical analysis of the meteorological data

For an assessment of the potential benefit of the Wake Vortex Warning System isolated examples,

as they have been presented in the previous section, are of limited use. Various statistical quantities have therefore been deduced from the approximately 290.000 different wind profiles that have been accumulated since the WTR/RASS commenced operations in May 2004.

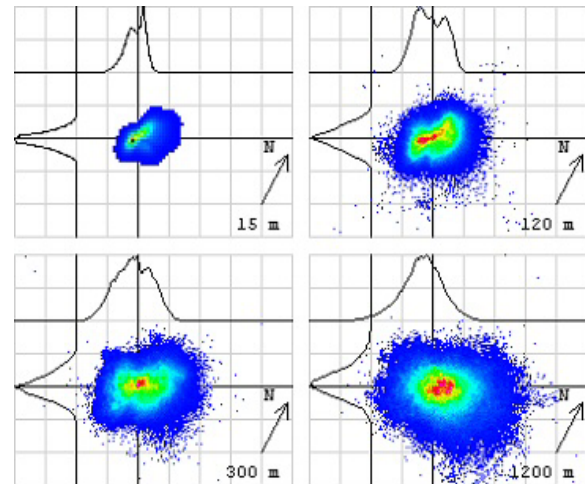


Figure 9. Statistics of horizontal wind

Figure 9 shows colour coded double-differential distributions of the horizontal wind at 15 m, 120 m, 300 m and 1200 m above the ground measured at Frankfurt airport. The horizontal axis is representing the runway parallel wind while the vertical axis represents the wind component perpendicular to the runway (crosswind). The black straight lines mark 0 m/s and the grid spacing is 10 m/s. A wind vector rather than the meteorological wind direction has been used for this plot. Thus a northeasterly wind (a wind blowing from northeast to southwest) is found in the lower left quadrant. The arrows indicate the north direction. Parallel wind and crosswind distributions are also plotted as lines at the top and left hand side of each graph respectively. Data at the higher altitudes (120 m, 300 m and 1200 m) has been measured with the WTR/RASS. The wind distribution at 15 m is shown for reference too. This data has been measured with the wind line during a different period covering more than three years.

Figure 9 exhibits the clockwise rotation of the mean wind direction with height, the so called Ekman spiral. The distribution broadens considerably at the higher altitudes indicating a higher frequency of stronger winds. The distribution at 1200 m almost represents the geostrophic wind. The typical preference for westerly flows is observed. This trend is preserved also close to the

ground where the wind determines somehow, which runways (07 or 25) are to be used. Bearing in mind that in Frankfurt runways 25 can be used until the tailwind exceeds 5 kt (parallel wind less than -2.5 m/s), the dominance of landing direction 25 can be easily read off the parallel wind distribution.

Concept of maximum tolerable crosswind

To avoid that an aircraft encounters the wake of the preceding aircraft by means of lateral or vertical transport, it is necessary to consider the positions of both aircraft as well. Ideally the exact positions of both aircraft at any time should be known and inputted into the system, however to date such technology is not readily available. Moreover a large additional effort would be needed to monitor the performance of both aircraft on the instrument landing system and to issue warnings when given limits would be exceeded.

According to ICAO Annex 10 Chapter 3.1.3.11.2, the overall localizer tolerance, i.e. the sum of the course alignment accuracy and the structure tolerance, shall not exceed $\pm 0.281^\circ$. This value corresponds to just one standard deviation (1σ). Per 1 km additional distance from the threshold the 1σ -envelope increases by roughly 5 m. Because the WVWS is based on the height above ground rather than distance from threshold, the glide slope of 3° is used to translate the former value to an increase of 0.1 m of the 1σ -envelope per additional 1 m height increment.

Considering further the finite (half) wing span – here a conservative and therefore large value of 50 m is adopted – and the fact that both aircraft contribute, a maximum permitted vortex transport distance, $d_{\max}(h)$, can be derived as a function of height above ground. Using the distance between the two parallel runways in Frankfurt it becomes $d_{\max}(h) = 518 \text{ m} - 2 \cdot (50 \text{ m} + 0.1 \cdot h)$.

Employing a conservative estimate of maximum lifetime of 150 s (time needed to fly 5 NM at a ground speed of 120 kt) the maximum tolerable crosswind (wind directed towards the following aircraft!) is obtained: $|u_{\max}(h)| = (518 \text{ m} - 2 \cdot (50 \text{ m} + 0.1 \cdot h)) / 150 \text{ s}$.

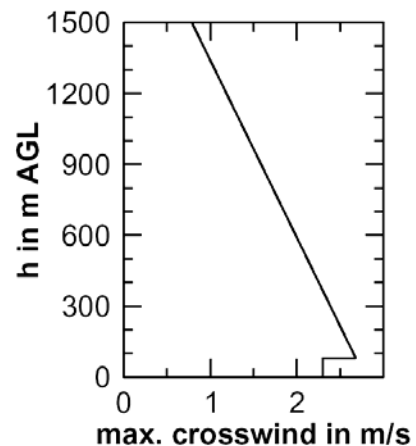


Figure 10. Maximum tolerable crosswind

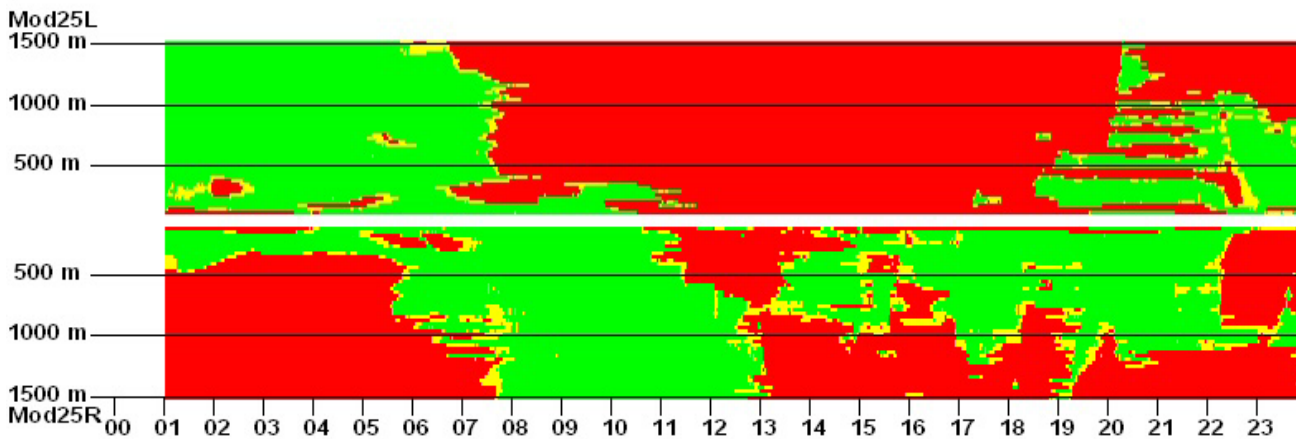
The profile of maximum tolerable crosswind is displayed in Figure 10. For example the ‘modified staggered heavy left’ procedure and 1000 m above ground are considered: The leading heavy would be on approach to 25L, the following medium would be separated by 2.5 NM but for the parallel runway 25R. In this situation a crosswind of up to 1.45 m/s towards the runway 25R can be accepted.

Below 80 m the above mentioned formula is no longer appropriate. The value of 2.3 m/s applies to the vortices in ground effect. It was deduced from an analysis of lidar measurements of more than 1000 vortices at Frankfurt airport [11].

The decrease of the maximum tolerable crosswind with altitude is mainly caused by the accepted deviations from the ideal localizer course. Statistical analysis of radar tracks from 40.000 landings at Frankfurt has however shown, that the actually navigation accuracy on the ILS is a factor of two better than the accepted deviations [12].

Wind forecast for the entire glide path

At altitude the situation is similar to the situation close to the ground: Knowing just the measured wind is not sufficient to guarantee a safe landing with a reduced wake turbulence separation. In contrast to the forecast of the surface wind (in fact the wind at 15 m above ground), the algorithms for a forecast of the entire wind profile could not follow a statistical approach based on a large amount of historical data, because there was no such database of the wind at altitude. MeteoSolution GmbH together with the Institute



Recommended Procedure 2005-06-15

Figure 11. Result of the forecast

for Meteorology and Climatology of the University of Hannover developed a wind prognosis algorithm for the specific problem under consideration.

This algorithm employs a modified persistence concept. A trend and fluctuations around it are determined from the wind and temperature measurements of the last 70 minutes. It is now assumed that the trend and the magnitude of the fluctuations are preserved for the next 20 minutes. In this way upper and lower bounds for the meteorological parameters in 2, 4, ... , 20 minutes, are calculated. The crosswind bounds are subsequently compared to the maximum tolerable crosswind at this very altitude.

There is no coupling between the different height gates. Thus for any one of the 48 gates of the WTR/RASS this procedure has to be executed independently from the other heights. Therefore the glide-slope extension comprises 48 independent forecasts, which all need to support the same procedure. The prognosis is updated every two minutes, at the time when a new profile is provided by the WTR/RASS.

Figure 11 shows the results of such a wind and wake vortex transport prognosis for a whole day, June 15th, 2005. The upper and lower half of the graph display the applicability of the Mod25L and Mod25R procedures. Each single forecast (one height gate and one two-minute slot) is represented by a single pixel. The color of the pixel is green (=light grey) if the procedure can be applied for 20 minutes or more according to the

information at this very altitude. Red (=dark grey) indicates that the procedure cannot be used, since there is a risk of vortex transport from one glide path to the other. Yellow (=intermediate grey) signals that the procedure can be applied, but for less than 20 minutes.

Obviously the whole profile must be colored in green to safely apply the Mod25L or Mod25R procedure. This is only observed for Mod25R and in the period from 08:30 till 10:30. The graph looks rather patchy. For a single height the number of changes from green to red with time is on an acceptable level. In fact it is in line with our experience with the wind forecast close to the ground. Changes within a single profile are more frequently observed, the underlying problem was already mentioned in the context of the discussion about changing crosswinds, see Figure 7.

Potential benefit of the WVWS

Again Figure 11 just represents a single example only. Unfortunately it is symptomatic for the whole set of data that has been collected so far. This becomes apparent when looking at Figure 12.

Here the fraction of time, where one of the modified staggered procedures could have been applied, has been estimated using six different assumptions about what determines the wake transport.

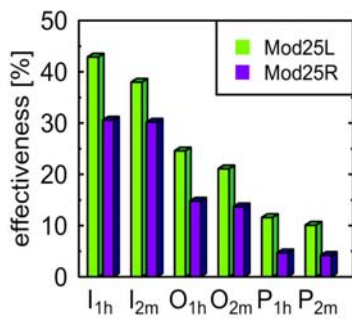


Figure 12. WWS benefit assessment

The meaning of the different scenarios is explained in Table 1. For example in scenario I_{2m} the most recent measurement of the two minute averaged crosswind is compared with the maximum tolerable crosswind.

Table 1. Scenarios used for benefit assessment

Label	Wake transport based on
I _{1h}	measured 1 hour wind
I _{2m}	measured 2 minute wind
O _{1h}	optimistic forecast of 1 hour wind
O _{2m}	optimistic forecast of 2 minute wind
P _{1h}	pessimistic forecast of 1 hour wind
P _{2m}	pessimistic forecast of 2 minute wind

Figure 12 clearly shows that the measured wind would frequently support a safe reduction of the wake turbulence separation. In this sample, which covers three months of the entire data set, the profile of the crosswind averaged over one hour would allow application of either Mod25L or Mod25R during 75 % of the time. However, the difference between scenarios I_{1h} and I_{2m} indicates already that there exist fluctuations on timescales shorter than one hour, which can result in a vortex behavior that is different from the expectation, if the expectation is based on the one hour average of the wind only.

But this is still an ideal situation, neglecting measurement errors and the fact that the wind in the near future rather than the actual wind is affecting the vortices of aircraft which will land some time later. Accounting for these effects by using some global estimates of the uncertainty bounds, yields even much smaller numbers.

