

2/13

27.12.2013

ISSN 1861-6364 (Print), 1861-6372 (Internet)

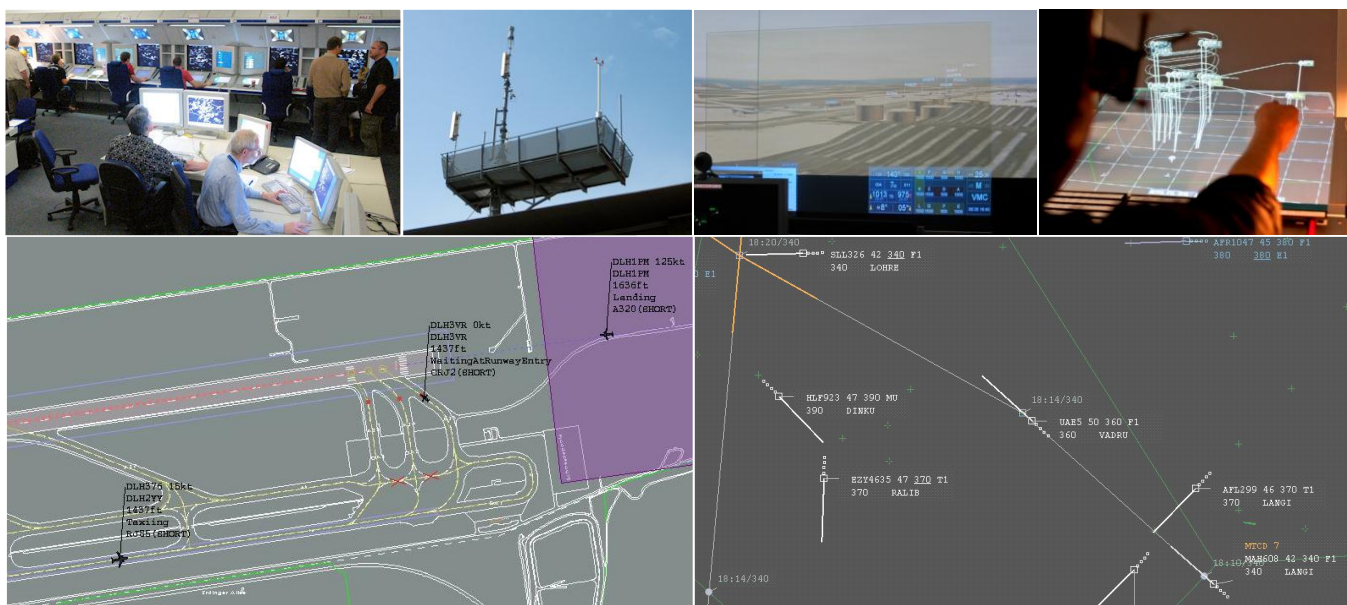
TE *im Fokus*

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



In dieser Ausgabe:

- Editorial
- Data Performance Analysis of Wide Area Multilateration Systems
- Analyse der Weitbereichskommunikation für das Arbeitsprinzip „Luftraummanagement 2020“
- Neue ATM-Simulatoren im Forschungszentrum für die gemeinsame Nutzung durch Center Langen und F&E
- Ein Mockup für die Anzeige von ACAS-Ausweichanweisungen am Lotsenarbeitsplatz



DFS Deutsche Flugsicherung

Inhalt

Abstracts der Heftbeiträge	2
Dr. Volker Heil Editorial	3
Stefan Stanzel, Dr. Andreas Herber Data Performance Analysis of Wide Area Multilateration Systems.....	4
Andreas Walter (SIS/RUA), Jörg Buxbaum Analyse der Weitbereichskommunikation für das Arbeitsprinzip „Luftraummanagement 2020“	15
Dr. Andreas Herber, Dr. Ralph Leemüller, Uwe Micksch, Ralf Schlingmann (CC/LT) Neue ATM-Simulatoren im Forschungszentrum für die gemeinsame Nutzung durch Center Langen und F&E	24
Dr. Andreas Herber, Andreas Udovic Ein Mockup für die Anzeige von ACAS-Ausweichanweisungen am Lotsenarbeitsplatz	29
Impressum.....	32

Die Autoren sind, soweit nicht anders gekennzeichnet, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Bereich Forschung und Entwicklung der DFS.

Abstracts der Heftbeiträge

Stefan Stanzel, Dr. Andreas Herber: **Data Performance Analysis of Wide Area Multilateration Systems** - The commissioning of Wide Area Multilateration (WAM) surveillance systems requires preceding extensive performance tests and optimization. This article describes the DFS approach to test methods, the test tool implementation/ verification and the results of WAM performance tests.

Andreas Walter, Jörg Buxbaum: **Analyse der Weitbereichskommunikation für das Arbeitsprinzip „Luftraummanagement 2020“** - In einer Masterarbeit an der Hochschule für Ökonomie und Management Stuttgart, die von der DFS betreut und in Zusammenarbeit mit dem Bereich Forschung & Entwicklung durchgeführt wurde, wurden potentielle technische Lösungen zur Unterstützung einer sektorlosen Luftverkehrskontrolle beschrieben und hinsichtlich ihrer Eignung und Kosten untersucht. Der Artikel gibt einen Überblick über diese Arbeit.

Dr. Andreas Herber, Dr. Ralph Leemüller, Uwe Micksch, Ralf Schlingmann: **Neue ATM-Simulatoren im Forschungszentrum für die gemeinsame Nutzung durch Center Langen und F&E** - Im Jahr 2013 wurden die Arbeiten zu einem neuen, äußerst flexiblen ATM-Simulator im Forschungszentrum abgeschlossen. Die neue Simulations-Infrastruktur wird nun gemeinsam vom Bereich Center und F&E genutzt und vom Simulatorzentrum betrieben. Der Artikel gibt einen Einblick in dieses System und seine Besonderheiten.

Dr. Andreas Herber, Andreas Udovic: **Ein Mockup für die Anzeige von ACAS Ausweichenweisungen am Lotsenarbeitsplatz** – Der Artikel beschreibt ein flexibles Software-Werkzeug, mit dem die unterschiedlichen Aspekte einer Darstellung von TCAS Ausweichempfehlungen am Lotsenarbeitsplatz. Anhand typischer oder auch realer Beispiele kann so untersucht werden, wie sich die Kenntnis über ein mögliches Ausweichmanöver eines Flugzeugs technisch wie auch inhaltlich in die Lotsen-Arbeitsumgebung integrieren läßt.

Liebe Leserinnen und Leser von „TE im Fokus“!



Sie ahnen es vermutlich schon. Wenn es in dieser Zeitschrift ein Editorial gibt, dann steht eine Veränderung an. Richtig. Vor Ihnen liegt die letzte Ausgabe von „TE im Fokus“. Das ist nicht schlimm oder traurig. Das ist wie der letzte Tag des alten Jahres, nach dem das neue Jahr kommt – und es mit dem Blick in die Zukunft weiter geht! Und der Blick in die Zukunft der Flugsicherung oder vielleicht besser in eine der möglichen oder denkbaren, vor allem aber auch machbaren, erreichbaren (keine „Hirngespinnste“, sondern die Brücke von Heute nach Morgen) „Zukünfte“ der Flugsicherung ist unser Anliegen. In diesem Sinn wird es in 2014 mit neuem Titel weiter gehen. Mehr wird heute noch nicht verraten.

Was ist der Anlass? Wieder einmal ist es eine Neuorganisation in der DFS. Im Dezember 1998 erschien die erste Ausgabe von „SE im Fokus“, dem Vorläufer von „TE im Fokus“. Informationen zu Arbeiten mit Beteiligung des Bereichs „Entwicklung und Erprobung“ der DFS, der damals „SE“ abgekürzt wurde, sollten DFS-intern bekannt und auch über das Internet erschließbar gemacht werden. Das hatte und hat dann den durchaus gewollten Nebeneffekt, dass hier mancher seine erste – gestatten Sie es mir: halbwegs wissenschaftliche, da nur einem kleineren internen Review unterzogene – Veröffentlichung geschrieben hat. Damit wurden auch Ergebnisse von studentischen Abschluss- und Praktikumsarbeiten einem breiteren Kreis eröffnet, und nicht nur umfangreiche Arbeits- oder Projektergebnisse dokumentiert und damit vor anderweitigen Rechtsansprüchen gesichert.

Diese Grundlinie ist 2001 mit „TE im Fokus“ beibehalten worden. Damals bescherte uns eine Reorganisation die Bereichsbezeichnung „Forschung und Entwicklung“ mit dem Kürzel „TE“. Seit Mitte 2005 wird die Zeitschrift mit einer ISSN publiziert. Als angewandte Forscher mit dem Fokus auf dem Transfer in die Praxis wissen wir, dass es wichtiger ist, mit vorübergehenden Arbeitshypothesen voranzuschreiten und diese zu überprüfen und zu korrigieren als unendlich lange auf die vermeintlich richtige Lösung (hier: den ultimativen Titel der Publikation, mit oder ohne Organisationsbezeichnung) zu warten oder nach dieser zu suchen. Iteratives Vorgehen und Validierung und dann eben auch die Änderung oder sogar der Abbruch von Projekten sind Schlüssel unseres erfolgreichen Wirkens, das über die Jahre zunehmend auf die ganze DFS und darüber hinaus bis in SESAR hinein gewirkt hat und noch wirkt.

Am 1.1.2014 wird in der DFS der Bereich „Forschung und Entwicklung“ in den Bereich „Planung und Innovation“ integriert, den zwei jüngere Kollegen leiten. Ich berichte zwar weiterhin an den Leiter Betrieb, Herrn Geschäftsführer Robert Schickling, nun aber bis zu meiner Verrentung Ende Mai 2015 - nach derzeitiger Gesetzeslage - als „Seniorberater Forschung, Entwicklung und Innovation“. Damit werden mehrere Dinge erreicht. Es wird ein sowohl personell als auch organisatorisch gut verzahnter Übergang sichergestellt. Gleichzeitig wird mit dem nun explizit genannten, aber schon immer gehaltenen Fokus „Innovation“ das in den Vordergrund gestellt, was wir erreichen wollen. Nicht die Idee oder Invention ist unser Ziel, sondern die in der Praxis etablierte Innovation. Deshalb ist auch die Verbindung von Innovation und (Entwicklungs-)Planung logisch und sinnvoll und eröffnet Synergien. Vor diesem Hintergrund muss sich auch diese Zeitschrift verändern. Doch dazu in der ersten Folgeausgabe mehr.

Noch etwas Gutes zum Schluss: Das Redaktionsteam bleibt. Ihm gilt heute mein Dank für viele Jahre kontinuierlicher, fruchtbarer Arbeit. Und ich gebe gerne meine Wünsche für eine erfolgreiche, Nutzen stiftende Zukunft, für das Team und die Leser, denen ich für ihre Treue und Feedback danke, mit!

Ihr Volker Heil

Data Performance Analysis of Wide Area Multilateration Systems

Stefan Stanzel, Dr. Andreas Herber

Preface¹

The commissioning of Wide Area Multilateration (WAM) surveillance systems requires preceding extensive performance tests and optimization. This article describes the DFS approach to test methods, the test tool implementation/ verification and the results of WAM performance tests. It consolidates the main content of two earlier publications ([5], [6]), each one concentrating on slightly different aspects of data analysis. More detailed information e.g. on Horizontal Position Accuracy (HPA) analysis can be found there.

1. Introduction

In the recent years the commissioning of WAM systems is growing significantly. The implementation of these systems is directly dependent on the foreseen operational use and the existing environmental conditions. Examples of operational use are offshore systems for helicopter surveillance, precision arrival monitor systems and WAM systems providing nationwide surveillance coverage. The applied infrastructure has to take into account the environmental conditions like geographical circumstances, the radio field environment and the amount and/or type of traffic in the surveillance coverage volume. Therefore, specific technical solutions of WAM systems are implemented which in fact have different performance characteristics.

2. Performance requirements dependencies

Several performance requirements of a WAM system as defined in EUROCONTROL specifications [2] are closely dependent on each other. Thus, before commissioning a WAM system, usually a performance optimization phase needs to be carried out. When optimizing a WAM system the dependencies of the performance requirements which need to be taken into account are for example the following:

¹ In light of its envisaged readership, this article has been written in the English language

- a minimization of the data latency may decrease the Probability of Target Detection (PoD) and/or Horizontal Position Accuracy (HPA),
- a minimization of the interrogation rate may decrease the PoD and/or Probability of Code Detection (PCD) Mode C,
- an optimization of the HPA may decrease the data latency; and
- a maximization of PoD may increase the false target rate and/or decrease the HPA.

As the radio environment influences nearly all WAM performance parameters, the specific characteristics need to be analyzed. Main factors influencing the radio field (RF) are particularly (a) the amount and type of traffic, (b) the distribution of traffic within coverage volume, (c) the amount and type of existing surveillance infrastructure and (d) the specific topographic conditions. A WAM system optimization is only feasible if the characteristics of the specific radio field are considered. RF load analyses performed by DFS are explained e.g. in [7].