The uncertainty bounds depend on the number of extreme changes of the crosswind on short timescale, that have to be correctly predicted. Even

more so, the system must be able to cope with measurement conditions, which might induce larger than average measurement errors, but could not be automatically and in real-time recognized as such.

The optimistic scenarios have been run with deviations of up to 2 m/s from the actually measured wind, for the pessimistic scenarios 4 m/s had been assumed. Similar numbers have been obtained by a statistical analysis of the surface wind, from which also the buffers for the treatment of the problem close to the ground were derived.

Another aspect contributing to the very small and only theoretical benefit should also be mentioned: As far as spatial and temporal resolution in combination with the requirements concerning accuracy and coverage, the WTR/RASS is operating at the edge, what is currently technically feasible and economically reasonable. Nonetheless the availability of high quality data drops with altitude as well, see Figure 13.

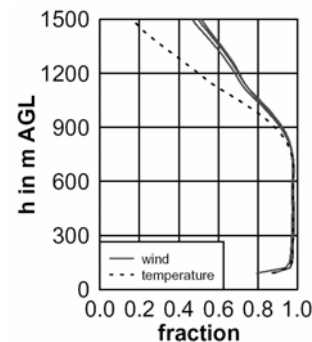


Figure 13. WTR/RASS data availability

Up to 900 m high quality data is obtained most of the time. But the availability of wind data drops beyond this point to about 50 % at the top of the glide slope. Through inclusion of data not belonging to the high quality class, data availability could be kept as high as below 900 m but at the cost of larger uncertainty bounds on the crosswind.

Summary and conclusions

DFS, the German air navigation service provider, has deployed a complete Wake Vortex Warning System at Frankfurt airport. For the first time a system, which includes all necessary technical components for a reduction of the wake turbu-

lence separation, has been tested under operational conditions at a busy airport.

As a most important part of the system a new kind of wind profiler, the WTR/RASS, has been developed. It commenced operation in May 2004. In order to meet a number of paramount operational requirements not only temperature- but also wind profiles are measured by means of the radio acoustic sounding system technology. Together with other sensors all necessary information about the local meteorology is collected and subsequently fed into dedicated algorithms to forecast the transport of wake vortices between the two parallel glide paths. The results, i.e. recommendations how to stagger landing aircraft optimally, can be displayed on the radar screens of the Frankfurt approach air traffic controllers.

Unfortunately real operational trials have not taken place. The fraction of time, when a safe approach with reduced wake turbulence separation can be guaranteed within the required target level of safety, is very limited. Estimates based on the meteorological profiles showed that the WVWS could be operated in a beneficial way only during very few hours per month.

Nevertheless, the data that has already been collected constitutes a unique database for further investigations about the influence of the ambient meteorology on wake vortices. This data collection will go on. Moreover the amount and quality of the meteorological profiles can certainly be used to address other problems. In this way the effort associated with the development of the Wake Vortex Warning System at Frankfurt still could improve the quality of our service by other means. Studies related to different issues have just begun.

References

- [1] Lafferton, Heribert, Thomas Gurke, 1997, The Development of the Wake Vortices Warning System for Frankfurt Airport: Theory and Implementation, ATC Quarterly, Vol. 5(1), pp. 3-29.
- [2] Hinton, David A., James K. Charnock, Donald R. Bagwell, 2000, Design of an Aircraft Vortex Spacing System for Airport Capacity Improvement, AIAA 2000-0622, pp. 1-18.
- [3] Hallock, James N., George C. Greene, David C. Burnham, 1998, Wake Vortex Research – A Retrospective Look, ATC Quarterly, Vol. 6(3), pp. 161-178.
- [4] Corjon, Alexandre, Thierry Poinot, 1997, Behavior of Wake Vortices Near Ground, AIAA Journal Vol. 35(5), pp. 849-855.
- [5] Hallock, James N., Samuel Peter Osgood, Jens Konopka, 2003, Wake Vortex Effects on Parallel Runway Operations, AIAA 2003-379, pp. 1-11.
- [6] Frech, Michael, Frank Holzäpfel, Thomas Gerz, Jens Konopka, 2002, Short-term prediction of the horizontal wind vector within a Wake Vortex Warning System, Met. Appl. 9, pp. 9-20.
- [7] Zak, J. Allen, William G. Rodgers, 1997, Documentation of Atmospheric Conditions During Observed Rising Aircraft Wakes, NASA Contractor Report 4767.
- [8] Holzäpfel, F., T. Gerz, M. Frech, A. Dörnbrack, 2000, The Decay of Wake Vortices in Convective Boundary Layer and their Influence on Following Aircraft, J. Aircraft, 37, pp. 1001-1007.
- [9] Greene, George C., 1986, An Approximate Model of Vortex Decay in the Atmosphere, J. Aircraft, Vol. 23(7), pp. 566-573.
- [10] Switzer, George F., Fred H. Proctor, 2000, Numerical Study of Wake Vortex Behavior in Turbulent Domains with Ambient Stratification, AIAA 2000-0755, pp. 1-14
- [11] Köpp, Friedrich, 1994, Doppler Lidar Investigation of Wake Vortex Transport Between Closely Spaced Parallel Runways, AIAA Journal, Vol. 32(4), pp. 805-810.
- [12] Frauenkron, H., J. Biegholdt, M. Maiß, P. Palanis, E. Smith, 2001, FLIP – Flight Performance using Frankfurt ILS, DFS GmbH Offenbach, pp. 1-100.

Anmerkungen zum Projektabschluss WSWS

Non quia difficilia sunt, non audemus, sed quia non audemus, difficilia sunt. (Nicht weil die Dinge schwierig sind, wagen wir sie nicht, sondern weil wir sie nicht wagen, sind sie schwierig.)

Mit diesem Zitat von Seneca hat die Deutsche Bahn AG vor einigen Jahren geworben. Was für die DB AG gilt, muss für ein Unternehmen, das sich zukünftig nicht in sondern an der Weltspitze der Flugsicherungsanbieter sieht, in besonderem Maße gelten. Ohne Wagnis, bzw. als "fast follower" nur auf von anderen abgesicherten Erkenntnissen aufbauend kann unsere noble Vision niemals Wirklichkeit werden. (NB: Ein anderes von der Deutschen Bahn verwendetes Zitat, das hier ebenfalls passt, besagt: "Wer immer nur in die Fußstapfen anderer tritt, hinterlässt keine eigenen Spuren.")

Auf dem Gebiet der Wirbelschleppen hat sich die DFS kontinuierlicher und weiter vorgewagt als jede andere mit Flugsicherung befasste private oder öffentliche Organisation. Die Frage, inwiefern den hierfür aufgewendeten Kosten ein entsprechender Nutzen gegenüber steht, ist genauso berechtigt, wie sie schwierig zu beantworten ist. Im Sinne des o.g. Zitats bleibt die Beantwortung schwierig, obwohl der Versuch, eine Antwort zu finden, unternommen wird.

Wirbelschleppen stehen in der Luftfahrt nicht nur für ein Kapazitäts- sondern auch für ein potentielles Sicherheitsproblem. Beide Aspekte müssen von einer differenzierten Betrachtung gleichermaßen abgedeckt werden. Mit WSWS und verwandten Projekten versucht die DFS, den Wünschen ihrer Kunden, den Luftfahrtgesellschaften, nach immer höherer und pünktlicher Transportkapazität gerecht zu werden. Dieses Bedürfnis wiederum resultiert aus den basalen Anforderungen, die unsere sog. Mobilitätsgesellschaft heutzutage stellt. Natürlich hätte das Thema Wirbelschleppenstaffelung in anderer nationaler oder internationaler Arbeitsteilung angegangen werden können, für das besondere Engagement der DFS gibt es eine Reihe guter Gründe, sie werden bei der Betrachtung von alternativen Vorgehensweisen deutlich:

Die Sicht- und Denkweise der mit der Problematik in Berührung kommenden Gruppen, angefangen von den Wissenschaftlern in den Instituten, die die Wirbelschleppen erforschen, bis hin zu Piloten und Lotsen, die die dafür entwickelten Systeme einmal nutzen sollen, ist zu unterschiedlich, als dass eine unmoderierte, direkte Zusammenarbeit zum gewünschten Ergebnis führen kann. TE ist in der einmaligen Position, sowohl die relevanten wissenschaftlichen Fragestellungen identifizieren und bearbeiten zu können, als auch die wichtigen operationellen (betrieblich wie technisch) Randbedingungen zu berücksichtigen. Dadurch hat TE eine wichtige Mittlerfunktion wahrgenommen und konnte durch Einsatz DFS-eigener Mittel den aus DFS Sicht richtigen, da auf die operationellen Fragestellungen ausgerichteten Weg einschlagen.

Hätte die DFS sich vor fünf, acht oder zehn Jahren allein auf den Rat der externen Experten verlassen, wären die Kosten für die Realisierung eines WSWS um ein Vielfaches höher gewesen, das Ergebnis aber wahrscheinlich dasselbe (siehe vergleichbare Aktivitäten in den USA). Oder die aufgewendeten Kosten wären in etwa gleich, das Ergebnis aber nur von akademischer Natur, da der Bezug zur operationellen Praxis fehlt. Erhebliche Folgekosten hätten getätigt werden müssen, um das Verhalten des Systems unter allen operationellen Randbedingungen zu validieren. In beiden Fällen können die Kosten, die dann angefallen wären, nur geschätzt werden, allerdings wären 15-20 Mio. Euro leicht erreicht worden - auch hier ohne Garantie, dass das theoretisch vorhandene Kapazitätssteigerungspotential ausgeschöpft worden wäre.

Glücklicherweise machen Vorfälle mit Wirbelschleppen nur einen sehr geringen Teil der Flugunfallstatistik aus. Wenn allerdings die im Laufe des Projekts WSWS gewonnenen Erkenntnisse, die zur Nichteinführung des Systems geführt haben, auch nur einen schweren Unfall verhindert haben, dann stellte sich die Eingangsfrage erst gar nicht.

Ohne in irgendeiner Weise die Qualität der Arbeiten Dritter in Zweifel zu ziehen ist eine der wesentlichen im Rahmen des Projekts WSWS gewonnenen Erkenntnisse, dass durch den weltweit ersten und ernstgemeinten Versuch der DFS, ein technisches System zur Reduzierung der Wirbelschleppenstaffelung einzuführen, das Thema weiter vorangebracht werden konnte als durch eine Vielzahl von parallel zu unseren Arbeiten durchgeführten wissenschaftlichen Voruntersuchungen, theoretischen Konzeptstudien und Projekten mit Demonstrationscharakter, denen alle ein mangelnder Bezug zur Praxis gemein war.

WSWS war ein kostspieliges Unterfangen, aber es hätte wesentlich teurer kommen können.

Dr. Jens Konopka

Projekt NUP Phase 2: Untersuchung der Anwendung „Airborne Approach Spacing (AAS)“¹

Oliver Reitenbach, TEA

Ziel des Europäischen Projekts NUP Phase 2 ist die Untersuchung zukünftiger Airborne Surveillance und Ground Surveillance Anwendungen (häufig auch als ADS-B Anwendungen bezeichnet). Im Rahmen dieses Projektes hat die DFS die Anwendung „Airborne Approach Spacing (AAS)“ untersucht. Deren Ziel ist die Nutzung einer zukünftigen automatischen Spacing-Funktionalität in ADS-B-ausgerüsteten Flugzeugen für den Anflug auf einen Flughafen. Die DFS untersuchte speziell eine mögliche Nutzung der AAS-Anwendung für den Frankfurter Approach.