3. Development of new and/or modified methods of performance analysis

There are common performance requirements which apply to all types of surveillance systems, for instance probability of detection, position accuracy and update rate. However, each surveillance technology shows specific performance requirements in addition. Examples of significant differences of these surveillance technologies (Radar; WAM) are: e.g. detection mechanisms (range/azimuth measurement; time difference of arrival calculation), infrastructure (centralized; decentralized) and different surveillance data formats.

Methods for performance analysis of radar systems are well defined and approved in many evaluations for years. Nevertheless, it turned out that the performance analysis of Wide Area Multilateration systems requires first of all new test methods concerning performance parameters

which are specific to WAM systems. Secondly, modified test methods of common surveillance performance parameters are needed as well. Due to the differences in the behavior of WAM systems in comparisons to radar systems (e.g. error model, coordinate system, time distribution of the data) modified test methods should be taken into account.

Performance analysis methods for horizontal position accuracy, probability of target detection, probability of code detection (flight identification and status) and detection of false targets were modified, whereas methods related to data latency, interrogation rate and (N-1) redundancy were newly developed. A WAM evaluation system was implemented including the newly developed or modified performance analysis methods. Before using the evaluation system in the scope of acceptance testing, it was necessary to verify the correct mode of operation. After the successful verification, the WAM evaluation system was used for system acceptance and optimization. Furthermore, it will be used for online and offline monitoring of the WAM surveillance performance in the future.

4. Test Environment and Tools

The DFS surveillance environment provided the

surveillance data from radars (MSSR, SSR Mode S) and a Wide Area Multilateration system (PAM-FRA WAM Sensor). The surveillance data were distributed using the Radar Data Network (RADNET). The DFS R&D ADS-B/WAM Validation infrastructure was connected to the RADNET in order to retrieve all relevant information for further data recording and analysis (see Figure 1).

The PAM-FRA Sensor was implemented as the first DFS Wide Area Multilateration system (WAM). The main objective for this WAM sensor is to provide surveillance information for the Frankfurt Airport approach area. The WAM sensor is composed of more than 30 remote units (surveillance data receiver) and a redundant central processing unit (target processor).

In addition to its WAM capability the PAM-FRA Sensor provides also ADS-B data. The ADS-B data are received from the various remote units and relayed to the PAM target processor. The PAM target processor merges the data streams from the remote units to a single ADS-B stream, which includes a geographical and duplicate filtering.

The data recording function enabled the offline analysis of the surveillance data provided by the various sensors. The data recording was implemented using several redundant Network Attached Storage systems (NAS). As a result, high

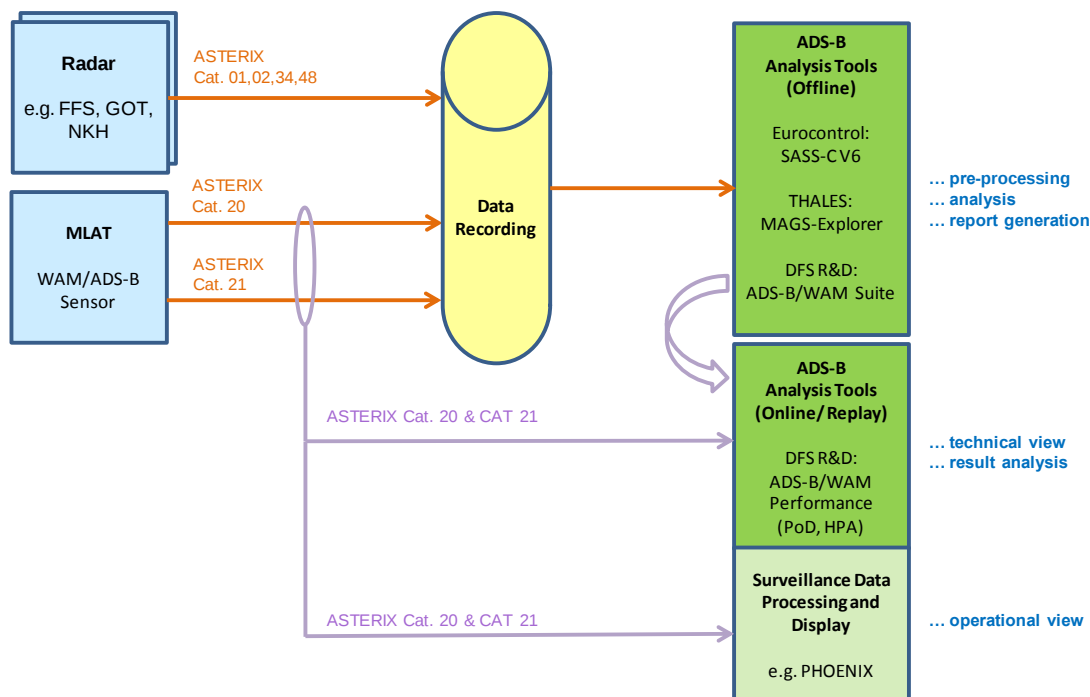


Fig. 1: DFS ADS-B/WAM test environment and tools

availability of the stored data was achieved, and the data were accessed easily by the various evaluation systems.

The surveillance information of each surveillance sensor (ADS-B, WAM, Radar) was recorded separately in order to enable flexible analysis of different surveillance system compositions. The usual data format used for the recording was the corresponding ASTERIX format.

The horizontal position accuracy (HPA) and probability of target detection (PoD) analysis tools are located at the end of the processing chain in the ADS-B/WAM data evaluation infrastructure. As there was no single analysis tool that covered all aspects of the ADS-B/WAM data evaluation, different analysis tools were jointly used in order to cover the entire scope of the data evaluation.

Some of the offline analysis tools (processing of recorded data) were provided by EUROCONTROL (SASS-C V6.7), others were developed by DFS in earlier projects. Only the DFS in-house developments were adapted to the specific requirements of the ADS-B/WAM data evaluation. The analysis tools were therefore a suitable mix of "standardized" commercial-off-the-shelf products and flexible in-house developments.

The online analysis tools (processing of live data) were developed by DFS. These systems were capable of direct processing of the relevant ADS-B and WAM quality information and provided means for visualization the surveillance data.

A surveillance data analysis software working in

real time was created, which permitted a direct performance comparison between the surveillance technologies: ADS-B, MLAT and Radar.

5. Data Latency Analysis

The PAM-FRA WAM Sensor provides WAM reports (ASTERIX category 020 format) for a certain target on a regular update interval of one second (so called periodical buffered mode). However, as the WAM systems works mainly passive, the time of a multilateration event (Time of Arrival, ToA) is dependent on time of the occurrence of the corresponding reports, which could be multilaterated.

Therefore the time difference of two consecutive multilaterations is varying between the WAM internal processing delay (a few milliseconds) and nearly twice the update interval. The WAM data

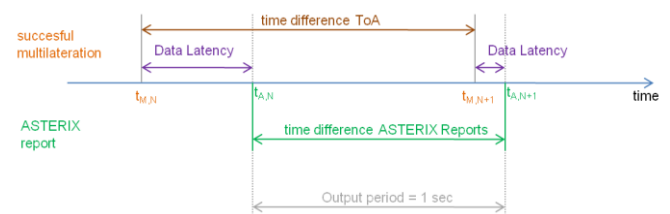


Fig. 2: Data latency analysis - overview

latency is the time difference between a successful multilateration ($t_{M,N}$) and the time on which the corresponding ASTERIX report is transferred to the surveillance data processing system ($t_{A,N}$).

Figure 2 shows the dependencies of the various time differences in the WAM system.

Figure 3 shows the probability density and the cumulative distribution (PDF/CDF) of the data latency of the PAM-FRA WAM sensor. The median value was about 189 msec and the mean value was appr. 247 msec measured within a 120 minutes peak hour measurement campaign.

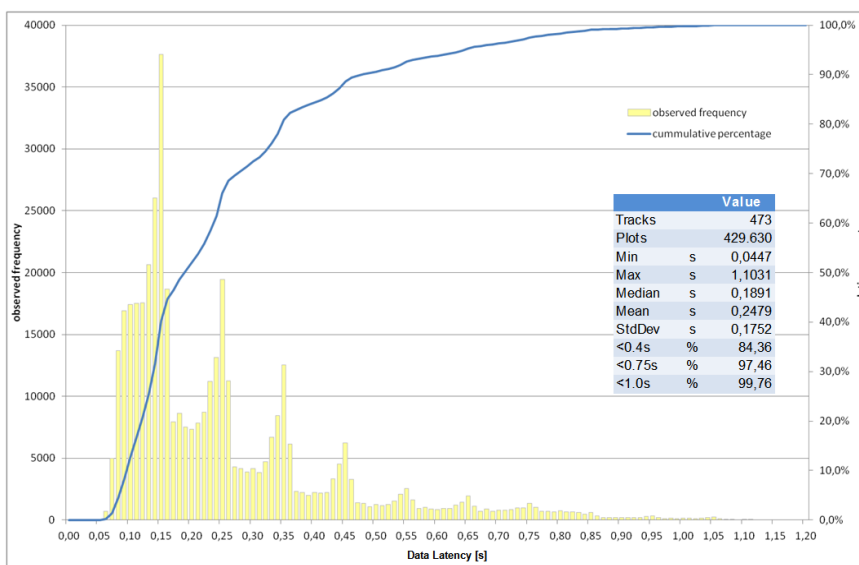


Fig. 3: Data latency analysis - results

The knowledge of WAM data latency is the baseline for several surveillance performance related analyses. An example which is reflected within this paper is the dependency between data latency and the probability of target detection.

6. Probability of Target Detection

A conventional SSR radar system analyzed with the SASS-C V6.7 tool shows typically the following characteristic: the difference of two consecutive radar detections (time of detection, ToD) is equal to the update interval (revolution time) of the radar (see Figure 4a). The mean and median values are usually very close to each other and the standard deviation is small. The evaluation software is optimized in accordance with this timing behavior, meaning that the track correlation and probability of target detection algorithm were expecting this behavior.

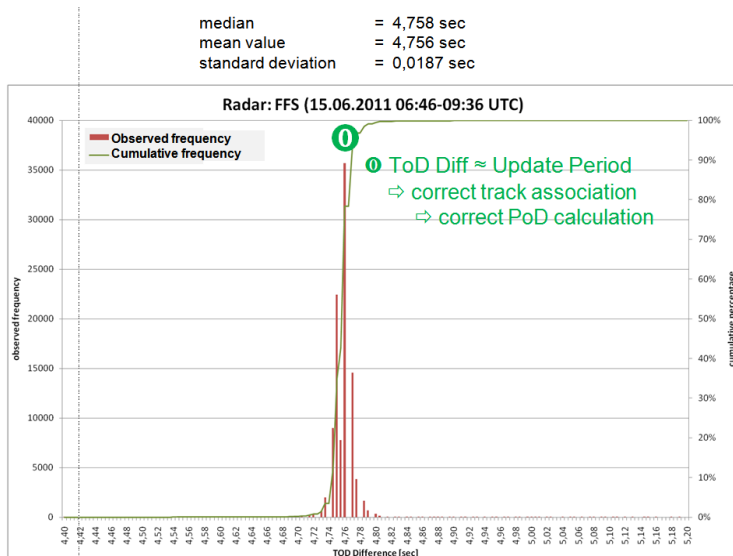


Fig. 4a: Typical ToD difference distribution for radar

A WAM system usually has a different timing behavior, because the WAM systems relies as much as possible on passive detection of reports initiated by radar and/or TCAS replies and extended squitter reports (see Figure 4b). Therefore the difference of two consecutive WAM multilaterations (time of arrival, ToA) has mean and median values which are usually close to each other. However the standard deviation of the ToA is quite large. This broad ToA distribution leads

median = 1,008 sec
mean value = 1,075 sec
standard deviation = 0,473 sec

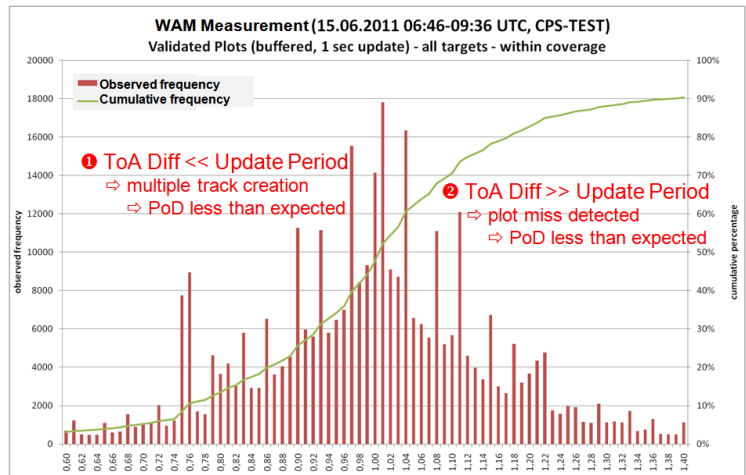


Fig. 4b: Typical ToA difference distribution for WAM

on one hand: “ToA difference is smaller than the update period” to a situation that the measurement tool does not expect a new update for the corresponding target already. Therefore a new (multiple track) is being generated. On the other hand: “ToA difference is larger than the update period” the measurement tool does expect a new update for the corresponding target, which is not received in time. In both cases the result is the similar - the probability of target detection is less than expected.

An additional effect on the probability of target detection is introduced if the corresponding target report does not contain altitude data. However, the evaluation of this data item is subject to the probability of code detection – Mode C. Therefore it was decided to modify on one hand the data (coast the altitude information in a separate altitude field) and enhance the processing of the SASS-C V6.7 tool. Therefore a report without an altitude data item was still

taken into account for probability of target detection and the coasted field is correctly evaluated in the probability of code detection – Mode C measurement.

The WAM data were adjusted in two steps: Firstly the altitude information was coasted. After that this data could still be used for various other analyses (e.g. horizontal position analyses), because the correlation of time and position was not modified yet. Secondly the time of arrival in-

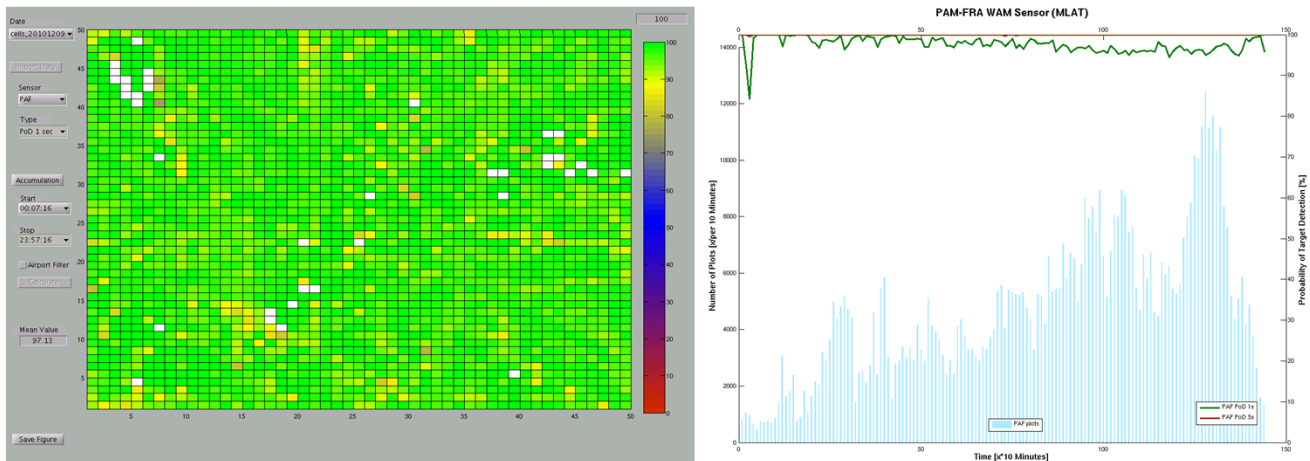


Fig. 5: Probability of Target Detection: geographical distribution (left) and chronological distribution (right)

formation was adjusted in accordance with the update interval of the ASTERIX reports.

The proposed modification of the test approach identified a stepwise adjustment of data latency and difference of ToA. If the adjustments were taken into account the WAM data behaved like conventional radar data. The data adjustment has not generated additional reports; however the results of the probability of target detection analyses were much more meaningful now.

The adjustment of the data was only a work-around. In the future the measurement tool itself needs to be modified in order to deal with the different timing behavior of ADS-B and WAM data.

Figure 5 shows the geographical and chronological distribution of the probability of target detection of a WAM system (just look at the distribution, the numbers are not important). In the left diagram, the PoD is color coded (colors from 0 to green, see column), white cells indicate areas without data. The distribution is more or less homogenous within the 128 NM x 80 NM coverage volume. The measured values were well above the required probability of target detection threshold of 97% even in peak hour periods. The chronological distribution (right diagram in Figure 5) shows an effect of the traffic load on the probability of target detection. In times when the traffic load was quite high, the load on the SSR 1090 MHz radio field increased as well and this led to a degradation of the probability of target detection due to overlapping signals which could not be decoded correctly anymore. The green curve on the top of the diagram shows the PoD for a 1 second update intervals, the red line for a 5 second update interval.

7. Horizontal Position Accuracy (HPA)

The horizontal position accuracy (HPA) is the quantitative bound of certainty in the calculated position for a target as related to the true position of that target and is expressed as a Root Mean Square (RMS) of an absolute distance error [1].

7.1 Test Approach

The horizontal position accuracy analysis of the WAM data was carried out using a stepwise approach. In a first step, the sensor plot data of the reference system (either radar or ADS-B data) were collected and chained to reference tracks for each monitored flight. The next step correlates the WAM plot data to the corresponding reference track. For each WAM plot information this correlation identifies the corresponding information within the reference track. The difference of WAM plot information and reference information provides the WAM plot deviation.

Figure 6 describes the various deviations, which are further analyzed: total track deviation (TD) and across/along track deviation (XTD, ATD).

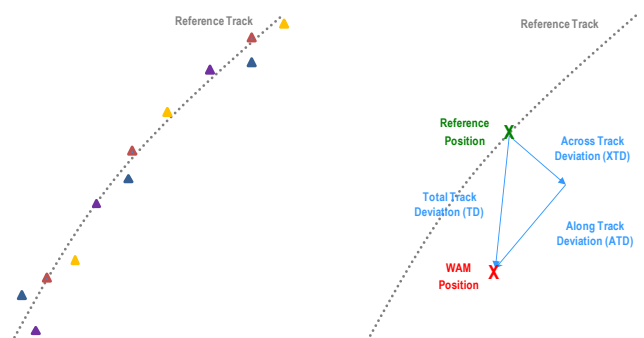


Fig.6: Horizontal position accuracy (HPA) analysis approach

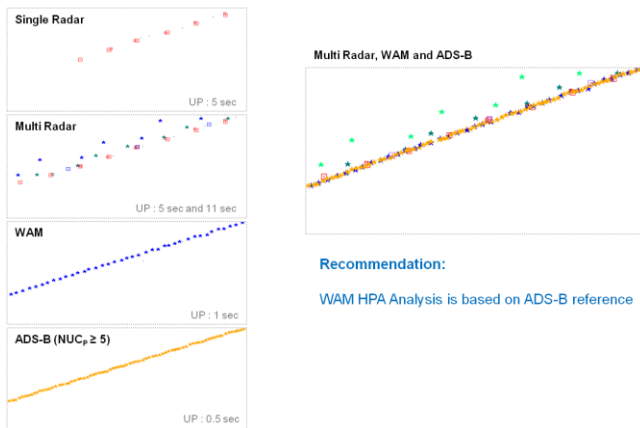


Fig. 7: Comparison of surveillance sources

Figure 7 illustrates the different update periods (UP) and position deviations of Radar, WAM and ADS-B systems. The update periods are as follows:

- 11 s of long range radar system (e.g. Neunkircher Höhe)
- 5 s of Airport Surveillance Radar (e.g. Frankfurt South)
- 1 s periodic delayed mode of the PAM-FRA WAM sensor
- 0.5 s data driven mode of the PAM-FRA ADS-B sensor

The position deviations were mainly caused by:

- Range/azimuth error (radar)
- TDOA measurement/calculation errors (WAM)
- Airborne positioning source (GNSS or Inertial Reference System) errors, ADS-B uncompensated latency

During the ADS-B/WAM data evaluation and the acceptance testing of the PAM-FRA WAM sensor it turned out that the quality provided by radar systems is usually not sufficient in order to serve as a reference for position accuracy analysis of ADS-B and WAM data. Therefore usually a comparative HPA evaluation of ADS-B and WAM data was performed.

The limitations of using radar data as reference data for ADS-B/WAM HPA analysis as well as the selection of appropriate ADS-B reference data for WAM HPA analysis was described in more detail in [6]. The main conclusions were:

- It turned out that the quality of the reference generated from multiple radars was not sufficient to evaluate WAM data, because the error caused by the reference is much larger than the error expected by the PAM-FRA WAM system.

cient to evaluate WAM data, because the error caused by the reference is much larger than the error expected by the PAM-FRA WAM system.

- The result of the geographical HPA analysis using as reference data from the ADS-B system showed the expected result: nearly equal distribution of the HPA in the observed coverage volume.

7.2 ADS-B / WAM Test Tools

SASS-C V6 is the de-facto standard for analyzing classic surveillance systems. It had been extended in order to evaluate ADS-B and WAM surveillance data as well. The primary change was the extension of the related import and processing functions of ADS-B and WAM data. However the specific characteristics of the ADS-B and WAM systems were not taken into account. The following limitations according ADS-B/WAM analysis were existing:

- Error model
- Timing characteristics
- resolution error approx. 30m

In order to resolve the shortcomings of the ADS-B/WAM HPA analysis a new test approach was developed by EUROCONTROL, THALES and DFS. The tool was called Direct ADS-B and WAM comparison (DAWC).

Figure 8 and Figure 9 show the results of geographical HPA analysis for SASS-C V6.7 and DAWC tool respectively using the same input data. Shown is the color-coded HPA within the geographic cells (17x11 for SASS-C, 50x50 for DAWC).

Note that also in these figures, the distribution, different size and color coding (red=poor) of the boxes is important, not the sometimes unreadable marking of axes etc. The same disclaimer refers to more figures further down this paper.



Fig. 8: HPA analysis using SASS-C V6.7

The results with the DAWC Tool showed significant better results due to very high calculation resolution and an optimized association algorithm taking into account the specific timing characteristics of ADS-B and WAM data. SASS-C V6 had an internal calculation resolution of 30m, which is in the order of the expected ADS-B/WAM positional errors. This led to the conclusion that the tool itself affects the validity of the HPA results.

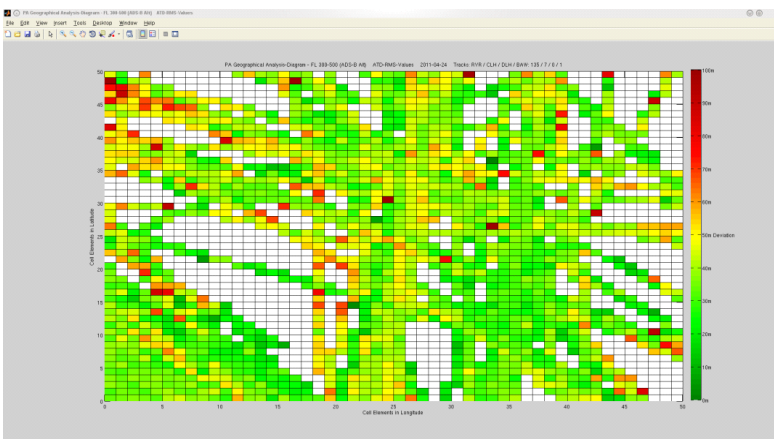


Fig. 9: HPA analysis using DAWC

7.3 ADS-B Uncompensated Latency

The measured HPA was strongly depending on the actual aircraft equipage. A significant difference of the position deviation could be observed by the along track deviation. The along track deviation consists of a positional error (mainly GNSS error) and the error caused by the ADS-B uncompensated latency. The across track deviation is nearly a pure positional error. As the (total) track deviation is the Pythagorean addition of along and across track deviation, the main influence is provided by the along track deviation.

The ADS-B ground system needs to determine the time of arrival (ToA) of the ADS-B information. The time that the ADS-B position measurement was obtained from the positioning source is not necessarily the same as the time the information is transmitted. The ToA of the information contained in an ADS-B message is determined by the processing of the data onboard the aircraft that is required by the data link standard. The ground system has no knowledge of onboard latency between the time of position measurement and the ToA indicated by the data link. ADS-B position could incur deterioration of along-track accuracy due to uncompensated latency. The cross-track effect of uncompensated latency is considered insignificant. Assuming aircraft speeds of 600 knots (En Route), 320 knots (terminal) and 200 knots (approach), a 0.2 second uncompensated latency jitter translates to additional jitters of 60, 32, and 20 meters for En Route, terminal, and approach respectively [4].

Figure 10 shows the across/along track deviation (XTD/ATD) of aircraft with uncompensated latency.

A dedicated analysis in the scope of HPA analysis demonstrated that the actual ADS-B latency of an aircraft is strongly dependent on the aircraft equipage. The (total) track deviation (TD) of aircraft with small uncompensated latency (or corrected latency) of ADS-B is in the order of 22 m RMS, whereas in case of nominal uncompensated latency the TD is about 68 m RMS. This means that a significant

amount of aircraft would currently not accomplish the 50 m RMS position accuracy requirement of Frankfurt approach. As the EU regulation 1207/2011 (SPI/IR) (which is based on EUROCAE ED-102A standard) requires means for latency compensation, this situation will improve significantly in the future and only the positional error of the Global Navigation Satellite System will remain.