Airborne Spacing

Airborne Spacing Anwendungen bauen auf der Nutzung einer zukünftigen Flugzeug-Funktionalität zur automatischen Einhaltung eines vom Lotsen angewiesenen Abstands zu einem vorausfliegenden Flugzeug auf. Einfach ausgedrückt, der Lotse bestimmt das erforderliche Spacing zwischen 2 anfliegenden Flugzeugen und gibt dem nachfolgenden Flugzeug die Anweisung, dieses Spacing einzunehmen und zu halten. Das Spacing kann hierbei sowohl als geographischer Abstand in NM (distance-based Spacing) oder als zeitlicher Abstand in Sekunden (time-based Spacing) angewiesen werden.

Die Nutzung der automatischen Spacing-Funktionalität bedeutet keine Änderung in den Verantwortlichkeiten zwischen Fluglotse und Pilot. Die Verantwortung zur Sicherstellung der notwendigen Separation bleibt weiterhin beim Lotsen.

Für die Untersuchung der AAS-Anwendung in einer Realzeitsimulation wurde folgende Flugzeug-Funktionalität realisiert:

- Der Pilot hat eine Verkehrslagedarstellung (CDTI) einschließlich der Flugzeug-Callsigns an Bord verfügbar.
- Durch die Erweiterung der Radarbild-Darstellung hat der Fluglotse die Möglichkeit,

die Einhaltung des angewiesenen Spacing zu überwachen. Hierzu wird eine Linie eingeblendet, die den Flugweg des vorausfliegenden Flugzeugs beschreibt („Spacing Mark“, siehe Abb. 1). Angewiesenes und aktuelles Spacing können am Label abgelesen werden.

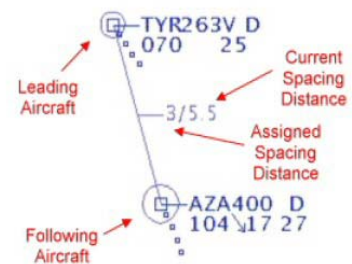
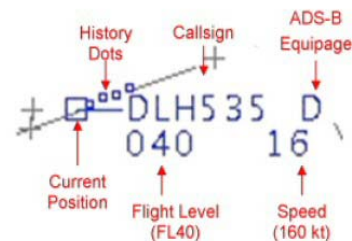


Abb. 1: Label und Spacing-Anzeige in der Radarbild-Darstellung

- Das automatische Spacing kann sowohl als distance-based Spacing als auch als time-based Spacing angewiesen werden.
- Spacing kann mit oder ohne automatische Höhenänderungen angewiesen werden. Falls automatische Höhenänderungen angewiesen werden, folgt das nachfolgende Flugzeug den Höhenänderungen des vorausfliegenden Flugzeugs an den geographischen Punkten, an denen das vorausfliegende Flugzeug die Höhe geändert hat. Vor der Anweisung von Spacing mit automatischen Höhenänderungen muss beiden Flugzeugen die gleiche Flughöhe angewiesen worden sein.
- Spacing kann in zwei unterschiedlichen Modi angewiesen werden: Im Track-Mode folgt das nachfolgende Flugzeug dem Flugweg des vor-

¹ NUP 2 ist ein Fördervorhaben der Europäischen Kommission und wird zu 50% gefördert.

ausfliegenden Flugzeugs unter Einhaltung des angewiesenen Spacings. Im Navigation-Mode folgen beide Flugzeuge ihrem separat angewiesenen Flugweg, das nachfolgende Flugzeug hält jedoch das angewiesene Spacing zum vorausfliegenden Flugzeug. In der Untersuchung wurde standardmäßig der Track-Mode genutzt. Sobald das nachfolgende Flugzeug im Endanflug auf das ILS aufgeschaltet hatte, erfolgte ein automatischer Wechsel zum Navigation-Mode, da von nun an beiden Flugzeugen unterschiedliche Landebahnen zugewiesen sein können und diese somit einen unterschiedlichen Track fliegen könnten. Das nachfolgende Flugzeug hält somit weiterhin den angewiesenen lateralen Abstand zum vorausfliegenden Flugzeug, kann jedoch die parallele Landebahn anfliegen.

Unter Nutzung der Spacing-Funktionalität können beliebig lange Flugzeug-Ketten aufgebaut werden. Die betrieblich sinnvolle Anzahl an Flugzeugen je Kette sollte durch Simulationen bestimmt werden.

Untersuchung

Zur Untersuchung einer möglichen Nutzung der Anwendung bei Frankfurt Approach wurden Simulationen unter Beteiligung von 2 Lotsen von Frankfurt Approach durchgeführt. In mehreren Durchläufen wurden die unterschiedlichen prinzipiellen Ansätze der AAS-Anwendung simuliert und angepasst (siehe [3]).

Der Anflug wurde von 2 Pick-Up-Lotsen und einem Feeder-Lotsen bearbeitet. Die Aufgabe der Pick-Up-Lotsen war der Aufbau betrieblich sinnvoller Flugzeug-Ketten, die danach zum Feeder-Lotsen weitergeleitet wurden. Aufgabe des Feeder-Lotsen war das Führen der Ketten zum Final, er selbst baute keine weiteren Flugzeug-Ketten auf. Die in den Simulationen genutzte Phraseologie wurde absichtlich sehr knapp gehalten, um die Arbeitsbelastung durch die Sprachkommunikation möglichst gering zu halten.

Der Lotse konnte dabei einer geplanten Anweisung eine optionale Information voranstellen:

ATC: AZA400, expect spacing with TYR263V
A/C: Expect spacing with TYR263V, AZA400

Danach folgte die Anweisung, ein vorausfliegendes Flugzeug als Ziel für das kommende Spacing zu selektieren:

ATC: AZA400, select target TYR263V
A/C: Select target TYR263V, AZA400
A/C: Target selected, AZA400

Und nachfolgend die Anweisung zur Durchführung des Spacings:

ATC: AZA400, remain 3 NM behind target
A/C: Remain 3 NM behind target, AZA400

Mit ähnlichen Anweisungen hatten die Lotsen die Möglichkeit, das Spacing zum vorausfliegenden Flugzeug zu verändern bzw. das Spacing komplett zu beenden.

Ergebnisse

Die bei der Untersuchung beteiligten Lotsen berichteten, dass sich die subjektive Arbeitsbelastung der Pick-Up-Lotsen, deren Aufgabe der Aufbau der Flugzeug-Ketten war, durch die aufwändige Phraseologie deutlich erhöhte. Dies ist eines der wichtigsten Erkenntnisse, da die Requirements Focus Group, eine von Eurocontrol und FAA geführte Arbeitsgruppe, in der die internationale Standardisierung vorbereitet wird, eine nochmals deutlich komplexere Phraseologie vorschlägt und untersucht.

Weiterhin wurde ein Anstieg der Arbeitsbelastung durch die notwendige Auswahl von geeigneten Flugzeugen und das Hinführen der ausgewählten Flugzeuge in eine geeignete Startposition für das automatische Spacing festgestellt.

Nach dem Aufbau der Flugzeug-Ketten musste jeweils nur das erste Flugzeug einer Kette vom Lotsen geführt werden. Alle weiteren Flugzeuge der Kette folgten automatisch dem Flugweg ihres vorausfliegenden Flugzeugs und mussten vom Lotsen lediglich noch beobachtet werden. Dies führte zu einer subjektiven Reduktion der Arbeitsbelastung bei der Führung von Ketten.

Bei den Pick-Up Lotsen konnte diese Reduktion der Arbeitsbelastung beim Kontrollieren der Ketten die deutliche Erhöhung, verursacht durch den Aufbau von Flugzeug-Ketten, nicht ausgleichen. Die subjektive Arbeitsbelastung der Pick-Up-

Lotsen erhöhte sich deutlich durch die AAS-Anwendung.

Anders sah die Situation beim Feeder-Lotsen aus. Der Feeder-Lotse bekam Flugzeug-Ketten von den Pick-Up-Lotsen und führte diese auf das Final. Da bei Flugzeug-Ketten lediglich das erste Flugzeug zu führen war, reduzierte sich die Arbeitsbelastung des Feeder-Lotsen deutlich.

Die Reduzierung der Arbeitsbelastung war jedoch mit einem Verlust an Flexibilität in der Abwicklung des Verkehrs verbunden. Während es mit traditionellem Vectoring individueller Flugzeuge möglich ist, Verkehr abwechselnd vom Nord- und Süd-Downwind auf das Final zu führen, ist es beim Führen von Flugzeug-Ketten lediglich möglich, komplette Ketten einzudrehen. Dies führte zu einem Verlust an Flexibilität, der im unten gezeigten Beispiel deutlich wird. Abb. 2 zeigt, dass die Flugzeug-Kette vom Nord-Downwind erst auf das Final gedreht werden kann, wenn die komplette Kette vom Süd-Downwind auf das Final eingedreht hat.

Weitere Effekte zeigten sich beim Vergleich von distance-based mit time-based Spacing-Ketten. Beim distance-based Spacing wird das angewiesene Spacing (in NM) nach der Anweisung durch den Lotsen durch die automatische Flugzeug-Spacing-Funktionalität eingestellt. Dies geschieht durch Geschwindigkeitsänderungen des nachfolgenden Flugzeugs. Sobald der laterale Abstand zwischen den Flugzeugen dem angewiesenen

Spacing entspricht, fliegen beide Flugzeuge mit gleicher Geschwindigkeit. Verringert das vorausfliegende Flugzeug nun seine Geschwindigkeit (eventuell durch eine Lotsen-Anweisung), muss automatisch auch das nachfolgende Flugzeug seine Geschwindigkeit im gleichen Maße verringern. Abb. 3 zeigt, dass dies bei einer Flugzeug-Kette im Endanflug zu sehr frühen Geschwindigkeits-Reduzierungen führt, die abhängig von der Länge der Flugzeug-Kette sind.

Beim time-based Spacing verändert sich der geographische Abstand zwischen den Flugzeugen mit der Geschwindigkeit. Bei gleichem Spacing-Wert (z.B. 55 Sekunden) fliegen die Flugzeuge bei hohen Geschwindigkeiten mit einem relativ großen geographischen Abstand. Mit jeder Reduzierung der Geschwindigkeit verringert sich der geographische Abstand zwischen den Flugzeugen. Time-based Spacing-Ketten benötigen somit bei gleicher Landerate mehr Luftraum als distance-based Spacing-Ketten.

Schlussfolgerungen

- Die Airborne Approach Spacing Anwendung reduziert die Controller-Arbeitsbelastung, wenn sinnvolle Flugzeug-Ketten bereits in einem vorangehenden Sektor gebildet wurden.
- Die Arbeitsbelastung erhöht sich in dem Sektor, in dem Flugzeug-Ketten gebildet werden.
- Die Erhöhung der Arbeitsbelastung ist haupt-

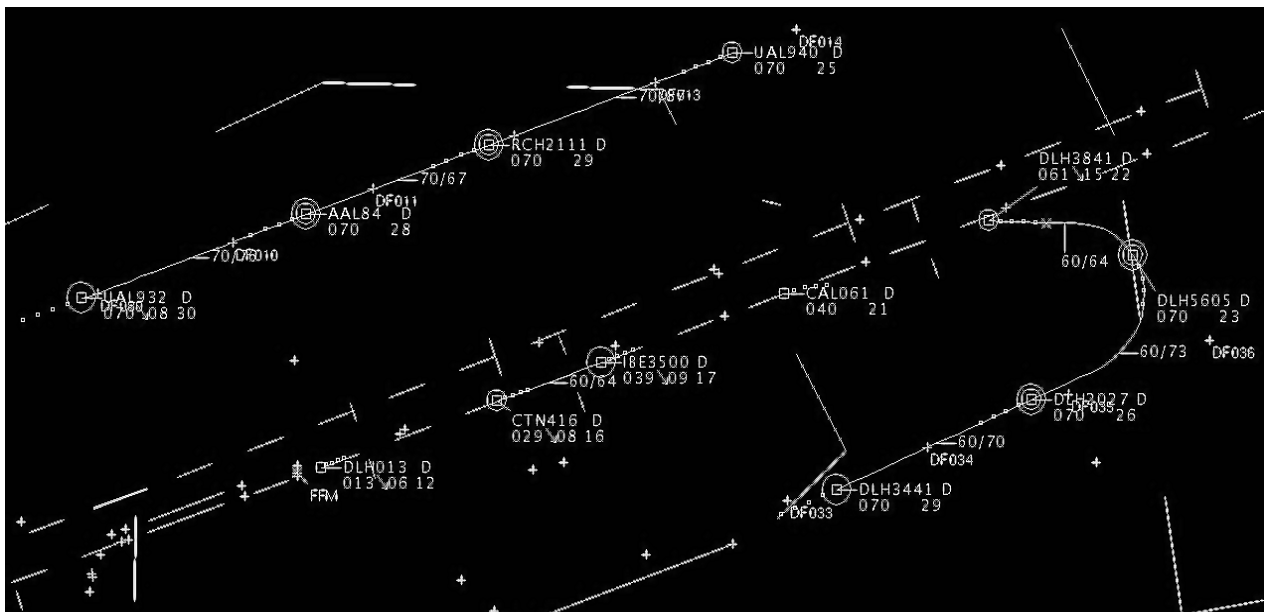


Abb. 2: Verlust an Flexibilität durch die Nutzung langer Flugzeug-Ketten

sächlich auf die aufwändige Phraseologie zurückzuführen.