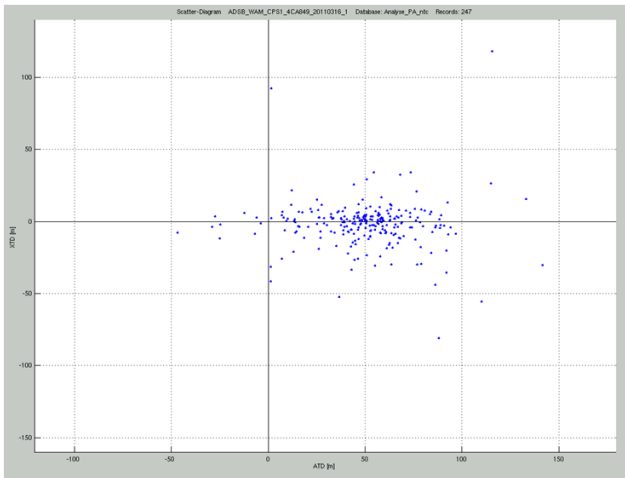


Fig. 10: Position deviation caused by ADS-B uncompensated latency (Example)

7.4 WAM HPA Analysis

During the HPA analysis it turned out that further filtering steps for the ADS-B reference data were required in order to insure a satisfactory quality of the data. An additional filtering criteria was the ADS-B quality indicator Navigation Uncertainty Category – Position (NUC_P), which describes the integrity of the ADS-B position data. The identified threshold was that only ADS-B data with a NUC_P value of at least 5 were taken into for HPA analysis.²

It was furthermore decided to use only ADS-B data with a quite small ADS-B uncompensated latency. The threshold “quite small” was elaborated with an empirical analysis of the data in order to find the optimal balance between a reasonable statistical baseline (test coverage) and ADS-B reference data with a small ADS-B uncompensated latency. Figure 11 shows the result if either the ADS-B data with small uncompensated latency are selected or the latency is compensated.

During the qualification of the PAM-FRA WAM sensor, it was agreed that the system supplier (THALES ATM) used a tool, which covered WAM specific tests, which were not covered at all and/or not sufficiently covered by the SASS-C V6.7 tool. The tool called MAGS-EXPLORER was developed by THALES ATM and was qualified by DFS.

² NUC_P ranges from 0 to 9, with 9=best quality

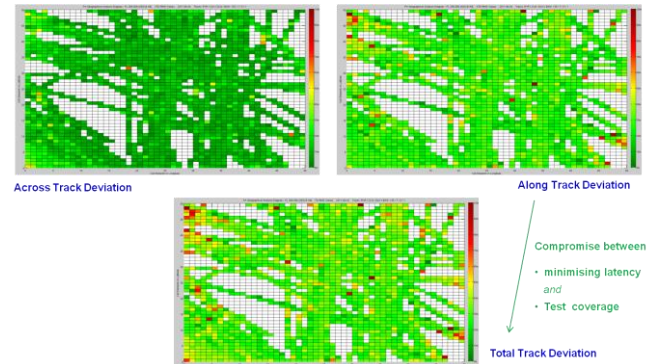


Fig. 11: Position accuracy with latency compensation

The HPA module of the MAGS-EXPLORER implemented the HPA test approach based on the DAWC tool jointly developed by EUROCONTROL, THALES and DFS. Further features were added in order to insure the traceability of the results. In Figure 12 pre-processing statistics are shown including how many input tracks/plots were existing in the chosen data set and to which extent and by which reason the relevant data were not used for HPA analysis.

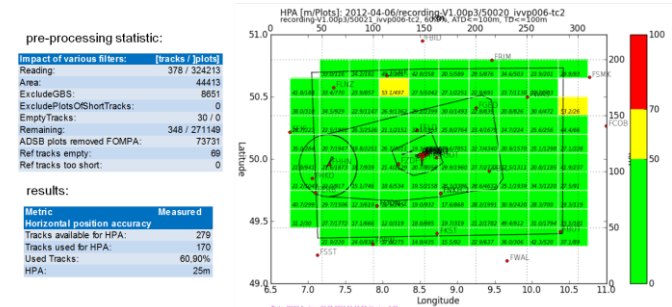


Fig. 12: WAM HPA results (example 72h test)

7.4 Conclusion from HPA analysis

The evaluations were proving that ADS-B data with small ADS-B uncompensated latency could be used as reference data for WAM HPA analysis. The test approach was verified with different test tools in order to find out the limitations and possibilities of this new HPA test method.

8. False Target Detection

A false target is identified as a target report at a position of greater distance from the true position than 2100m for 5NM separation and/or 1690m

for 3NM separation or a target report that is spurious i.e. does not relate to any target within the service coverage volume. According to ED-142 [1], the probability of false detection (PFD) shall be less than or equal to 0.1%.

The WAM false target analysis intended to identify firstly the nominal cases and secondly the different false target cases. The following symbols and terms are used for the description of the nominal and false target cases:

- **Detection Coverage Volume (DCV):** Volume of airspace in which the surveillance system receives signals from targets.
- **Surveillance Coverage Volume (SCV):** Volume of airspace for which the surveillance system provides target reports to surveillance data processing system (SDPS). Within the SCV the required performance criteria shall be fulfilled. The SCV must be a sub-volume of the detection coverage volume.
- **Symbols:**
 - first target report (SCV/DCV)
 - last target report (SCV/DCV)
 - target report (SCV)
 - target detection (within DCV outside SCV)
 - false target within SCV
 - false target outside SCV

A structured analysis about possible WAM false targets identified the following four cases (plus several sub-cases)

- **Type 1: not existing traffic** (two cases distinguished, see Figure 13)

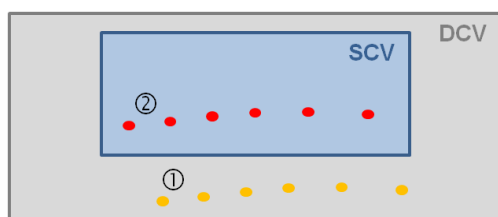


Fig. 13: Type 1: not existing traffic

- **Type 2: large position deviation („jumps“**, three cases distinguished, see Figure 14)

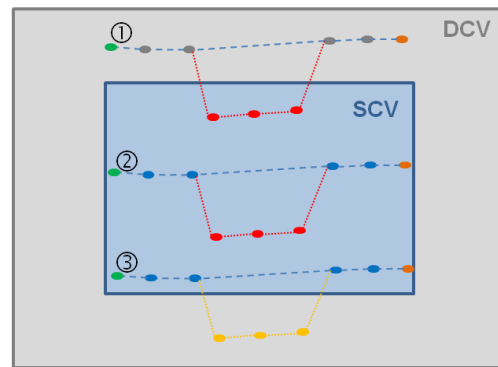


Fig. 14: Type 2: large position deviation („jumps“)

- **Type 3: small position deviation („outlier“**, also three cases distinguished, see Figure 15). As the difference in position deviation is smaller, another detection mechanism needs to be used. The analysis of cases ① and ② in Figure 14 has to clarify if the corresponding false target reports could generate a false track. This is usually the case if more than three false target reports in a timeframe of about 15 second exist having similar orientation.

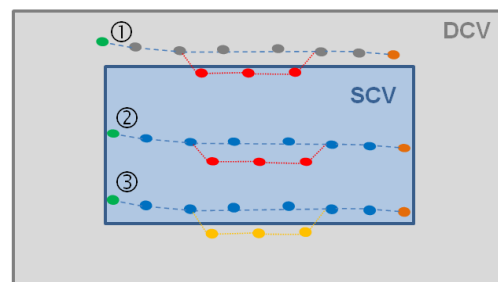


Fig. 15: Type 3: small position deviation („outlier“)

- **Type 4: Split Tracks** (see Figure 16). This case identifies a situation where the WAM system has established a track for a certain target (e.g. as Mode S target) and establishes another track (using a different track number) for the same target as Mode 3A/C target. Usually these split tracks have no significant position deviation (horizontal and vertical) between original and split track. In most cases, the Mode 3A code is similar for both tracks.

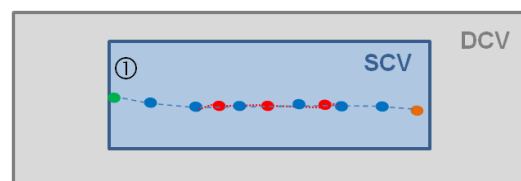


Fig. 16: Type 4: split tracks

8.1 False Target Origins

The origins of WAM false targets either could be within the WAM system itself or generated by various external effects. Each multilateration calculation usually has localization ambiguities through multiple mathematical solutions. Therefore, each multilateration result is being checked with false target mechanisms. A further reason for WAM internal false targets are inaccurate positions for out-of-coverage areas due to poor ground station coverage and/or geometry in out-of-coverage.

External influences causing WAM false targets might be introduced by malfunctioning transponders, certain effects of the radio field and errors generated by human interaction.

The following Figure 17 summarizes the most important effects observed during the qualification tests of the PAM-FRA WAM sensor:

caused by...	WAM system	external effects (e.g. transponder (XPDR), radio field (RF), human interaction (HUM))
false targets	localization ambiguities - multiple mathematical solutions Inaccurate positions for out-of-coverage area - poor ground station coverage and/or geometry in out-of-coverage Detection issues	XPDR: Ground bit not set correctly XPDR: wrong altitudes reported (especially if A/C is on ground) RF: multipath / reflections HUM: Pilot handling errors - switching on/off in air, - altering from Mode A to Mode S and vs XPDR: "P4" issue on transponders (w/o same Mode A code) XPDR: Transponders with address alternation

Fig. 17: False target origins

8.2 Conclusion from False Track Analysis

Different false target types require different detection mechanisms.

If the detection mechanism identifies only false target "candidates" a confirmation could only be achieved using another detection mechanism or by an individual case analysis (ICA). Therefore, the WAM false target analysis is complex and time consuming because usually large amounts of data need to be evaluated.

The development of a false target detection mechanism dedicated for WAM systems (a priori/ a posteriori) needs further attention.

9. Conclusion

The performance of a WAM system is strongly dependent on the environment (geographic, traffic, radio field), the interrogation strategy and operational requirements (e.g. update rate, data latency). In addition to common surveillance system performance requirements WAM systems have specific performance requirements which require either modified or new methods of performance testing and adequate test tools.

The examples of probability of target detection analysis and data latency analysis showed that even if test approaches for these surveillance performance parameters do exist, it is required that a surveillance sensor specific adaptation needs to be identified, implemented and verified in the corresponding test tools.

The current test approaches and tools available are still oriented on the needs of radar performance analysis. Therefore, additional work is required to standardize the test approach also for the new surveillance sensors WAM and ADS-B as well as to implement and qualify test tools for common use.

The preferred solution would be an integrated test suite with similar performance analysis for all different types of surveillance sensors, taking into account their specific characteristics. Furthermore, the sensor specific performance parameters should be considered as well.

The results of this performance analysis shall directly indicate compliance to surveillance performance standards like the EUROCONTROL "Specification for ATM Surveillance System Performance" (ESASSP) [2] or the EUROCONTROL "Generic Surveillance" (GEN-SUR) document currently in consolidation.

Therefore, a significant amount of effort of international harmonization and standardization needs to be carried out in order to set up performance test methods providing comparable results for the new surveillance technologies ADS-B and WAM.

References

[1]	EUROCAE, "Technical Specification for Wide Area Multilateration (WAM) Systems", ED-142, September 2010, pp. 57-67
[2]	EUROCONTROL, "EUROCONTROL Specification for ATM Surveillance System Performance (ESASSP) - SPEC-0147", 30.03.2012, pp. 23-38.
[3]	DFS, "Specification for a Precision Approach Monitoring System", 11.04.2008, pp. 25f.
[4]	EUROCAE, "Safety, Performance and Interoperability requirements document for ADS-B RAD application", ED-161, September 2009, pp. 130-133.
[5]	Stefan Stanzel, „Development of New and Modified Methods for Data Performance Analysis Under Standard Test Conditions of Wide Area Multilateration Systems“, Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, International Radar Symposium (IRS), 20.06.2013
[6]	Stefan Stanzel, „Development of New and Modified Methods for Data Performance Analysis Under Standard Test Conditions of Wide Area Multilateration Systems (main focus: horizontal position accuracy and false target analysis)“, Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation, International Symposium Enhanced Solutions for Aircraft and Vehicle Surveillance Applications (ESAVS), 21.03.2013
[7]	Dr. Andreas Herber, Albert Walberer: „SSR system performance and interference analysis using an event-driven simulation model“, DFS, „TE im Fokus 1/12“, 04.06.2012

Abbreviations

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
ASTERIX	All Purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange
ATD	Along Track Deviation
CDF	Cumulative Distribution Function
DAWC	Direct ADS-B and WAM Comparison
DCV	Detection Coverage Volume
ESASSP	EUROCONTROL Specification for ATM Surveillance System Performance
GEN-SUR	EUROCONTROL "Generic Surveillance" document
HPA	Horizontal Position Accuracy
MLAT	Multilateration
MSSR	Monopulse Secondary Surveillance Radar
NAS	Network Attached Storage
NUC	Navigation Uncertainty Category
PAM-FRA	Precision Arrival Monitor for Frankfurt approach
PCD	Probability of Code Detection
PDF	Probability Density Function
PFD	Probability of False Detection
PoD	Probability of Target Detection
RADNET	Radar Data Network
RF	Radio Frequency
RMS	Root Mean Square
SASS-C	Surveillance Analysis Support System for ATC Centre
SCV	Surveillance Coverage Volume
SSR	Secondary Surveillance Radar
TDOA	Time difference of arrival
ToA	Time of Arrival
WAM	Wide Area Multilateration
XTD	Cross Track Deviation

Analyse der Weitbereichskommunikation für das Arbeitsprinzip „Luftraummanagement 2020“

Andreas Walter (SIS/RUA), Jörg Buxbaum

Vorwort

In einer Masterarbeit an der Hochschule für Ökonomie und Management Stuttgart, die von der DFS betreut und in Zusammenarbeit mit dem Bereich Forschung & Entwicklung durchgeführt wurde, wurden potentielle technische Lösungen zur Unterstützung einer sektorlosen Luftverkehrskontrolle beschrieben und hinsichtlich ihrer Eignung und Kosten untersucht [1]. Das Untersuchungsfeld stellt eine der wichtigsten zu überwindenden technischen Hürden des neuartigen Arbeitsprinzips dar, das im F&E-Bereich der DFS ausgearbeitet wurde und nun vor der V2-Validierung gemäß E-OCVM steht.

Einleitung

Der Arbeitstitel *Luftraummanagement 2020* (LRM2020) steht für ein grundlegend neues Arbeitsprinzip zur Flugverkehrskontrolle. Dieses beruht auf der Abkehr der sektorbezogenen Kontrolle von Flugverkehr hin zu einer flugzeugbezogenen Kontrolle. Mit diesem Arbeitsprinzip erscheint es möglich, durch einen Fluglotsen bis zu sechs Flugzeuge gleichzeitig im (oberen) Luftraum zu kontrollieren (siehe Abbildung 1).

Von LRM2020 werden betriebliche, ökonomische wie kapazitative Vorteile erwartet. Letztere sind zu erwarten, da das Arbeitsprinzip das bisherige Limit (durch Planner und Executive maximal zu kontrollierende Verkehrsmenge pro Sektor) aufgrund der Unabhängigkeit vom Sektorbezug der Verantwortung aufgehoben wird.

Zusätzlich hat das Arbeitsprinzip das Potential, die Lotsenausbildung zu vereinfachen und die Personaleinsatzplanung zu flexibilisieren.

Der primäre Vorteil ergibt sich aus der gleichmäßigen, regelbaren Arbeitsbelastung des Fluglotsen (ATCo, Air Traffic Controller) und einer damit einhergehenden konstant hohen Arbeitsproduktivität. Steigende Verkehrszahlen führen

mit diesem Arbeitsprinzip nicht im gleichen Maße zu einem Aufwuchs an benötigten Lotsenressourcen. Beim herkömmlichen Arbeitsverfahren werden Kapazitätssteigerungen vornehmlich über die Einführung neuer Sektoren vorgenommen, die zusätzlichen Lotsenbedarf bedeuten.

Der Schlüssel zur Umsetzung des Arbeitsprinzips im hochfrequentierten Teil des oberen Luftraums liegt in der weiterzuentwickelnden Lotsenassistentenfunktion des ATM-Systemverbundes. Das vorrangige Ziel dieser Automatisierung ist, einen Konflikt zwischen einem oder mehreren Flugzeugen, der aus der voraussichtlichen Unterschreitung des Sicherheitsabstandes zwischen Luftfahrzeugen erwächst, mit hinreichendem Vorlauf sicher zu errechnen und durch geringfügige, frühzeitige Kurskorrekturen zu vermeiden. ([2]) Dabei ändert sich die Aufgabe des Lotsen vom aktiven zu einem beobachtenden Operateur, der die Informationen und Vorschläge des ATM-Systems aufnimmt, validiert und adäquate Freigaben an die Piloten richtet.

Eine der bislang ungeklärten Fragen hinsichtlich der Umsetzung des Prinzips betrifft die Kommunikation zwischen Pilot und Fluglotse. Hier wird zukünftig erwartet, dass ein Lotse über viele hundert Kilometer Flugstrecke mit der gleichen Cockpitcrew kommuniziert. Diese Problematik wird in der Master Thesis [1] behandelt.

Lotsen-Pilotenkommunikation heute

Die Kommunikation zwischen Pilot und Fluglotse erfolgt zurzeit hauptsächlich durch Sprechfunk mittels VHF für zivile und UHF für militäri-

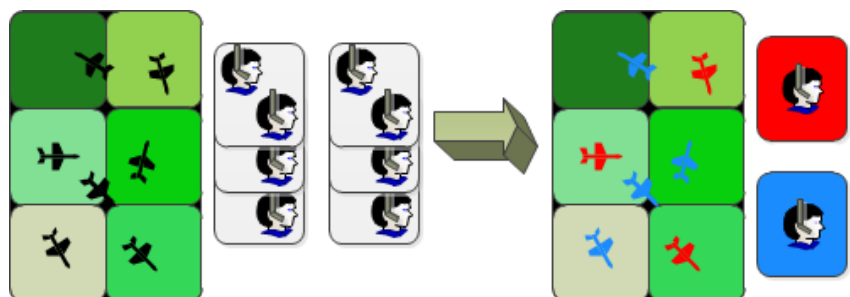


Abb. 1: Vergleich Arbeitsprinzip Konventionell und LRM2020

sche Flugzeuge. Im Center Karlsruhe wurden 2012 Data Link Services (Controller Pilot Data Link Communication, CPDLC) unter Nutzung von VHF Data Link (VDL) Mode 2 eingeführt. Die zugrundeliegende Kommunikationstechnologie ist vereinfacht dargestellt vergleichbar mit SMS für GSM bei Mobiltelefonen.

Die VHF wie auch UHF Kommunikation beruhen auf analoger Modulation. Sie lassen sich technologisch in die 50er Jahre des vergangenen Jahrhunderts einordnen. Für Sprechfunk ist jedem Sektor eine VHF/UHF Frequenz zugeordnet. Diese Frequenz hat einen erlaubten, ortgebundenen Funknutzungsbereich. Der Nutzungsbe-
reich definiert die geographische Fläche, in der die dezidierte Frequenz von Lotsen und Piloten genutzt werden darf, ohne Konflikte mit Nachbarsektoren auszulösen. Frequenzkonflikte entstehen, wenn VHF und UHF Frequenzkanäle wiederverwendet werden, um eine maximale Auslastung der VHF (118 -137 MHz) und UHF (230-329 & 335-400 MHz) Frequenzbänder zu gewährleisten. Jede VHF/UHF-Frequenz in Europa wird vielfach wiederverwendet und ist in einen Frequenzverbund eingebettet. In diesem Frequenzverbund werden Frequenzen im optimalen Fall derart vergeben, dass räumliche Überschneidungen bzw. Überlappungen bei derselben Frequenznutzung von zwei oder mehr Sektoren nicht auftreten.

Eine parallele, identische Frequenznutzung ohne Überlappungskonflikte dient der Kommunikationskanalseparation. Eine Kommunikation zwischen Pilot und Fluglotsen muss ungeteilt für einen Sektor verfügbar sein. Im gegenteiligen Fall, also in einer nicht vorhandenen Separation, würde ein Luftfahrzeug Funksprüche von zwei oder mehr Sektoren empfangen können. Die mögliche doppelte Kontrolle eines Luftfahrzeuges von verschiedenen Lotsen über den gleichen Kommunikationskanal/Frequenz birgt die Gefahr von geteilten Fluglotsenzuständigkeiten und damit Verwirrung des Piloten. Dies stellt ein Sicherheitsrisiko dar, welches bei Überreichweiten der Fall wäre.

Frequency Congestion in Europa

Wie erwähnt erfolgt die Frequenzvergabe Europaweit koordiniert, um Frequenznutzungsüberschneidungen vorzubeugen. Dies wird von Sicherheitsabständen gewährleistet, sogenannten

Guard-Bands. Das VHF-Flugfunk-Frequenzband besitzt 19 MHz Spektrum und kann theoretisch 2280 8.33 KHz breite Kanäle aufnehmen. Im Jahr 2012 waren in Europa aber tatsächlich 12180 Frequenzzuweisungen vergeben.

Das bedeutet, dass eine Frequenz durchschnittlich mehr als fünfmal wiederverwendet wurde. Je öfter eine Frequenz wiederverwendet wird, desto schwieriger gestaltet sich die erneute Integration im Europäischen VHF Verbund. Überlappungen und damit verbundene Konflikte häufen sich. Zum Beispiel erreicht ein Luftfahrzeug im oberen Luftraum in einer Höhe von 45.000 Fuß eine Funkreichweite von 966 km. Um die Reichweite zu verdeutlichen: Die Nutzung der gleichen Frequenz im Prag ACC (Area Control Center) und London ACC führt zu Überlappungskonflikten.

Die häufige Frequenzwiederverwendung und die große optische Funkreichweite von Luftfahrzeugen führt zur der sogenannten „Frequency Congestion“ in Europa. Dieser Begriff beschreibt das Problem, weitere Frequenzen in den Frequenzverbund in Zentraleuropa zu integrieren, ohne die entsprechenden „Guard Bands“ zu verletzen.

Die gleiche Problematik betrifft die Verschiebung einer Frequenz bzw. die Erweiterung des Nutzungsbereiches einer Frequenz. Die Ortsveränderung kollidiert mit Frequenznutzungsbereichen anderer ANSPs. Je größer die Zielkonflikte mit mehreren Parteien ausfallen, desto unwahrscheinlicher ist die Durchsetzung einer Frequenzveränderung.

Auswirkung der Frequency Congestion auf LRM2020

Für LRM2020 wäre die Nutzung einer Frequenz für den gesamten deutschen Luftraum die beste Lösung. Jeder Lotse kontrolliert bis zu sechs Flugzeuge, mit einer deutschlandweiten Frequenznutzung. Damit wird ein Frequenzwechsel innerhalb Deutschlands (oberer Luftraum), wie er bei der Sektorkontrolle üblich ist, abgeschafft. Ebenfalls wäre eine hinreichende Frequenzseparation gewährleistet.

Durch die beschriebene „Frequency Congestion“ in Europa gestaltet sich diese einfache Lösung aber als sehr unwahrscheinlich.

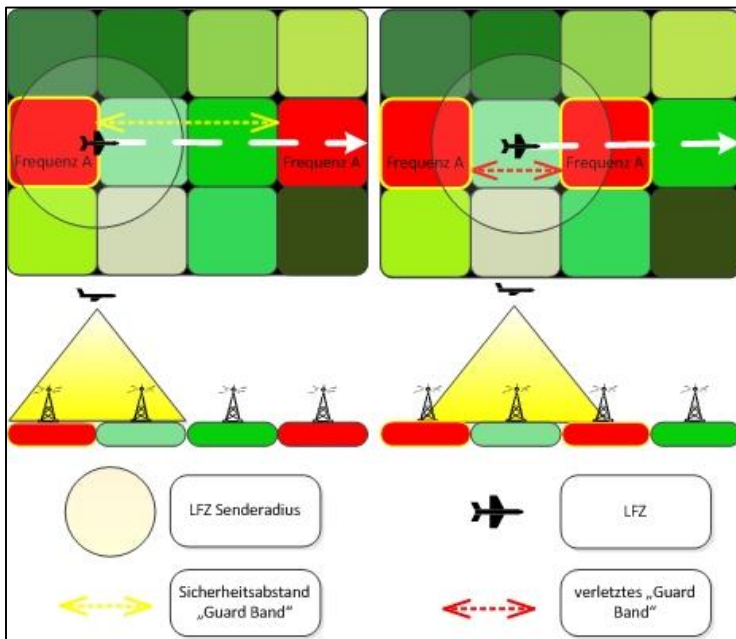


Abb. 2: Prinzipbild Frequenznutzung und "Guard"-Bänder

Abb. 2 veranschaulicht die Frequenznutzungsbe-
reiche anhand von rechteckigen Sektor-
strukturen. Das linke obere Bild veranschaulicht
den optimalen Abstand zweier Sektoren mit der
gleichen Sektorfrequenz A. Der Senderadius des
Luftfahrzeugs überlappt nie beide roten Sektoren
gleichzeitig. Das rechte, obere Bild verdeutlicht
den Überlappungskonflikt bei geringen Abständen
zweier Sektoren mit identischer Frequenz A.
Beide roten Sektoren befinden sich im Sendebereich
des Luftfahrzeuges. Beide Empfangsstationen der
Sektoren leiten Funksprüche an die zu-
ständigen Lotsen weiter. Daraus entstehen u.a.
Zuständigkeitskonflikte zwischen den Lotsen
und dem Luftfahrzeug.

Aufgrund der komplexen Frequenzvergabe im
Europäischen Luftraum bestand die Aufgabe
der Masterthesis darin, nach anderen Kommuni-
kationstechnologien zu forschen, die den be-
schriebenen technischen und betrieblichen Um-
wälzungen sowie den ökonomischen Anforderun-
gen der DFS genügen. Dabei bieten digitale
Technologien den Vorteil, durch Zeitmultiplex-
und fortschrittlichen Modulationsarten prinzipiell
eine höhere Datenübertragung bei geringerer
Bandbreite zu ermöglichen.

Technische Optionen

Die technischen Optionen teilen sich grundsätz-
lich in terrestrische und satellitengestützte Sys-

teme auf. Die terrestrischen Optionen
gruppieren sich in digitale wie auch ana-
loge Kommunikationstechnologien.

Im Folgenden werden die Kandidaten für
satellitengestützte Systeme in Tabelle 1
aufgeführt.