- Die Vor- und Nachteile von distance-based Spacing und time-based Spacing sind je nach Anwendungsfall abzuwägen.
- Der Verlust von Flexibilität bei der Führung von Flugzeug-Ketten sollte berücksichtigt werden.

Referenzen

Die Referenzdokumente beschreiben weitere Details zur Definition und Untersuchung der betrieblichen Anwendung. Alle Dokumente sind in der TE-Dokumentendatenbank, Bereich NUP-2, im DFS Intranet zu finden.

Abkürzungen

AAS	Airborne Approach Spacing
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast
CDTI	Cockpit Display of Traffic Information
FAA	Federal Aviation Administration
NEAN	North European ADS-B Network
NM	Nautical Miles
NUP	NEAN Update Programme
RFG	Requirements Focus Group

[1]	NUP-2: Airborne Approach Spacing (AAS) Operational Services and Environment Definition (OSD), DFS-TE Dokument-ID PD-2002-05
[2]	NUP-2: Airborne Approach Spacing (AAS) Validation Plan, DFS-TE Dokument-ID PD-2005-08
[3]	NUP-2: Airborne Approach Spacing (AAS) Validation Exercise Design, DFS-TE Dokument-ID PD-2005-11
[4]	NUP-2: Validation Exercise Report Airborne Approach Spacing (AAS), DFS-TE Dokument-ID PD-2005-10

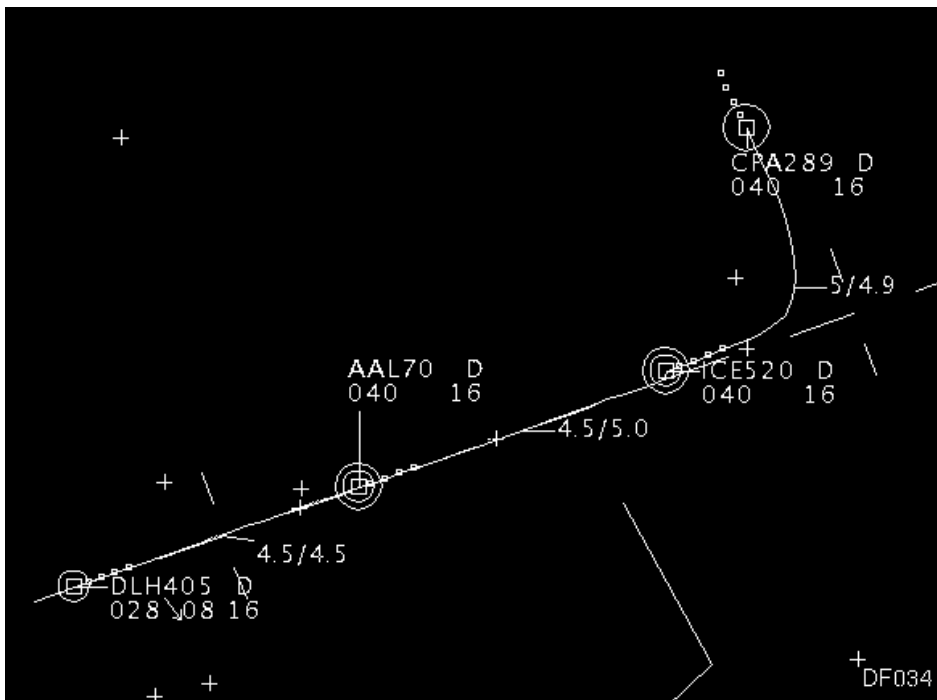


Abb. 3: Frühe Reduzierung der Geschwindigkeit durch die Distance-based Spacing-Kette

Trackeruntersuchungen – ein Erfahrungsbericht oder: Die alltäglichen Schwierigkeiten des Projektlebens

Dr. Roland Mallwitz, TEA, Wolfgang Wissler, Stefan Schick Tanz, TEH

Einleitung

Der DFS-Bereich „Forschung und Entwicklung“ (TE) begleitet seit mehr als 7 Jahren Untersuchungen von den in der DFS eingesetzten Tracking-Systemen. Seit etwa 5 Jahren werden diese Tests von einem kleinen DFS internen Team durchgeführt. Waren die Untersuchungen anfangs ausschließlich auf die Festlegung der mit dem System erzielbaren Radarmindeststaffelung ausgelegt, so kommen heute auch Aspekte der Systemabnahme und Qualitätssicherung hinzu. Untersuchungen gab es bei neuen Systemen (P1/ATCAS, Phoenix, VATCAS) genauso wie bei wesentlichen Änderungen, Systemverbesserungen und der Implementierung von neuen Technologien oder einer veränderten Anwendung eines bestehenden Systems (DERD, P1/ATACS). Zur Erfüllung der Aufgaben wurden bei TE mit vorhandenen Systemen und anderen Hilfsmitteln Messverfahren und Auswerterroutinen entwickelt (vgl. z.B. „TE im Fokus“, 2/2004). Damit lassen sich Testbedingungen immer wieder reproduzieren. Da alle Tracker bei gleicher Methodik mit gleichen Szenarios beaufschlagt werden, ist eine objektive Vergleichbarkeit der verschiedenen Trackingsysteme möglich.

Neben internen Auftraggebern gibt es inzwischen auch externe Kunden. Dieser Bericht gibt einen Überblick über die alltäglichen Schwierigkeiten bei der Durchführung der Untersuchungen, erläutert vor allem am Beispiel des ersten externen Auftrags.

Der erste externe Auftrag

Mitte 2004 gab es einen ersten Kontakt zur RNLAf (Royal Netherlands Air Force, Königlich Niederländische Luftstreitkräfte). Die RNLAf hatte ein komplettes ATM System (Air Traffic Management System, MASS: Military Approach and Surveillance System) mit neuen Mode S Radaranlagen und Sprachkommunikationssystem von der Firma Raytheon gekauft. Für das erste Quartal 2005 stand die technische Freigabe des Systems an. Kurz darauf war die operationel-

le Inbetriebnahme geplant. Im MASS wird als Tracker das System Autotrack II von Raytheon eingesetzt. Eine frühere Version des Trackers bildete die Basis der DFS Systeme P1/ATCAS und VATCAS.

Die RNLAf wollte sich bei der Systemabnahme nicht ausschließlich auf den Hersteller und dessen Tools verlassen. Deshalb suchte man ein Verfahren, mit dem die Genauigkeit und das Verhalten des Autotrack II-Trackers überprüft werden konnte. Nach langem Bohren bei Raytheon gab es von dort den Hinweis, dass die DFS ihre Raytheon-Systeme zusätzlich zur Abnahme mit eigenen Verfahren überprüft. RNLAf trat deshalb an die DFS heran und ließ sich das DFS-Verfahren erläutern. Die Präsentation im Sommer, gemeinsam von den DFS-Bereichen CC/VPV und TE durchgeführt, bestärkte das Interesse des niederländischen Militärs, eine vergleichbare Untersuchung für ihr Autotrack II zu beauftragen.

Anfang November ging bei der DFS eine Angebotsaufforderung ein mit dem Hinweis, dass alle Arbeiten bis Ende Februar abgeschlossen sein müssten. Gemeinsam mit dem DFS-Bereich Consulting wurde innerhalb weniger Tage ein Angebot erstellt, in welchem ausdrücklich darauf hingewiesen wurde, dass die Arbeiten sofort beginnen müssten, um den ehrgeizigen Zeitplan einhalten zu können. Es dauerte dann aber doch fast 4 Wochen, bis mit einem „Letter of Intent“ Zustimmung signalisiert wurde, und noch etwas länger bis auch der Vertrag zwischen der DFS und der RNLAf unterzeichnet wurde. Damit waren zum Zeitpunkt der vollständigen Klärung die geplanten Pufferzeiten bereits aufgebraucht.

Immer wieder ein „Erlebnis“ - Die Vorbereitung von Trackeruntersuchungen

Nach Kundenwunsch wurden 3 En-Route-Szenarios und ein Approachszenario für den niederländischen Luftraum entwickelt. Glücklicherweise konnten die neuen Testszenarios auf bereits für den deutschen Luftraum vorhandenen DFS Szenarios aufbauen. Ein Militärflughafen

bekam für die Simulation zum Beispiel eine zweite Landebahn mit Frankfurter Bahnabstand. Ebenso konnte auf Grund von früheren Arbeiten für die RNLAf (DutchMil Schulung am TE-Simulator) auf bestehende Luftraumdaten zurückgegriffen werden. Ohne diese „Vereinfachungen“ wären eine erste Testreihe noch 2004 und ein zeitgerechter Abschluss der Arbeiten im Frühjahr 2005 unmöglich geworden.

Erstmals sollten nun Trackertests außerhalb der DFS Umgebung durchgeführt werden. Der Vertrag beinhaltete einige technische und organisatorische Absprachen, die eine kurzfristige und erfolgreiche Testdurchführung am niederländischen Standort gewährleisten sollten. Trotzdem stand zu erwarten, dass ungeahnte Schwierigkeiten den eigenen Erfahrungshorizont erweitern würden.

Der Vertrag war glücklicherweise unterzeichnet als die Erstellung der Szenarios abgeschlossen war. Damit konnte der notwendige „Test vor Ort“, wie geplant, in der Woche vor Weihnachten 2004 durchgeführt werden. Zu diesem Test hatte der Auftraggeber auf TE-Wunsch auch Raytheon eingeladen. Dieses diente einerseits der Transparenz, sollte andererseits aber auch sicherstellen, dass durch den Spezialisten vor Ort notwendige Trackerschnittstellen bereitgestellt und ggf. auch angepasst werden konnten. Der technische Vortest war vereinbart, um die neue Umgebung kennen zu lernen, mögliche Schwierigkeiten frühzeitig zu erfassen und ggf. Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Bei früheren Gelegenheiten hatte sich diese Maßnahme als vorteilhaft erwiesen. Im besten Fall war ein Tag ausreichend, meistens wurden aber doch 3 bis 5 Tage notwendig.

Aus den Erfahrungen der (DFS internen) Vergangenheit wurden für die Reise in die Niederlande alle Werkzeuge und Analysesysteme in den Dienstwagen gepackt, die auch nur im Entferntesten im Verdacht standen, zu einer erfolgreichen Testdurchführung beitragen zu können.

Vor Ort im militärischen Flugsicherungsbunker warteten dann ganz neue menschliche und technische Erfahrungen. Für den niederländischen Projektleiter „Technik“ war die externe Trackervalidierung durch die zusätzlich benötigte Systemnutzung eine zeitliche Verzögerung für seine Vorbereitung von Abnahme und Inbetriebnahme. Auch die anwesenden Vertreter der Trackerfirma

waren skeptisch; ihnen war unklar, wie die Testdurchführung aussehen sollte und welche sinnvollen Ergebnisse die anstehende Validierung bringen würde.