	System	Orbit	Nutzer
S1	IRIDIUM	LEO	US Army, Hilfsorga- nisationen, Privat, weltweit
S2	INMARSAT	GEO	Vornehmlich Hilfsor- ganisationen, Unter- nehmen, Privat, weltweit
S3	IRIS ANTA- RES	GEO	ATS für ECAC- Region

Tab. 1: Betrachtete satellitengestützte Sys-
teme

Jedes hier untersuchte Satellitensystem besteht
aus vier abzugrenzenden Einheiten, wie auch in
Abbildung 3 illustriert:

Das Weitverkehrsnetz (**P**ublic **S**witched **T**elepho-
ne **N**etwork), die Erdstation (**G**round **E**arthsta-
tion), das Satellitennetzwerk und die mobilen Nut-
zer (**A**ircraft **E**arth **S**tation). Der augenfälligste
Unterschied besteht aus der Höhe des Orbits und
der damit verbundenen Anzahl von Satelliten,
um eine definierte Abdeckung der Erdober-

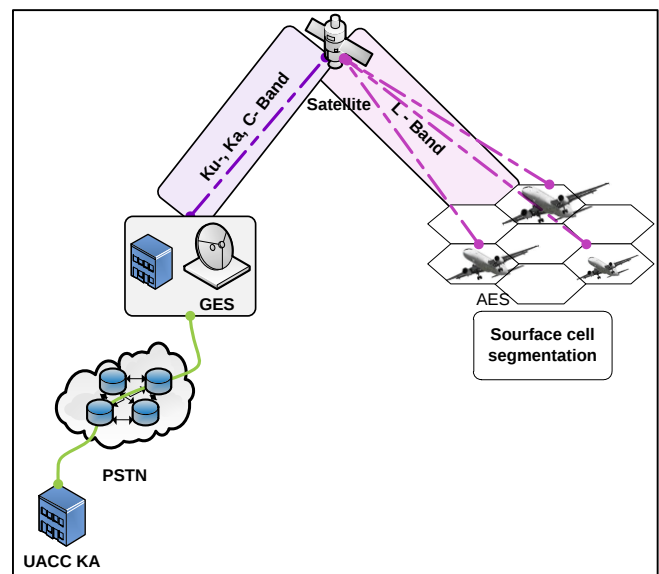


Abb. 3: Prinzipbild Anbindung an Satellitenkommunikation

fläche zu erreichen. Dabei benötigten geostationäre Satelliten, welche die Erde in einer Höhe von circa. 36.000Km umrunden, drei Satelliten um den gesamten Globus abzudecken. Ein Beispiel dafür ist das INMARSAT Satellitennetzwerk. Das zukünftige IRIS ANTARES System besteht nur aus einem aktiven Satelliten (mit einer orbital geparkten Redundanz). Dieses System wird durch die Europäische Weltraumorganisation (ESA) entwickelt und konzentriert sich auf die Kommunikation von Flugverkehrsdiensten (Air Traffic Services, ATS) in Europa. Das IRIDIUM Netzwerk ist ein LEO Satellitensystem, mit 66 Satelliten. Diese umrunden die Erde in einer Höhe von 790 km. Je größer die Anzahl der Satelliten ist, desto höher fallen die Kosten des Systemaufbaus, sowie die dessen Inbetriebhaltung aus.

Folgende digitale terrestrische Optionen wurden geprüft:

Die hier beschriebenen digitalterrestrischen Systeme bauen sich, unabhängig ihrer zugrundeliegenden Technologie, aus dem Weitverkehrsnetz, dem Backbonenetzwerk mit der Schaltzentrale und den abgesetzten terrestrischen Send- und Empfangstürmen auf. Die Send- und Empfangstürme bilden mit einer Zellstruktur ein Kommunikationsnetzwerk. Die Zellgröße variiert je nach Nutzerdichte/ Datenmengenaufgebot. Abb. 4 zeigt einen schematischen Aufbau des zukünftigen zellenbasierten Netzwerkes, an das das

	Sys-tem	Technologie	Nutzer
T1	LDACS I	LTE-ähnlich	ATS
T2	LDACS II	GSM-ähnlich	ATS
T3	DA2GC	LTE auf Airliner konfektio-niert	APC
T4	CPDLC	Aeronautisches Telekom-munikations-Netzwerk (ATN)	ATS und AOC

Center Karlsruhe (UACC KA) angeschlossen ist.

Tab. 2: Digitale terrestrische Optionen

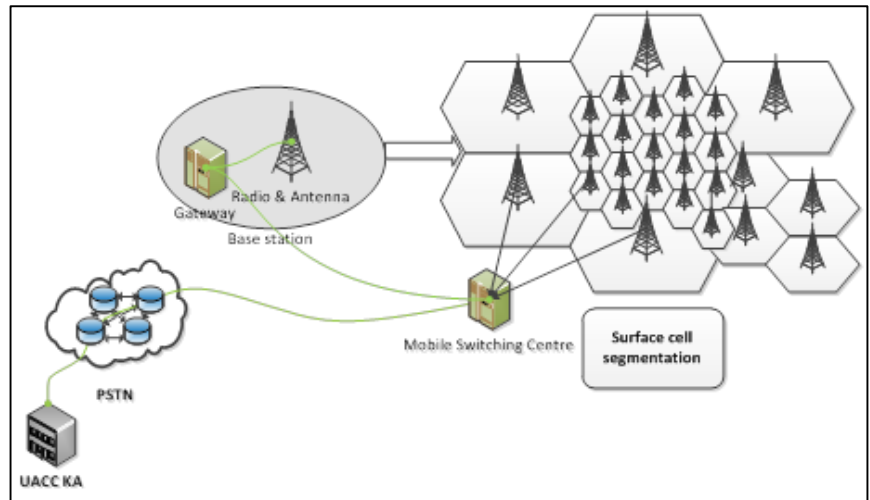


Abb. 4: Prinzipbild Anbindung an die Zellstruktur von Mobilfunk

Die Unterschiede der in Tabelle 2 aufgeführten digital terrestrischen Kommunikationssysteme entstehen vornehmlich aus dem technologischen Übertragungsstandard und der damit verbundenen maximalen Datenübertragungsgeschwindigkeit. LDACS I & II sind von der ICAO ausgewählte zukünftige digitale Übertragungsstandards für die ATS-Nutzung. DA2GC (Direct Air to Ground Communication) soll primär den Passagieren an Bord eines Luftfahrzeugs die Möglichkeit zu Hochgeschwindigkeitsdatenübertragungen bereitstellen¹. Gleichwohl erscheint eine ATS-Nutzung zum jetzigen Zeitpunkt als möglich. CPDLC hingegen ist ein Kommunikationsstandard aus den 1990'er Jahren. Dieser wird von ATS und AOC genutzt.

Option		Technologie	Nutzer
A1	VHF „Advanced“	Analoger VHF Funk	ATS
A2	VHF „Castling“	Analoger VHF Funk	ATS

Tab. 3: Betrachtete analoge Optionen

Abschließend wurden Erneuerungen der VHF Architektur geprüft, die unter folgenden Arbeitstiteln (siehe auch Tabelle 3) aufgelistet sind.

„VHF advanced“ (Option A1) beschreibt eine mögliche Lösung, in der das sektorlose Betriebskonzeptes LRM2020 der heutigen sektorbezoge-

¹ DA2GC ist ein derzeit in Fachgremien diskutierter Vorschlag von Alcatel-Lucent für einen neuen digitalen Kommunikationsstandard

nen Infrastruktur „übergestülpt“ wird. Eine technische Realisierung ist nicht ohne weiteres möglich. Kernprobleme bestehen aus dem Wiederherstellen der Kommunikationskanalseparation bzw. der Blockierungsfreiheit von Sende und Empfangseinrichtungen. Mit der heutigen VHF Nutzung kommuniziert der Executive-Lotse über die dezidierte Frequenz des ihm zugeordneten Sektors mit dem Luftfahrzeug. Dieser Kommunikationskanal steht nur diesem Lotsen zur Verfügung. Das „VHF advanced“ Konzept sieht eine Abkehr der alleinigen Nutzung einer Frequenz durch einen Lotsen vor, womit die Kommunikationskanalseparation nicht mehr vorhanden wäre.

1. Mehrere Lotsen greifen auf eine Sendestelle zu. Belegte Sender verhindern eine sofortige Aussendung der Nachricht. Daraus folgt, dass den Lotsen die Senderkapazität nacheinander zugeordnet werden muss.
2. Funksprüche der Piloten werden zu allen Lotsen, deren zugeordnete Luftfahrzeuge sich in Reichweite des Empfängers befinden, weiter geleitet. Da sich nach dem LRM2020 Prinzip bis zu sechs Luftfahrzeuge in sechs unterschiedlichen Empfangssektoren befinden können und damit sechs Empfangskanäle parallel zum Lotsen geschaltet sind, ist der Lotse mit Funkverkehr aus sechs Empfängerstandorten belastet. Da der Funkverkehr Funksprüche anderer, nicht dem zuständigen Lotsen zugeordneter Luftfahrzeuge beinhalten kann, empfängt der Lotse einen multiplen Sprachfluss, aus dem er die Nachrichten seiner sechs zugeordneten Luftfahrzeuge herauslesen muss. Das ist bei starkem Verkehrsaufkommen unmöglich. Daraus folgt, dass Funksprüche von Luftfahrzeugen ohne Zuständigkeit zuvor aus dem Sprachfluss herausgefiltert werden müssen.

Problemlösung zu 1. wäre, „belegte“ Sender mittels Sprachpuffer sequenziell Funksprüche aussenden zu lassen. Abb. 5. zeigt drei Lotsen, deren Funksprüche in einem Sprachpuffer gespeichert sind und sequenziell ausgesendet werden. Die farbliche Hinterlegung des Lotsen korrespondiert mit der Koordinierung des zugehörigen Luftfahrzeugs.

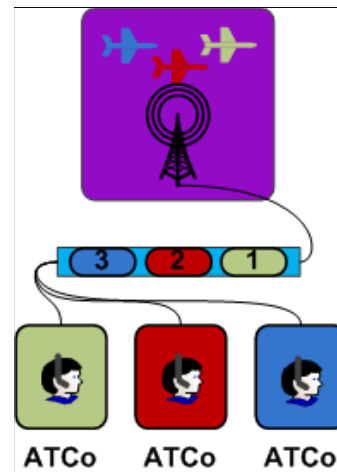


Abb. 5: Sprachpuffereinsatz

Problemlösung zu 2.: Eine neue Peiler-Infrastruktur korreliert die VHF-Aussendungen der Luftfahrzeuge mit Radardaten und identifiziert das funkende Luftfahrzeug. Funksprüche werden nur dem Lotsen zugeschaltet, der das funkende Luftfahrzeug kontrolliert (Abb. 6, grün hinterlegter Lotse).

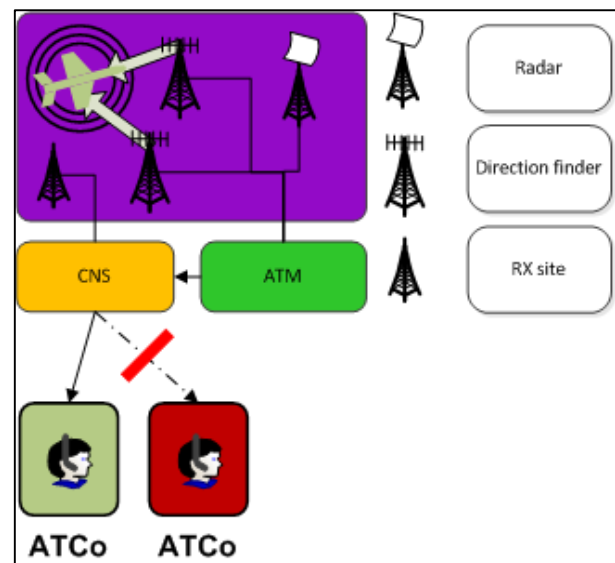


Abb. 6: Peilereinsatz für Luftfahrzeug-Erkennung

Einerseits könnte VHF „advanced“ LRM2020 ermöglichen. Die Neueinrüstung mit neuem Bordequipment im Luftfahrzeug ist entbehrlich, Frequenzänderungen und damit verbundene Absprachen mit benachbarten ANSPs bzw. zuständigen Behörden entfallen. Andererseits kann eine Teilung der Kanalkapazität aufgrund des Sprachpuffers der Sendestellen zu Aussendeverzögerungen führen. Das letztere ist ein nicht zu unterschätzendes Sicherheitsrisiko. Allerdings

ist eine vollständige Neuinstallation der Peilerarchitektur notwendig, was einen nicht zu unterschätzenden monetären Aufwand bedeutet.