Also musste am Anfang allen Beteiligten noch einmal die Untersuchungsmethode und die benötigten Daten aus dem Tracker erläutert werden, damit die notwendigen Schnittstellen (inklusive Tracker-interner Monitoraten) identifiziert und bereit gestellt werden konnten. Und dann mussten unerwartete technische Herausforderungen gelöst werden.

Informationen über die Schnittstellen, Hardware und Protokolle waren im Vorfeld ausgetauscht worden – aber natürlich war alles ganz anders. Ein wesentliches Problem war in diesem Fall das Datenprotokoll für die Übertragung der Radardaten. Im DFS Umfeld werden alle Radarinformationen in einem physikalischen UDP/Broadcast-Datenstrom übertragen. Bei RNLAf jedoch hat jede Radaranlage eine eigene Multicast-Adresse und einen zugewiesenen Port. Zwar war die erwartete Konfiguration sogar im Vertrag spezifiziert, für eine erfolgreiche Durchführung musste aber jetzt eine Lösung gefunden werden.

Dank der aktiven Mithilfe aller Test(un)beteiligten (auch RNLAf-Angehörige, die gerade eine ARTAS und RAPS-Schulung bei COMSOFT absolviert hatten, waren kurzzeitig eingebunden) entstand am Ende eine Lösung der Probleme. Es war beruhigend, am Freitag dann doch noch zum ersten Mal zu sehen, dass mit den aufgezeichneten Daten die Flugziele nicht nur im TE-Simulator, sondern auch auf dem Zielsystem auf der richtigen Runway landeten. Mit dem betrieblichen Kunden konnte nach diesem Erfolg anhand der Testdaten dann auch der letzte Feinschliff für die Testszenarien erarbeitet werden.

Und es geht doch ...

Gleich nach den Weihnachtsferien erfolgte dann die eigentliche Testdurchführung. Glücklicherweise standen die meisten am Vortest Beteiligten auch jetzt wieder zur Verfügung. Mit dem (eingespielten) Team war die Testdurchführung einfacher und ging schnell voran. Dieses war auch notwendig, denn im Gegensatz zu den DFS internen Untersuchungen, für die bei vergleichbarem Aufwand 7-8 Arbeitstage vorgesehen sind, standen nur 5 Arbeitstage zur Verfügung. Damit

sollten ein Wochenendaufenthalt in den Niederlanden vermieden und Kosten gespart werden.

Vorläufige Testergebnisse müssen möglichst rasch noch während der Evaluierung zur Verfügung stehen. Dies dient der Abschätzung, ob der Test erfolgreich durchgeführt wurde, soll dem Kunden vor Ort aber auch den Fortschritt der Arbeiten deutlich machen. Bei dem externen Auftrag war deshalb ein täglicher Datentransfer der aufgezeichneten Testdaten per Internet vorgesehen, da die Auswertung der Daten in Langen erfolgen musste. Es stellte sich jedoch als unmöglich heraus 180 Megabytes pro Tag per Internet nach Deutschland zu versenden. Die vorhandene ISDN Verbindung war für diese Datenmenge einfach zu langsam. Ein niederländischer Testbeteiligter nahm deshalb abends eine Daten-CD mit nach Hause und übertrug die Daten über den privaten DSL Zugang nach Langen.

Für die „Standardauswertung“ stehen einheitliche Prozeduren und Programme zur Verfügung um die Vergleichbarkeit von Ergebnissen sicherzustellen. Allerdings zeigen sich bei jeder neuen Untersuchung andere, manchmal „verwandte“, Auffälligkeiten. Diese Besonderheiten führen meistens dazu, dass vorgegebene Schwellwerte verletzt werden. Deshalb wird versucht, in den oft sehr großen Datenmengen Hinweise zu finden, die den Entwicklern eine Hilfestellung und Ideen für die Fehlersuche geben. Für diese speziellen Untersuchungen müssen jedes Mal wieder neue Werkzeuge für die Extraktion bestimmter Daten und deren Auswertung entwickelt werden. Aber auch dadurch wird jede neue Trackeruntersuchung wieder interessant und zu einer neuen Herausforderung.

In diesem Sinne hatte auch diese Auswertung ihre Tücken. Letztendlich konnten die Untersuchungen aber erfolgreich im Zeitplan abgeschlossen werden. Und auch der Abschlußbericht wurde rechtzeitig abgeliefert.

Qualität und Kundenzufriedenheit

Ohne die engagierte Mithilfe aller Testbeteiligten wäre die Testdurchführung in der zur Verfügung stehenden Zeit unmöglich durchführbar und sicher nicht so erfolgreich gewesen. Zuletzt waren alle Beteiligten zufrieden:

- Der technische Projektleiter freute sich über die zügige Testdurchführung unter Einhaltung der vereinbarten Systemtestzeiten. Die Freude wuchs noch, nachdem die Ergebnisse eine gute Performance des Trackingsystems nachgewiesen hatten. Einige wenige Beobachtungen, die vor Ort nicht geklärt werden konnten, wurden von RNLAf an Raytheon mit der Bitte um Klärung weitergeleitet.
- Der betriebliche Auftraggeber freute sich, dass der Test keine „No Go“ Bedingungen zeigte. Zusätzlich konnten einige neue Aspekte entdeckt werden, die im späteren Betreiber- bzw. Adaptionkonzept Niederschlag finden sollten. So zeigte sich zum Beispiel die Auswirkung eines nicht angepassten Sammelcodes für Mode S-Ziele anhand einer Vielzahl von Doppelzielen. Mit einer Anpassung in der Adaption wurde ein bis dahin unbekanntes Phänomen bearbeitet, bevor es zu einem betrieblichen Problem werden konnte.
- Die Trackerfirma konnte viele Beobachtungen bei der Testdurchführung erläutern, kompetent Lösungen anbieten und einarbeiten. Im direkten Re-test konnte der Erfolg der Änderung nachgewiesen werden. Man war so begeistert, dass versucht werden sollte, in der eigenen Firma ähnliche Tests für die Qualitätssicherung einzuführen.
- Die DFS freute sich über eine erfolgreiche Durchführung und termingerechte Ablieferung des Untersuchungsberichtes.

Fazit und Ausblick

Alles in allem zeigte dieser Validierungsauftrag, dass mit der in der DFS entwickelten Untersuchungsmethode, bei konstruktiver Zusammenarbeit aller Beteiligten vor Ort, im Vorfeld einer Inbetriebnahme Problembereiche erkannt und gelöst werden können.

Schwierigkeiten waren bei dem Auftrag durch die neue Systemumgebung eingeplant. Die Entfernung vom Heimatstandort verlangte eine bessere Planung. Insgesamt waren die Erfahrungen aber denen aus DFS interner Projektarbeit vergleichbar.

Neue Untersuchungsaufträge stehen an: DFS intern soll der europäische Tracker ARTAS von TE auf seine Leistungsfähigkeit untersucht werden. Ebenso ist eine DFS weite Untersuchung zur Mode S Fähigkeit der operationellen ATM-Systeme mit dem Zusammenspiel von jeweiligem Trackersystem und Flugplandatenverarbeitung mit einheitlichen Testszenarien angelaufen. Und der Vertrag zur Lieferung eines Phoenix als Fall-backsystem an eine europäische Flugsicherung beinhaltet auch den Nachweis der Leistungsfähigkeit des Systems nach DFS-Methodik beim Kunden.

In Wikipedia findet man unter anderem eine Definition für einen **Tracker**:

Der Begriff **Tracker** wird auch im Bereich der Flugsicherung verwandt. Ein **Tracker** oder Trackersystem zeigt die aktuelle Luftlage auf einem Bildschirm oder Anzeigesystem. Der **Tracker** nutzt dazu die eingehenden Positionsmeldungen von verschiedenen Radaranlagen oder andere Positionsmeldungen von Flugzeugen.

Die SimSys Systeme und deren Nutzung für VAFORIT in Karlsruhe

Alexander Grimm, Dr. Ralph Leemüller, TEI

Dr. Thomas Bierwagen, TEH

Einleitung

Unter dem Begriff der „SimSys“ Systeme stellt der Bereich Forschung & Entwicklung (TE) in seinem ATM Simulator Zentrum seit etwa vier Jahren eine Familie von Simulationssystemen zur Verfügung, die ein operationelles ATM System in eine Realzeitsimulationsumgebung integrieren können. Vorteil einer solchen Umgebung ist die funktionstreue Abbildung des operationellen ATM Systems bei gleichzeitiger Untersuchbarkeit von z.B. Extremsituationen in einer simulierten Umwelt.

Erstmals angewendet wurde diese Art von Simulationssystem bei der Integration des ersten P1/VAFORIT FDPS Prototypen in die TE Infrastruktur in Langen im Jahre 2001. Es folgten Anwendungen bei der betrieblichen Schulung des Düsseldorfer Betriebspersonals für das P1/ATCAS System in Langen im Jahre 2002 [1] und des Bremer Betriebspersonals für das P1/ATCAS System in Bremen im Jahre 2004.

Mit der Vorbereitung der Inbetriebnahme des P1/VAFORIT Systems hat nun auch die Niederlassung Karlsruhe Bedarf für die Familie der SimSys Systeme. Gleichzeitig wurde hier erstmalig eine wesentlich weitergehende Infrastruktur aufgebaut, die so verschiedene Anwendungen wie technische Tests, betriebliche Tests, Familiarisation und Schulung des Betriebspersonals erlaubt.

Im Folgenden werden die Neuerungen beim Aufbau in Karlsruhe, der technische Aufbau und die Möglichkeiten einer betrieblichen Nutzung dargestellt. Ein Ausblick auf die Weiterentwicklung der SimSys Systemfamilie schließt diesen Artikel ab.

Neuerungen gegenüber bisherigen Aufbauten

Gegenüber bisherigen Aufbauten, z.B. in Langen oder in Bremen, weist das System zwei miteinander in Zusammenhang stehende Neuerungen auf. Zum einen ist es mit diesem SimSys System möglich, wahlweise einen von drei verschiedenen P1/VAFORIT Systemen (sog. Strings) zu

verbinden. Faktisch handelt es sich damit um einen Anschluss an drei verschiedene ATM Systeme, der einfach und nutzerfreundlich zu bedienen ist. So kann am Tage bei jeder neuen Aktivität entschieden werden, in welcher Konfiguration das Gesamtsystem betrieben werden soll.

Angeschlossen sind ein Teil des später operationell zu nutzenden Aufbaus im neuen Betriebsraum (OpSys), das technische Testsystem (TRS) und das System der VAFORIT Akzeptanzinitiative (SPOT).

Eine weitere Neuerung, die durch den räumlich getrennten Aufbau in zwei Stockwerken¹ bedingt ist, ist die Möglichkeit, das SimSys System von zwei verschiedenen Supervisor Positionen aus zu konfigurieren und zu starten. Sowohl im Bereich der TRS und SPOT Konsolen im Gestellraum A als auch im neuen Betriebsraum befindet sich jeweils eine Supervisor Position des SimSys, die das vollständige Bedienen des Systems erlaubt.

Mit diesen beiden Neuerungen wird die Flexibilität im Umgang mit dem SimSys System gegenüber bisherigen Aufbauten erheblich gesteigert.

Allgemeiner technischer Aufbau

Ein SimSys System besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten: dem Advanced Function Simulator (AFS), der die Simulationsdaten (Radar, Flugplan) erzeugt und online verändert, dem operationellen ATM System, das die simulierten Daten anstelle von Live Daten verarbeitet und darstellt, und der Simulator Interface Unit (SIU), die die Verbindung zum operationellen ATM System herstellt und die Daten in beide Richtungen weiterleitet. Dabei werden der AFS und die SIU von TE bereitgestellt. Das operationelle ATM System wird von der Technik der Niederlassung jeweils dazu geschaltet. Ein Sprachvermittlungs-

¹ Das TRS System und das SPOT System stehen im Erdgeschoss, das operationelle System im neuen Betriebsraum im 2. OG.

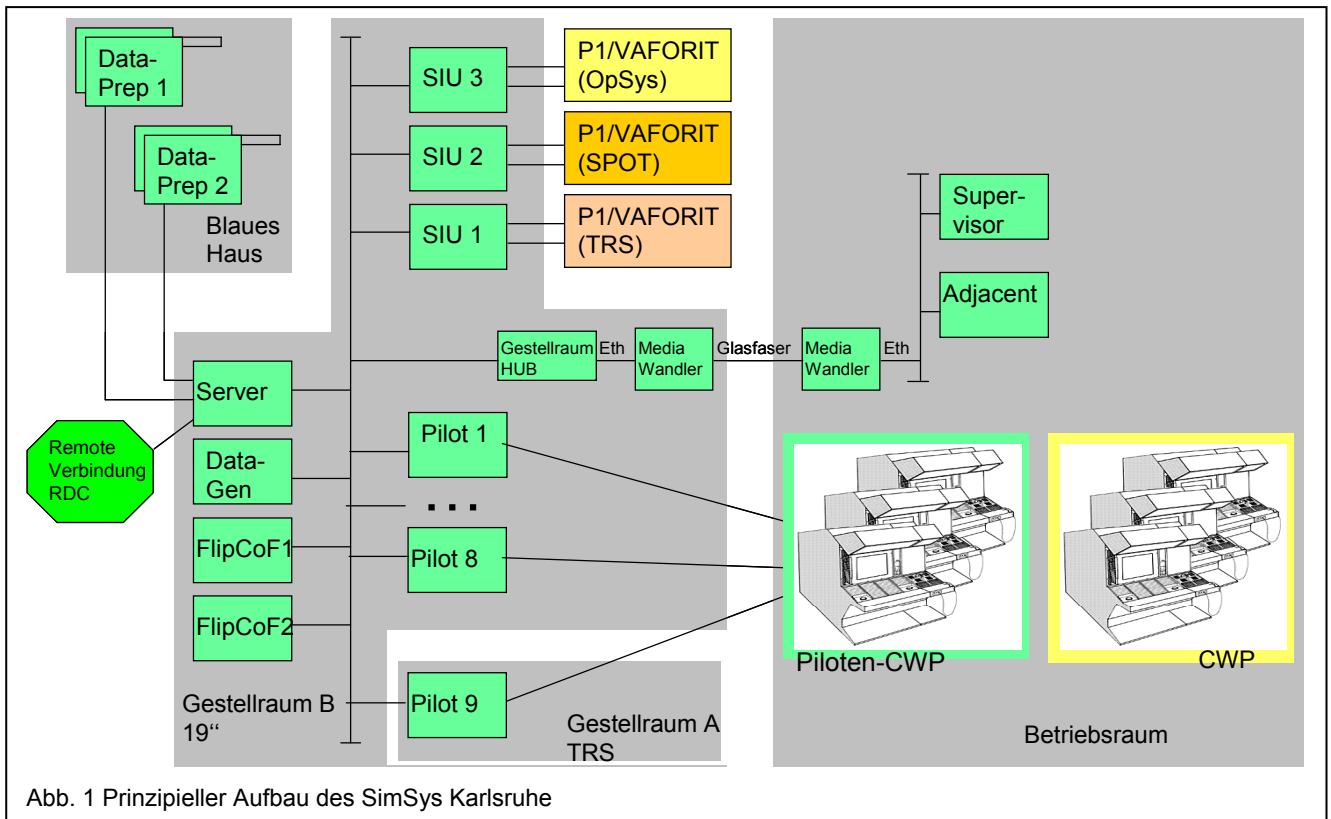


Abb. 1 Prinzipieller Aufbau des SimSys Karlsruhe

system und eine Sprechfunkemulation können wahlweise in das SimSys System integriert geliefert oder von der Niederlassung (z.B. auf Basis des betrieblich genutzten ISIS Systems) bereitgestellt werden. Im Aufbau in Karlsruhe wird das vorhandene ISIS System genutzt. Der prinzipielle Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt.

Der Aufbau des SimSys Karlsruhe gliedert sich in Bezug auf AFS und SIU räumlich in drei Bereiche:

- Aufbau im Gestellraum
- Aufbau im (neuen) Betriebsraum
- Aufbau im Blauen Haus

Aufbau im Gestellraum

Im Gestellraum B wurde die Server Infrastruktur des Advanced Function Simulators (AFS) etabliert. Diese umfasst alle für die Realzeitsimulation notwendige Komponente wie die zentrale Datengenerierung, die Radardatenerzeugung, die Flugplanverarbeitung, die Datenaufzeichnung und die Simulationspilotenprozesse. Hinzu kommen drei Simulator Interface Units (SIU's). Die Infrastruktur wurde in drei Serverschränken im Gestellraum aufgebaut. Das System verfügt über

ein eigenes Netzwerk und zu Wartungszwecken über einen steckbaren Netzwerkzugang zum AFS/NewSim¹ Produktmanagement in Langen. Das System ist so ausgelegt, dass im Regelfall Arbeiten an den Serverschränken bei der Nutzung des Systems nicht notwendig sind. Der Aufbau ist in Abbildung 2 dargestellt.

Zusätzlich wurde für den Betrieb der TRS und der SPOT Konsolen eine Supervisor Position im Gestellraum A in der Nähe des TRS Aufbaus etabliert. Von dieser Position aus kann das gesamte SimSys System konfiguriert und gesteuert werden.

Aufbau im (neuen) Betriebsraum

Im neuen Betriebsraum wurden die Arbeitspositionen für die Simulationspiloten etabliert. Hintergrund ist die Möglichkeit, hier an den später operationell genutzten Konsolen das bereits eingerüstete Sprachvermittlungssystem ISIS zu nutzen. Dazu werden die Bildschirme der Pilotenprozesse, die auf der Hardware im Gestellraum B (siehe oben) betrieben werden, auf die entspre-

¹ NewSim ist der in der DFS an allen Standorten etablierte En-route/Approach Schulungssimulator



Abb. 2: Serveraufbau im Gestellraum B

chenden Konsolen im neuen Betriebsraum exportiert (siehe Abbildung 3). Die Konsolen erhalten dazu zusätzlich zur normalen Ausstattung jeweils eine Tastatur, um Eingaben zu ermöglichen. Auf diese Weise werden bis zu neun Pilotenarbeitsplätze an den Konsolen untergebracht. Diese Lösung im AFS ist dabei davon unabhängig, welcher P1/VAFORIT Aufbau (TRS, SPOT oder OpSys) genutzt wird.

Zur Steuerung der Simulationen im neuen Betriebsraum ist hier eine weitere Supervisor Position aufgebaut, die in der Wachleiterinsel etabliert wurde (siehe Abbildung 4).

Aufbau im Blauen Haus

Im Blauen Haus¹ befindet sich eine eigenständige Datenvorbereitungsstation des SimSys Karlsruhe. Diese wird benötigt, um die Datenvorbereitung für das Trainerteam im AFS unabhängig von der Nutzung des Hauptsystems möglich zu machen. Bei dieser Installation handelt es sich prinzipiell um ein vollständiges AFS System, das aber mit nur geringen Hardware Aufbauten auskommt. Insgesamt sind hier nur drei SUN Workstations etabliert, auf denen der AFS vollständig lauffähig ist. Genutzt wird dieses System, um die Simulationsszenarien zunächst im AFS in seinen Komponenten ATCoach und FlipCoF fehlerfrei zu erstellen bzw. die Fehlersuche zu ermöglichen,

¹ Das „Blaue Haus“ ist ein Nebengebäude, das durch einen Kabelschacht mit dem Hauptgebäude verbunden ist. In diesem Gebäude sind das Karlsruher New-Sim Team und das VAFORIT Trainerteam untergebracht.

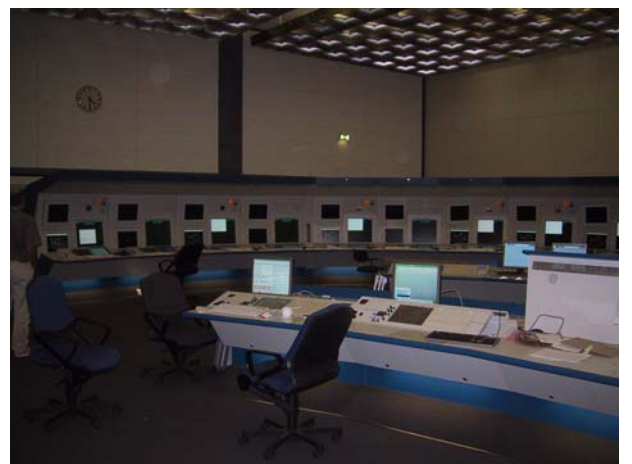


Abb.3: Nutzung von Konsolen im neuen Betriebsraum für Pilotenarbeitsplätze

bevor im Hauptsystem das Zusammenspiel dieser Verkehrsszenarien mit dem P1/VAFORIT System getestet wird. Der Aufbau ist in Abbildung 5 dargestellt.

Betriebliche Nutzung in Karlsruhe

Der dargestellte, flexible Aufbau des SimSys Karlsruhe erlaubt eine bisher nicht erreichte Flexibilität auch in der Nutzung der Infrastruktur für betriebliche Zwecke. Der Aufbau ermöglicht die Unterstützung der gesamten Palette von in der DFS vor Inbetriebnahme eines ATM Systems üblichen und etablierten Maßnahmen mit nur einem einzigen Simulationssystem: angefangen von technischen Tests (z.B. Tests neuer Softwarestände) und betrieblichen Tests (z.B. Tests neuer Adaptiondaten) über Optimierungsmaß-

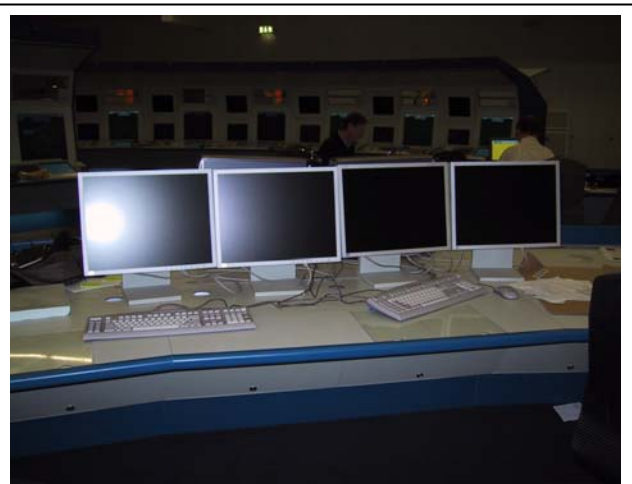


Abb. 4: Supervisor Arbeitsplatz im neuen Betriebsraum

nahmen und Familiarisation bis hin zur Nutzung für die Transitionsschulung des Betriebspersonals. Auch das Fallback System Phoenix könnte mit nur geringen Änderungen zeitgleich mit Daten versorgt werden. Gleichzeitig ermöglicht das System eine ausgesprochen effiziente Nutzung der vorhandenen Infrastruktur und Personalressourcen durch die wahlweise Nutzung dreier verschiedener ATM Systeme.