- VHF „castling“ (Option A2 aus Tabelle 3) könnte nach folgendem Prinzip arbeiten:
- Durch geschickte Frequenzverhandlung des Frequenzmanagements der DFS mit den Institutionen (Behörde oder Unternehmen) der zuständigen ANSPs wird die Nutzung von 20 Frequenzen für den gesamten oberen deutschen Luftraum erzielt. Dabei werden nicht mehr benötigte Frequenzen des Centers Karlsruhe gegen Frequenzen mit deutschlandweiter Nutzungsberechtigung getauscht/rochiert. Derzeit sind 45 VHF Frequenzen in Karlsruhe im Betrieb. 20 Frequenzen sollen für LRM2020 mit deutschlandweiter Verfügbarkeit reserviert bleiben, somit stünden 25 Frequenzen als Verhandlungsmasse zur Verfügung. Daraus resultiert eine maximale Anzahl von gleichzeitig zu kontrollierenden Flugzeugen von $20 \times 6 = 120$ für das Center Karlsruhe.
- Der Kontakt zum Luftfahrzeug soll durch den Sender mit der kürzesten Entfernung dazu erfolgen. Die Auswahl erfolgt über das Ortungs-

system der DFS (Radar etc.), welches dem Kommunikationssystem die Koordinaten des Luftfahrzeugs übergibt. Das Kommunikationssystem (CNS) wählt den nächsten Sendeturm aus. Abb. 7 veranschaulicht die Frequenzstruktur im Luftraum der DFS, welcher beispielhaft aus vier rechteckigen Sektoren besteht. Eine Frequenz ist für alle Sektoren nutzbar, daher die hellgrüne Farbgebung der vier Quadranten. Jeder Sektor beinhaltet einen Empfangs und Sendeturm. Diese wurden der Übersicht halber zu einem Sende/Empfangspaar zusammengefasst. Der Kontakt zum Luftfahrzeug erfolgt über den nächsten Funkturm. Der Sprachfluss zum Lotsen über das Multiplexer-Netzwerk wurde rot hervorgehoben. Eine Verschmelzung von ATM- und CNS-Systemen stellt hier ein Novum in der Systemarchitektur dar.

Benchmark

Die zukünftige Kommunikationstechnologie muss ihre technologische Machbarkeit sowie ihre Wirtschaftlichkeit beweisen. Daher wurden die im vorigen Abschnitt genannte Technologien einem technologischen und wirtschaftlichen Benchmark [1] unterzogen. Die verschiedenen Technologien wurde mittels der strengen Regularien für ATS durch das „Concepts of Communication Requirement“ (COCR V2) aus dem Jahr 2009 geprüft, woraus sich der technologische Anteil des Benchmarks ergibt.

Da das COCR V2 Systemanforderungen für zukünftige analoge als auch digitale Kommunikationstechnologien in Text- als auch in Sprachform empfiehlt, stellt es das Ausschluss-Kriterium der zur prüfenden Technologie dar. Dabei teilen sich die Anforderungen in zwei Phasen auf. Phase 1 reicht von 2009 bis 2019, Phase 2 beginnt ab dem Jahr 2020 mit verschärften Randbedingungen für bspw. Delay, Datenintegrität, Datenvolumen oder maximale Anzahl zu verwaltender Luftfahrzeuge durch einen Funkturm. Die Bewertung bezog sowohl technologische, wie auch wirtschaftliche Aspekte ein. Jedoch wurde der wirtschaftliche Teil des Benchmarks auf einen Vergleich der technischen Anschaffungskosten ohne operative Kosten reduziert. In folgendem Kapitel werden die Ergebnisse des Benchmarks zusammengefasst.

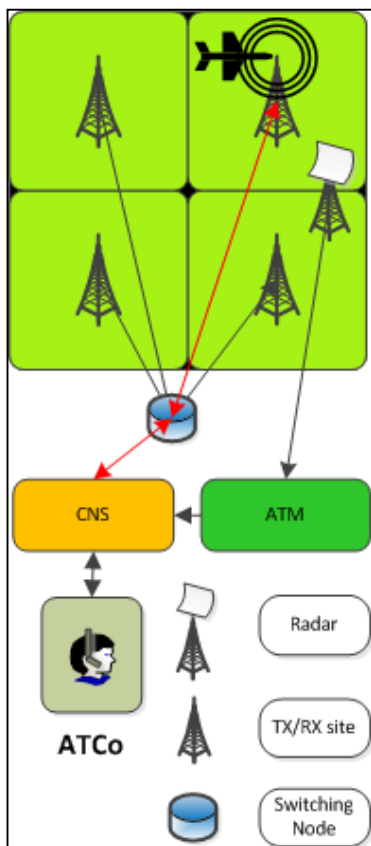


Abb. 7: VHF "castling" Verfahrensweise

Ergebnis

Die Bewertung der neun Kommunikationskandidaten mit COCR V2 und der Betrachtung der Investitionskosten brachte folgendes Ergebnis (siehe Tabelle 4). Vier Kandidaten mit digitaler Übertragungstechnologie fielen durch. Die Ablehnung resultierte aus mangelnder technologischer Leistungsfähigkeit, aber auch am Zweifel der Wirtschaftlichkeit und verbundenen zukünftigen Fortbestand des Unternehmens.

Dazu gehört auch CPDLC, dessen technische Leistungsfähigkeit und internationale Standardisierung aus den 90er Jahren stammt, als Data Link Medium in Karlsruhe aber erst 2012 eingeführt wurde.

	Technologie	Ablehnungsgrund
T4	CPDLC	Technologische Anforderung genügt nicht
T2	LDACS II	Wird seit 2011 nicht weiter entwickelt, Technologie veraltet und genügt nicht COCR. V2.
S1	IRIDIUM	Wirtschaftliches Überleben des Konzerns fraglich, da nicht kostendeckend. Unterhaltung von 66 Satelliten nicht wirtschaftlich.
S2	INMARSAT	Technologische Anforderung genügt nicht

Tab. 4: Abgelehnte Technologie

Auf Grundlage der vorliegenden Informationen in Verbindung mit den in diesem Kapitel zusammengefassten Benchmarkergebnissen, favorisiert der Autor der Arbeit die in Tabelle 5 dargestellten Optionen in folgender Reihenfolge.

VHF „Castling“ sowie VHF „Advanced“ benötigen keine Neueinrüstung im Flugzeug und sind weltweit einsetzbare Konzepte, falls LRM2020 als Arbeitsprinzip Schule macht. Zudem gehört VHF „Castling“ zu den günstigeren Optionen.

DA2GC bietet den Fluggesellschaften einen besonderen Mehrwert, da die neue Infrastruktur nicht primär Passenger Communication (APC) sondern ebenfalls der Luftverkehrskontrolle (ATS) dienen könnte. Technische Herausforderungen

in Bezug auf Prioritätenfestlegung von ATS gegenüber APC sind allerdings noch zu meistern. Durch das Zusatzgeschäft der Bereitstellung von Internet „on Board“, welches DA2GC den Luftfahrtgesellschaften bietet, könnte die Überzeugung zur Implementierung bei Letzteren hoch sein.

	Technologie	Status und Ausblick der Entwicklung
S3	IRIS ANTARES	In Entwicklung und Fertigstellung voraussichtlich 2018-2020
T1	LDACS I	In Entwicklung von DLR, Fertigstellung nicht veröffentlicht.
T3	DA2GC	Fertigstellung ~ 2018, weitere Validierung der Technologie erforderlich
A1	VHF „Advanced“	Technologie und Machbarkeit muss validiert werden.
A2	VHF „Castling“	Technologie und Machbarkeit muss validiert werden.

Tab. 5: Erfolgreiche Kandidaten

LDACS I ist eine von der ICAO abgesegnete neue Generation von digitaler ATS Kommunikation mit dem geringsten Anschaffungspreis. Ein Einführungsdatum steht nicht fest.

„VHF“ Advanced umgeht die Absprache von Frequenzzuordnungen von VHF „Castling“, jedoch muss eine neue Peilerinfrastruktur errichtet werden. Zusätzlich ist das Konzept empfindlich gegenüber hohem Sprechfunkaufkommen, das zeitkritische Verzögerungen in der Kommunikation zwischen Pilot und Lotse verursachen könnte.

IRIS Antares wird im Regelfall nur Textkommunikation zulassen, eine Kostenabschätzung für das Jahr 2020 wurde für die DFS nicht durchgeführt, da sie abhängig von der Verkehrsmenge ist. Zusätzlich muss neues Bordequipment installiert werden. Da IRIS ANTARES für den ATC-Anwendungsfall entwickelt wird und noch in Entwicklung ist, wird es weiterhin in Tabelle 5 aufgeführt. Es sollte jedoch zu einem späteren Zeitpunkt nochmal betrachtet werden.

	System	Geschätzte turkosten	Infrastruk-
A2	VHF „Castling“	8 Mio €	
T3	DA2GC	12,6 Mio €	
T1	LDACS I	7,3 Mio €	
A1	VHF „Advanced“	10,42 Mio €	
S3	IRIS Antares	Mit durchschnittlichen Nutzungskosten von 5,35 € pro Flug.	

Tab.6: Investitionskosten der erfolgreichen Kandidaten

Die geschätzten Infrastrukturkosten wurden anhand von Erfahrungswerten des Produktmanagements Funk und Sprachkommunikation (VCS) geschätzt (siehe Tabelle 6). Die Kosten eines digitalen Funkzellensystems wurden durch die benötigten Anzahl der Funkzellen zur Abdeckung Deutschlands hochgerechnet, inklusive der Integration des Kernsystems. Aufgrund fehlender bzw. nichtöffentlicher Quellen mussten teilweise Kosten geschätzt werden. Abschließend ist festzustellen, dass der Wunsch nach der Integration einer neuen Kommunikationstechnologie bei den meisten vorgestellten Optionen mit hohen Hürden beaufschlagt ist. Jede Kommunikationstechnologie muss durch die ICAO genehmigt, von Luftfahrtgesellschaften im Flugzeug integriert und von ANSPs mit einer Funkinfrastruktur hinterlegt werden. Zudem ist eine Nachrüstung (Retrofit) von neuen Technologie in Flugzeugen kostspielig. Die Vorlaufzeit zur Integration neuer Bordausrüstung beträgt durchschnittlich sieben Jahre.

Ausblick

Als Ergebnis der Arbeit [1] ist festzustellen, dass derzeit innerhalb der betrachteten Lösungsoptionen keine unmittelbar verwendbare technische Möglichkeit besteht, um die skizzierten Herausforderungen zeit- und kostengerecht zu bewältigen.

In einem Folgeschritt besteht die Aufgabe, die Anforderungen an die Kommunikation im Arbeitsprinzip LRM2020 zu konkretisieren, was die Häufigkeit, den Inhalt und die Zeitkritikalität auszutauschender Informationen zwischen Boden und Bord betrifft. Parallel steht nun an, eine ab-

zusehende neue Generation an Kommunikationsmittel (prototypisch) zu definieren und in die erwähnten V2-Validierungen einzuflechten. Beides ist innerhalb des Förder- und Forschungsprojekts TeFiS vorgesehen, das unter der Federführung der DFS voraussichtlich Anfang 2014 starten wird.

Abkürzungen

ACC	Area Control Center
AES	Aircraft Earth Station
ANSP	Air Navigation Service Provider
ANTARES	AeroNauTicAl REsources Satellite based
AOC	Airline Operational Communication
APC	Airline Passenger Communications
ATCo	Air Traffic Controller
ATM	Air Traffic Management
ATS	Air Traffic Services
CNS	Communication Navigation and Surveillance
COCR V2	Concept of Communication Requirements Volume 2
CPDLC	Controller Pilot Data Link Communication
DA2GC	Direct Air to Ground Communication
EBG	Einsatzberechtigungsgruppe
ECAC	European Civil Aviation Conference
E-OCVM	European Operational Concept Validation Methodology
ESA	European Space Agency
FL	Flight Level
GEO	Geostationary Earth Orbit
GES	Gound Earthstation
GSM	Global System for Mobile Communication
ICAO	International Civil Aviation Organization
IRIS	Programmbezeichnung der ESA für ATS Satellitenkommunikation.
LDACS	L-band Digital Aeronautical Communications System
LEO	Low Earth Orbit
LTE	Long Term Evolution
QAM	Quadratur Amplituden Modulation

SMS	Short Message Service
TeFiS	Technologie für Flugverkehrsmanagement in großen Strukturen
UACC KA	Upper Area Control Center Karlsruhe
UHF	Ultra high frequency
VCS	Voice Communication System
VDL	Very High Frequency Data Link
VHF	Very High Frequency

Referenzen

[1]	Andreas Walter: Cost Benefit Analysis of Wide Range Communication for Air Space Management 2020, Master Thesis to attain the degree of Master of Business Administration (MBA), Hochschule für Ökonomie & Management, Karlsruhe, 15. April 2013
-----	---

Neue ATM-Simulatoren im Forschungszentrum für die gemeinsame Nutzung durch Center Langen und F&E

Dr. Andreas Herber, Dr. Ralph Leemüller, Uwe Micksch, Ralf Schlingmann (CC/LT)

Einleitung

Im Frühjahr 2013 wurde die erste Phase der Infrastrukturarbeiten für einen neuen, äußerst flexiblen ATM-Simulator im Forschungszentrum abgeschlossen. Im Forschungszentrum wurden in einem umgestalteten Raum acht neue Lotsenarbeitsplätze mit NEWSIM-Funktionalität in Betrieb genommen. Bis Sommer 2013 wurde dann in einer weiteren Phase die Infrastruktur erweitert, um die Lotsenausbildung (preOJT Langen) unter PSS-Bedingungen starten zu können. Danach folgte auch die Erneuerung der Systeme im „alten“ AFS-Raum. Die neue Simulations-Infrastruktur wird nun gemeinsam vom Bereich Center und F&E genutzt und vom Simulatorzentrum betrieben. Novum ist, dass hier schon P2 Hard- und Software eingesetzt wird!