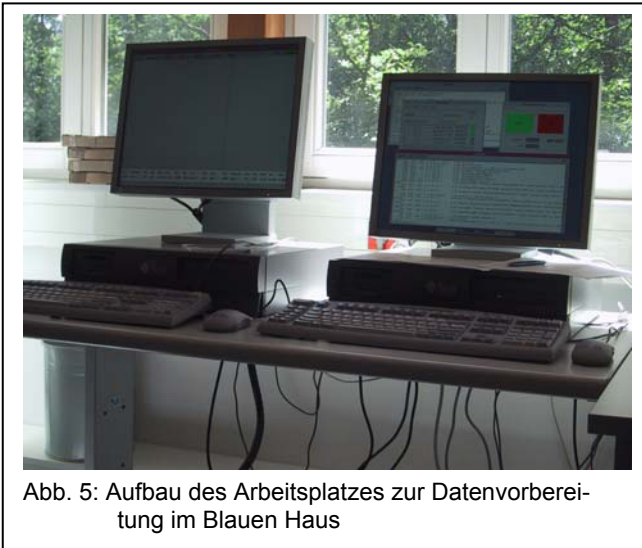


Abb. 5: Aufbau des Arbeitsplatzes zur Datenvorbereitung im Blauen Haus

Selbst noch nicht allgemein etablierte Maßnahmen wie z.B. die Kapazitätsbestimmung des neuen ATM Systems mit Hilfe der ADAM Methodik [2] werden durch diese Infrastruktur vollständig unterstützt.

Somit ist das neue SimSys Karlsruhe eine hervorragende technische Unterstützung für die betriebliche Transition in das neue ATM System P1/VAFORIT hinein.

Ausblick

Obwohl der beschriebene technische Aufbau und die Möglichkeiten der Nutzung einen Qualitätssprung in der Nutzbarkeit von SimSys Systemen darstellt, gehen die Entwicklungen im ATM Simulatorzentrum weiter. Bereits heute sind in den Labors so genannte „integrierte Release“ in der Testphase, bei denen die unterschiedliche Simulationssoftware von Advanced Function Simulator und NewSim zu einer einzigen Software zusammen geführt sind. Mit der betrieblichen Verfügbarkeit dieser Softwarestände wird zukünftig nicht nur der Aufbau unterschiedlicher techni-

scher Systeme (AFS und NewSim) an einem Standort (bisher: Bremen, Langen, Karlsruhe¹) überflüssig. Gleichzeitig kann auch das Wissen und die Kompetenz der Betreiberteams gebündelt und vereinheitlicht werden.

Diese Synergien werden bereits heute in Teilen in Karlsruhe eingesetzt, indem das VAFORIT Trainerteam vom NewSim Team in der Datenvorbereitung und den Tests unterstützt wird. Damit ist das Konzept der Simsys Systeme zukunftsfähig und das modernste in Europa.

Referenzen

- [1] Bierwagen, T., Leemüller, R. & Jekl, W. (2001): Prototyping für ein P1 Simulationssystem. TE im Fokus, 1, S. 19-23. Langen: DFS.
- [2] Bierwagen, T. & Tautz, A. (2005): Methodik zur experimentellen Bestimmung des Kapazitätssteigerungspotenzials neuer Air Traffic Management Systeme. In: DGLR (Hrsg.): DGLR Jahrbuch Band I + II. deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2005 in Friedrichshafen. DGLR: Bonn.

Abkürzungen

ADAM	Advanced Display Assessment and Validation Measurement
AFS	Advanced Function Simulator
ATM	Air Traffic Management
FDPS	Flight data Processing System
FlipCoF	Flight Plan Co-ordination Function
ISIS	Improved Speech Integrated System
SIU	Simulator Interface Unit
SPOT	Simulator Pre-Operational Training
TE	Organisationskennzeichen Forschung & Entwicklung
TRS	Test reference System

¹ Der Standort München verfügt derzeit nur über einen NewSim Aufbau. Ein Simsys Aufbau ist in Vorbereitung.

ADS-B Empfänger SBS-1

Heribert Lafferton (TEA), Matias Krempel (VY),
Steffen Marquard, Dr. Andreas Herber (TEA)



Aus aktuellem Anlass

In den vergangenen Wochen hat es vielfältige und zum Teil verwirrende Informationen und Diskussionen zu einer neu auf den Markt gekommenen ADS-B-Empfangsstation gegeben. In diesem Artikel haben wir eine Reihe von sachgerechten Informationen zu diesem Thema zusammengestellt. Weitere Unterlagen sind auch über das DFS Intranet, Bereich CDC F&E erhältlich.

Einleitung

Beim SBS-1 handelt es sich um ein seit einiger Zeit auf dem Markt verfügbares kleines Gerät inklusive Software, welches von Flugzeugen auf der Frequenz 1090 MHz abgestrahlte ADS-B-Meldungen empfängt und auf einem über USB angeschlossenen handelsüblichen PC oder Notebook in einer unserem "Radar"-Display ähnlichen Form nebst zusätzlicher tabellarischer Daten darstellt. Der Hersteller des Geräts, die Firma Kinetik Avionik Products mit Sitz in London, beschreibt das Gerät wie folgt:

The **SBS-1™** is an affordable and lightweight Mode S/ADS-B receiver that decodes transponder signals from aircraft. Using the **Basestation** application the **SBS-1™** displays this information on a VIRTUAL RADAR SCREEN enabling REAL-TIME aircraft tracking on your PC.

Quelle: Kinetik Avionik Products, SBS-1 Product Specification

Aufgrund der teilweise großen Aufmerksamkeit, die dieses Gerät in Luftfahrtkreisen erhält, werden in diesem Beitrag einige technischen und auch nicht-technischen Aspekte des Betriebs beleuchtet.

Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B)

Wesentliches Design-Ziel von ADS-B ist ein robustes, einfaches und preisgünstiges Surveillance-System, welches seine Daten im Sinne der

„Collaborative Decision Making (CDM)“-Philosophie allen „Nutzern“ unmittelbar und in identischer Weise zur Verfügung stellt.

In Ergänzung zum klassischen bodenbasierten Surveillance-System mittels Radaranlagen können ADS-B-Informationen nicht nur am Boden sondern auch von anderen Flugzeugen empfangen und z.B. zur Verkehrsdarstellung an Bord genutzt werden (s. Artikel zu SAMSON in dieser Ausgabe).

Im „ADS-B Concept of Use“ (ICAO, 11th Air Navigation Conference, 2003) wird ADS-B wie folgt beschrieben:

- *ADS-B is a surveillance application that allows the periodic transmission of parameters, such as identification, position and position integrity, via a broadcast-mode data link. Any user, either airborne or ground-based, within range of this broadcast may choose to receive, process and display this information. ADS-B information is broadcast without any knowledge of which users may be receiving it and without the expectation of an acknowledgement or reply. In addition to aircraft and vehicles, ADS-B may be used to identify hazards, such as obstacles, skydivers, etc.*
- *ADS-B is automatic in the sense that no flight crew or controller action is required for the information to be transmitted. It is dependent surveillance in the sense that the surveillance-type information so obtained depends on the suitable navigation and broadcast capability in the source emitter.*

Status der Standardisierung, Entwicklung und Einführung

Dabei ist ADS-B keine neue Idee. Das grundlegende Konzept wurde bereits vor ca. 20 Jahren beschrieben. Seit dieser Zeit wurde weltweit intensiv an dessen Umsetzung gearbeitet. Die Standardisierung ist weitestgehend abgeschlossen, kommerzielle Geräte sowohl für die Bord- als auch Bodenseite sind verfügbar und die operationelle Implementierung und Nutzung hat in

einigen Staaten/Regionen bereits begonnen. Eurocontrol/EU und FAA arbeiten sehr intensiv an der Definition, Validierung und Sicherheitsbetrachtung möglicher operationeller Anwendungen.

Im deutschen Luftraum liegt der ADS-B-Ausrüstungsgrad bei ca. 13% aller Luftfahrzeuge, mit deutlich ansteigender Tendenz (nahezu alle neuen Verkehrsflugzeuge werden mit ADS-B-fähigen Transpondern ausgeliefert). Gleichzeitig befinden sich durchgängig ca. 30-50 ADS-B-Ziele im Erfassungs- und Darstellungsbereich der Bodenstation in Langen.

Bezüglich des europäischen Luftraumes befinden sich ECIP-Objectives in Vorbereitung, die Europäische Kommission denkt über die Erstellung von „Implementing Rules“ und/oder „Community Specifications“ nach. Die Europäische Kommission hat in den zurückliegenden Jahren die Entwicklung und Erprobung von ADS-B und ADS-B basierten Anwendungen mit beträchtlichen Geldsummen gefördert. Die DFS beteiligt sich über ihren F&E-Bereich seit ca. 10 Jahren kontinuierlich an diesen Entwicklungs- und Validierungsprojekten, sowie in den einschlägigen Standardisierungsgremien der ICAO.

Rechtslage

Das unbefugte Abhören von Nachrichten mittels einer Funkanlage ist gemäß §§ 89, 148 TKG (Telekommunikationsgesetz) strafbar. Da der Schutzbereich dieser Vorschriften weit auszulegen ist, kann davon ausgegangen werden, dass auch der Gebrauch des SBS-1 hierunter fällt, wenn der "Betreiber" eines solchen Empfängers unbefugt die Position, Flughöhe, Kennung und einige weitere Daten des Flugzeuges empfängt und mit Hilfe der mitgelieferten Software die empfangenen Daten tabellarisch und graphisch auf einem PC darstellt und damit letztlich die Anzeige der aktuellen Flugsituation einer Region ermöglicht. Wichtig ist es jedoch festzuhalten, dass nicht schon der Besitz einer solchen Anlage strafbar ist sondern "nur" ihr **unbefugter Gebrauch** (ein entsprechender Hinweis hierauf liegt dem Gerät beim Kauf allerdings nicht bei.). Wichtig ist jedoch auch, dass ein Nutzungsverbot in der Realität so gut wie nicht durchsetzbar ist.

Sicherheitsaspekte

Die bewusste und gewollte Einfachheit des technischen Systemdesigns und Zugänglichkeit der übertragenen Surveillance-Daten hat unweigerlich auf der anderen Seite Konsequenzen hinsichtlich der Verfügbarkeit, Integrität und Vertraulichkeit der übertragenen Informationen. Entsprechende negative Einflüsse können sowohl durch ungesetzliche Eingriffe ("security") als auch durch andere Ursachen wie z.B. technische Fehler ("safety") verursacht werden.

Auch hierzu ein Auszug aus dem o. g. „ADS-B Concept of Use“:

- *The flexibility and versatility of the proposed ADS-B system will allow for many safety and capacity enhancing applications in the short and long term. As applications approach maturity and their requirements become more complex, they also become more sensitive to outside interference. . . .*
- *The interference sources can be malicious or accidental and can occur intermittently or for an extended period. The interference can be a localized source causing for example a "co-channel interference" problem up to a military denial of airspace operation involving active jamming. . . . There are practical limits that must be recognized due to technological, political, and fiscal reasons. Not all solutions will be technical, that is, come from a box. Some of the solutions may be procedural, legal, technical or a combination of all. In short, States will need to consider the likelihood and severity of interference by conducting appropriate hazard and safety assessments as a means of developing mitigation strategies.*

Mit anderen Worten, jeder Staat muss vor/bei Einführung von ADS-B die technischen und wirtschaftlichen Vorteile dieses Systems gegenüber den Anforderungen hinsichtlich des Schutzes vor ungesetzlichen Eingriffen bzw. anderen negativen Ursachen abwägen und bewerten, und ggf. geeignete Maßnahmen identifizieren und veranlassen.

Wichtig erscheinen in diesem Zusammenhang insbesondere die im "Concept of Use" angesprochenen Bedrohungen

1. der Verfügbarkeit von ADS-B-gestützten Anwendungen durch

- a. "Jamming" (elektromagnetische Störstrahlungen) oder
 - b. die "Überflutung" von ADS-B-Empfängern mit ADS-B-Meldungen ("Denial of Service"), bzw.
2. der Integrität der ADS-B-Daten durch Ausstrahlung von Falschinformation ("Spoofing").

Technik / Hardware

Seit Mitte September ist eine ADS-B-Empfangsstation "SBS-1" im CNS-Labor des Bereiches TE "installiert". Der SBS-1 ADS-B Empfänger ist netzunabhängig und mobil einsetzbar. Er hat folgende technischen Charakteristika

- 1090 MHz Empfänger, Empfindlichkeit -90 dBm
- Reichweite > 250 NM
- Anschluss an PC/Notebook über USB oder Ethernet
- Stromversorgung direkt über USB oder mitgeliefertes Netzteil
- Geringe Abmessungen und Gewicht (200 x 50 x 150 mm, 415 g)



Abb. 1: SBS-1 ADS-B Empfänger

- Magnetfußantenne
- Bedienung und Anzeige mit „Basestation“ Software

Technik / Software

Die mit dem SBS-1 mitgelieferte „Basestation“, Software ermöglicht zum einen die grafische Darstellung der ADS-Informationen (s. Abb. 2) , also

- „Radardisplay“, d.h. Anzeige von Flugspuren (bis komplette Historie) mit Label
- vertikale Darstellung

Außerdem ist eine tabellarische Anzeige von Flugzeugdaten möglich (Aircraft List, s. Abb. 3), die u.a. folgende Daten liefert:

- Position (LAT/LON), Höhe, Geschwindigkeit, ICAO 24-Bit Flugzeug- Adresse, Rufzeichen, Herkunftsland
- Registrierungsdaten wie Flugzeug-Hersteller, Flugzeugmuster, Gewicht

Über eine interne Datenbank lassen sich zudem Informationen sammeln über z.B.:

- Hersteller, Herstellungsdatum, Typ, Seriennummer, Registrierungen mit Datum,
- Land, Flugzeugklasse, Flugstunden, Sightings Liste

Leistungsdaten

Das Gerät besteht in der Tat durch seine Einfachheit, innerhalb 20 Minuten nach Auspacken war das System voll funktionsfähig und hat Live-Flugverkehr (soweit ADS-B ausgerüstet) dargestellt. Seither findet ein Leistungsvergleich mit einer ebenfalls im Forschungszentrum installierten „Profi“-ADS-B-Bodenstation der Firma Thales statt (AS-680). Das SBS-1 erreicht erwartungsgemäß nicht die Leistungsfähigkeit der (ca. 30 mal so teuren) Thales-Station, besticht aber dennoch durch eine beachtliche Performance, insbesondere bei Anschluss einer gut positionierten Außenantenne.

Zu berücksichtigen ist dass das Funkfeld um Frankfurt das höchstbelastete der Welt ist (s. Pegasus Projekt 2000), und dass damit ein starker Einfluss auf Reichweite und Zielentdeckungswahrscheinlichkeit besteht.

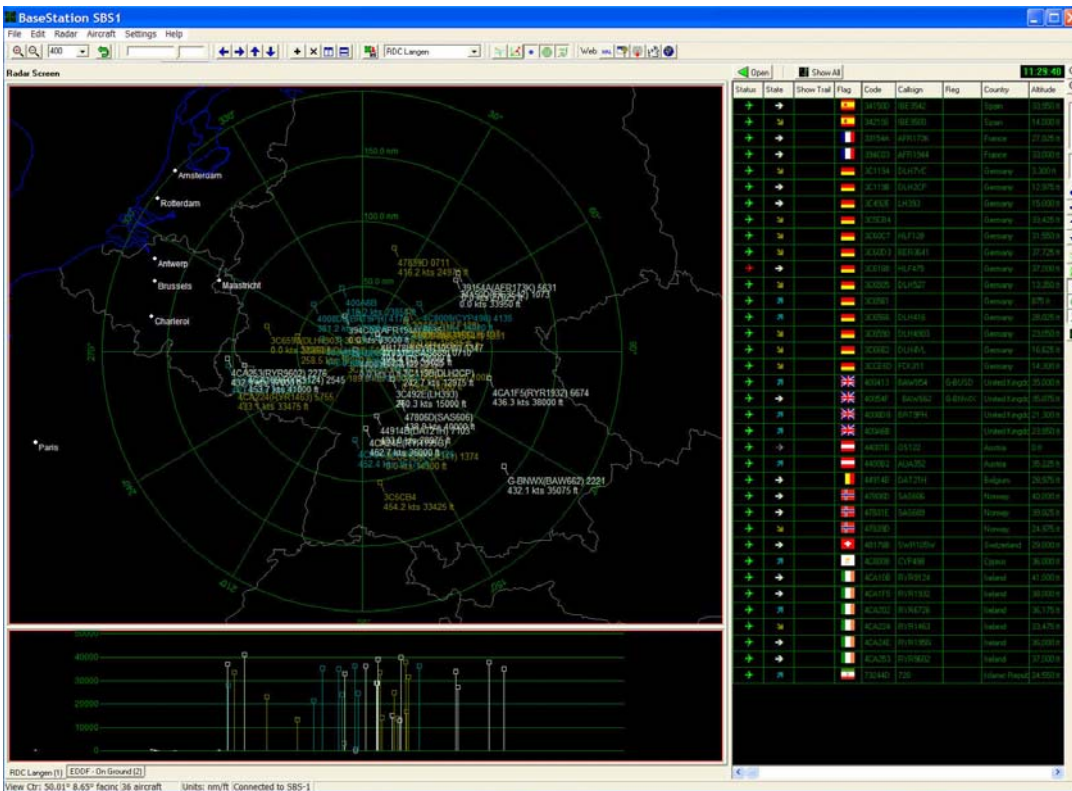


Abb. 2: Grafische Ausgabe des SBS-1 ADS-B Empfängers

Leistungsunterschiede zur AS-680 ergeben sich bezüglich:

- einer ~ 20NM geringeren Reichweite, also maximal 150NM (in FL390)
- um ~ 20...50% kleineren Zielzahlen
- wesentlich schlechterer Leistung bei Verwendung der mitgelieferten Antenne (Reichweite reduziert auf max. 100NM und damit eine Halbierung der Zielzahl)

Fazit

ADS-B ist nichts Neues. Weder überrascht das Erscheinen eines Gerätes wie das SBS-1 auf dem privaten Markt noch dessen Fähigkeit, mit minimalem Aufwand und zu geringen Kosten Live-Luftverkehrslage darzustellen. Dies ist letztlich nur ein Ausfluss der konsequent umgesetzten ADS-B-Entwicklungsziele.

Die Ziele von ADS-B erfordern die Verfügbarkeit der Daten für eine nicht eingrenzende Anzahl von Empfängern; dies minimiert faktisch die Möglichkeiten zum Schutz der Vertraulichkeit der Daten. So dürfte eine Verschlüsselung der ADS-B-Daten-Ausstrahlung weder mit den Zielen von

ADS-B vereinbar noch technisch und organisatorisch praktikabel umsetzbar sein.¹

Nicht zuletzt auch Beispiele aus anderen Staaten (USA) und anderen Verkehrsbereichen (Schifffahrt) zeigen darüber hinaus bereits heute, dass längerfristig die frei zugängliche Verbreitung und Darstellung einer Live-Verkehrslage auch in unserem Luftraum nicht zu verhindern sein wird. Darüber hinaus existieren bereits seit geraumer Zeit frei zugängliche Web-Server und frei erhältliche PC-Programme, welche Tracking und Darstellung von Luftverkehr auf Basis decodierter ACARS-Meldungen ermöglichen.

Die Untersuchung und Bewertung der Verfügbarkeits- und Integritäts-Problematiken sollte im Vorfeld der operativen Nutzung in der DFS zügig angegangen werden, um den erwarteten langen Vorlaufzeiten für die Untersuchungsarbeiten sowie die Entwicklung und Abstimmung entsprechen

¹ Das o.g. *Concept of Use* erwähnt lediglich die Möglichkeit, dass "state aircraft" auf ADS-B-Ausstrahlungen verzichten bzw. sie einschränken könnten und warnt gleichzeitig vor den Auswirkungen solcher Maßnahmen auf den übrigen Luftverkehr.

chender Sicherheitsmaßnahmen gerecht zu werden.

Der wohl größte unmittelbare „Erfolg“ der SBS-1-Bodenstation besteht darin, dass es diesem Gerät gelang, dem Thema ADS-B schlagartig eine derart große Aufmerksamkeit und Diskussion zukommen zu lassen, wie sie in all den Jahren intensiver Entwicklungs- und Erprobungsaktivitäten zu dieser Surveillance-Technologie (auch in der DFS) nicht zu erzielen waren.

Abkürzungen

ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast
ATM	Air Traffic Management
CDM	Collaborative Decision Making
ECIP	European Convergence and Implementation Plan
ICAO	International Civil Aviation Organisation
TE	Organisationskennzeichen Forschung & Entwicklung der DFS

Aircraft Details

Flag: **Status:** Okay **Squawk:** 0372
Lat: 49.850° **Altitude:** 37,000 ft **Speed:** 433.6 kts
Long: 6.123° **Vert. Rate:** 0 **Track:** 118.5°

Registration Data

ModeS (Hex): 400473	Registration: G-MONJ	Country: United Kingdom
Status: Registered	Previous ID: NEW USA	Current Reg Date: 26/02/1988
First Reg Date: 26/02/1988	De-reg Date:	

Manufacturer: BOEING COMPANY	Type: BOEING 757-277	Serial No: 24104
Popular Name: -	Aircraft Class: FIXED-WING LANDPLANE	
Generic Name: 757	Engines:	

Ownership Status: Owned	MTOW: 113398kg	C of A Cat.: TRANSPORT (PASSENGER)
Total Hours: 58994 at 31/12/2002	Year Built: 1988	C of A Expiry: 23/01/2006
Registered Owners:		

UserNotes

Sightings

Callsign	Date	Time	On Ground	Lat	Lon	Speed	Altitude	V. Rate	Track
MON3836	2005/10/06	09:33:05	No	49.934	5.893	440.8 kts	37,000 ft	0 ft	118.6
	2005/10/05	19:08:21	No	47.530	7.158	0.0 kts	38,000 ft	0 ft	0.0
MON5318	2005/10/05	11:54:14	No	50.650	5.783	426.3 kts	35,000 ft	0 ft	105.4
	2005/10/02	16:31:44	No	47.425	7.666	460.4 kts	36,000 ft	0 ft	288.4
	2005/10/02	08:30:57	No	47.593	6.942	459.9 kts	36,000 ft	-64 ft	286.0
	2005/10/01	07:15:13	No	47.616	6.842	433.8 kts	36,000 ft	0 ft	285.5
MON1412	2005/10/01	01:48:45	No	50.418	4.442	470.9 kts	37,000 ft	0 ft	116.9
MON1738	2005/09/28	12:57:45	No	50.623	5.813	513.9 kts	37,025 ft	-64 ft	104.3
MON5705	2005/09/26	22:08:17	No	48.074	5.625	419.6 kts	38,000 ft	0 ft	299.6

Edit Details Close

Abb. 3: Tabellarische Ausgabe des SBS-1 ADS-B Empfängers



Impressum:

TE im Fokus - Informationen aus dem Bereich Forschung und Entwicklung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

TE im Fokus erscheint in der Regel halbjährlich. Dieser Bericht ist elektronisch (und in Farbe) im Internet (www.dfs.de, Bereich ATM Information, Forschung & Entwicklung) sowie über das DFS Intranet, Dokumentationsbereich im F&E Portal (<http://forschungszentrum.lgn.dfs.local>) verfügbar. 70 Exemplare werden in gedruckter Form aufgelegt.

Herausgeber: Bereich Forschung und Entwicklung, TE
DFS Deutsche Flugsicherung GmbH
Am DFS-Campus 5
63225 Langen

Redaktion: Dr. Andreas Herber (andreas.herber@dfs.de),
Dr. Thomas Bierwagen (thomas.bierwagen@dfs.de),
Stefan Tenoort (stefan.tenoort@dfs.de)

Sekretariat: Petra Schuster (petra.schuster@dfs.de)
DFS Deutsche Flugsicherung
Telefon: 06103-707-5751
Telefax: 06103-707-5741

NEU: Dieser Zeitschrift ist eine ISSN (International Standard Serial Number) zugeteilt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Print- und der Internet-Version. Die ISSN sind wie folgt:

Printversion: ISSN 1861-6364

Internet-Version: ISSN 1861-6372

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 © 2005 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.