1. Ausgangssituation

Die innerbetriebliche Ausbildung zum Fluglotsen (ATCO, Air Traffic Controller) gliedert sich zunächst in eine gemeinsame Basisausbildung an der DFS-Akademie, dann differenzieren sich die Schwerpunkte je nach späterem Einsatzbereich (unterer Luftraum, oberer Luftraum, Tower). Die Ausbildung ist inzwischen streng normiert und hoch selektiv, gemäß dem ICAO *Common Core Content (CCC) compliant training package*. Dieses wird detailliert beschrieben im Annex 7 der

Eurocontrol specification for the ATCO Common Core Content Initial Training [1]. Daneben ist Simulator-Training wesentlicher Teil des Praxis-Trainings. Nach erfolgreichem Simulatortraining an den NEWSIMs der DFS-Akademie erfolgt das operationelle Training mit einer verlängerten Vorbereitungsphase an den jeweiligen Niederlassungen. Dieses neue Ausbildungskonzept erforderte für die DFS einen Trainingssimulator auch für das Center Mitte.

Weiterhin stand die DFS am Ende des letzten Jahrzehnts vor zwei großen Herausforderungen:

- Aufgrund des prognostizierten Verkehrsanstiegs in den Jahren 2006 - 2011 sowie altersbedingten Abgängen im Betrieb musste die Zahl der Flugverkehrslotsen (Lotsenauszubildende sowie „Ready Entry“-Lotsen mit abgeschlossener Ausbildung), die im Rahmen des Berechtigungserwerbs an dezentralen Simulationen teilnehmen musste, drastisch erhöht werden.
- Weiterhin wurde die Einführung von PSS (Paperless Strip System) an den Center-Standorten Bremen, München und Langen sowie die Einführung des Very advanced Systems VAFORIT in Karlsruhe vorangetrieben und umgesetzt. Damit mussten die Simulationskapazitäten erweitert und an die neuen Systemfunktionalitäten der Flugsicherungssysteme (ATS) angepasst werden.



Abb. 1: Die neuen Lotsenarbeitsplätze im Raum 0.014 des Forschungszentrums

2. Realisierung

Um der oben geschilderten Situation gerecht zu werden, wurde die Lotsenausbildung gestrafft mit dem Ziel, die "Neu-Lotsen" früh an die Lufträume und ATS-Systeme heranzuführen, an denen sie später auch eingesetzt werden.

Dies war die Grundlage von Simulatorprojekten an den Centerstandorten. Erstmals sollte damit der Weg gegangen werden, die Lotsen an ihr originales Zielsystem heranzuführen, was bedeutete, die neuen ATS-Systeme als Simulatoren zu nutzen. Die Lösung bestand im Aufbau von P1/ATCAS und P1/VAFORIT-Systemen, die durch den Realzeitsimulator NEWSIM "stimuliert" werden. Dabei wird dem ATS-System durch den NEWSIM ein synthetisches Umfeld von Radardaten, Flugplandaten sowie Nachbar-Flugsicherungen geliefert (s. z.B. [2], [3]). Die Kopplung "NEWSIM als Stimulator" mit einem „quasi-operationellen ATS System“¹ in einer Simulationsumgebung wird als SIMSYS bezeichnet.

2.1 Das Projekt

Diese Simulator-Arbeiten fanden in Langen im Rahmen des Projekts „Neue Simulatoren CC Langen“ (OT.127) des DFS-Bereichs Center statt. Das zu realisierende System umfaßt ein SIMSYS-System mit 4 Strings und insgesamt 20 Lotsen-Arbeitsplätzen sowie 16 Arbeitsplätzen für Simulationspiloten (s. Abb. 2). Die Projektleitung liegt beim Bereich Center, Teilaufgaben werden auch durch das Simulatorzentrum im Bereich F&E sowie den Bereich „Technischer Ausbau“, aber auch durch Zuarbeit, Unterstützung und Sonderaufgaben anderer Organisationseinheiten innerhalb der DFS geleistet.

Aufgrund der eingeschränkten Raumkapazitäten wurde beschlossen, diesen neuen Simulator nicht in der Niederlassung Langen, son-

dern im Forschungszentrum aufzubauen. Der Aufbau erfolgte in zwei Räumen mit 8 CWP (Raum 0.014) und 12 CWP (Raum 0.001). Es können damit räumlich getrennte Simulationen parallel stattfinden. Eine Nutzung beider Räume für eine Simulationskampagne ist und war aber jederzeit gewährleistet.

Das Besondere an diesem neuen ATM-Simulator ist, dass er sowohl für Trainings- wie auch für Forschungszwecke genutzt werden kann. Er kann dafür in unterschiedlichen Konfigurationen genutzt werden (s.u.), wobei bei Bedarf weitere Forschungskomponenten eingebunden werden können.

a) Konfiguration SIMSYS

Ein SIMSYS (s. Abb. 3, schwarze und rote Teile) ist eine Simulationseinrichtung, die aus einem ATM-System-String (rot) und einem NEWSIM-Treiber (schwarz) nebst den Standard-HMI des simulierten ATM-Systems (grün) besteht. In einem SIMSYS können individuelle Szenarien durchlaufen und beeinflusst werden. Ein SIMSYS wird in der Betriebsart Stimulation genutzt (s. 2.2).

Ein ATM-System-String besteht aus einem Satz von ATS-Servern (P2/ATCAS mit PSS und den diversen umgebenden Systemen wie AMAN, STCA, PHOENIX etc.), die mit einer oder mehre-

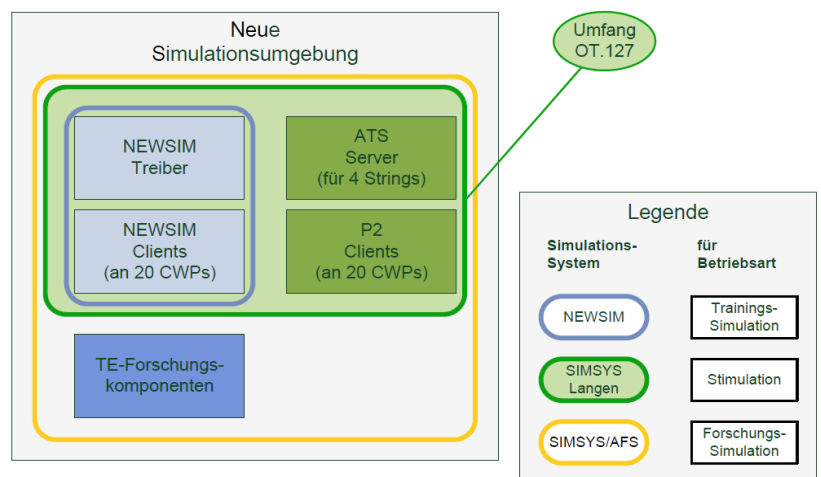


Abb. 2: Aufbau der Simulationsumgebung und Betriebsarten

¹ „quasi-operationelles ATS-System“: Eine „Kopie“ des operativen ATS-Systems in Minimalausführung (z.B. einkanalig/ohne Redundanzen, nur die erforderlichen Komponenten, geringe Anzahl CWP), welche nicht operativ betrieben wird.

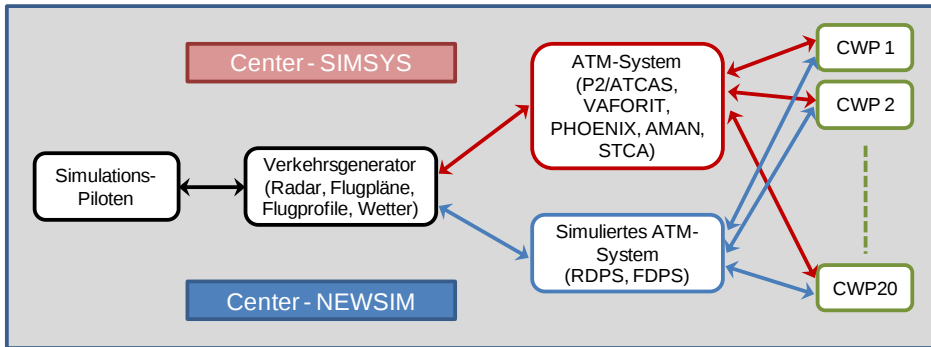


Abb. 3: Begriffserklärung der Konfigurationen

ren Arbeitsplätzen (CWPs) verschaltet sind. Es können mehrere solcher Strings unabhängig voneinander gestartet und betrieben werden.

b) Konfiguration NEWSIM

Der Trainingssimulator NEWSIM (s. Abb. 3, schwarze und blaue Teile) besteht aus einem NEWSIM-Treiber (schwarz) und dem simulierten ATM-System (blau) nebst den Standard-NEWSIM-HMI an den einzelnen Arbeitsplätzen (grün). Ein NEWSIM wird dabei in der Betriebsart Trainingssimulation genutzt. Das simulierte ATM-System im Forschungszentrum ist um spezielle Forschungskomponenten erweitert, die bei Bedarf in Simulationen genutzt werden können.

In beiden Konfigurationen werden dieselben CWP-Monitorkomponenten verwendet. Diese werden über Videoswitcher auf die jeweilige Client-Hardware (P2/PSS oder NEWSIM) zentral umgeschaltet.

2.2 Die Simulator-Betriebsarten

Der SIMSYS/AFS lässt sich in drei verschiedenen Betriebsarten nutzen:

- In der Betriebsart Stimulation werden die ATS-Server eines Strings vom NEWSIM-Treiber stimuliert. Die in den ATS-Servern verarbeiteten Informationen werden an die ATS Clients übertragen und an den Monitoren der Arbeitsplätze (SDD, PSS) dargestellt.
- In der Betriebsart Simulation werden die NEWSIM-Clients mit allen Informationen direkt vom NEWSIM-Treiber versorgt. Die Monitore eines Arbeitsplatzes sind an den NEWSIM-Client angeschlossen und stellen die Daten der simulierten Systeme dar.
- In der Betriebsart Forschungssimulation wer-

den zusätzlich spezielle Forschungskomponenten verwendet. Beispiele sind Display- oder Lotsenunterstützungsprototypen, Aufzeichnungs- und Auswertesysteme, Werkzeuge zur Erfassung und Analyse von Mensch-Maschine-Interaktion, Kopplungsmöglichkeiten zu anderen Simulatoren (z.B. Tower-Simulator),

Einbindung eines AMANs oder verschiedener AMAN-Prototypen.

2.3 Die Flexibilität

Die große Stärke der realisierten Simulator-Infrastruktur ist deren Flexibilität bei der Nutzung fast beliebiger Betriebsarten der einzelnen Komponenten. So ist es möglich, einzelne Arbeitsplatzgruppen in unterschiedlichen Betriebsarten parallel zu nutzen.

Abbildung 4 zeigt zwei Beispiele für mögliche Betriebsarten: Im oberen Fall werden die Systeme in Raum 001 zu drei getrennten Strings „geschaltet“ und ermöglichen damit drei getrennte kleinere Simulationen (Betrieb „Stimulation“) mit je 4 CWPs, in Raum 014 findet eine weitere Übung im Betrieb „Stimulation“ statt sowie eine

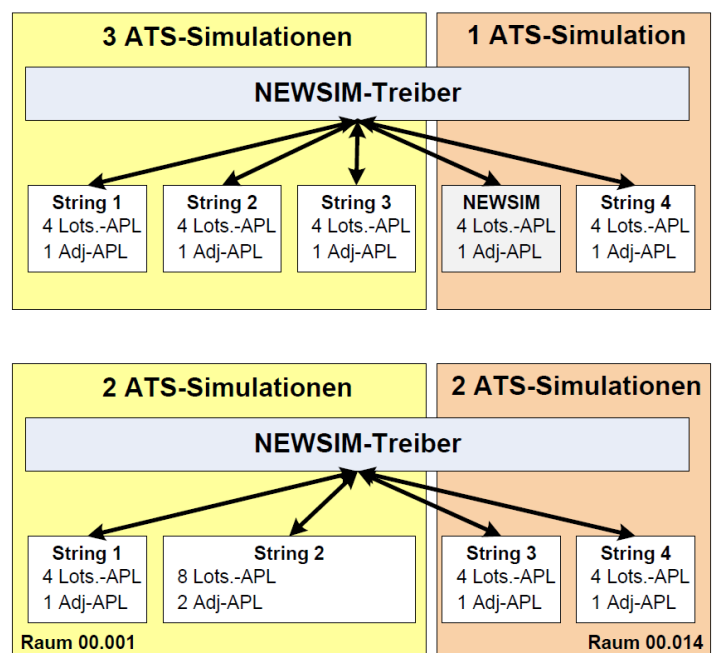


Abb. 4: Mögliche Betriebsarten (Beispiel)

„klassische“ Simulation mit NEWSIM (beides mit jeweils 4 CWP's). Im unteren Fall finden in beiden Räumen nur Simulationen im Betrieb „Simulation“ statt, wobei der eine String diesmal größer mit 8 CWP's ausgestattet ist.

Durch eine praktisch beliebige Zuordnung von einzelnen Simulatorkomponenten zu jeweiligen ATS Strings oder NEWSIMs in virtuellen Subnetzen kann das System extrem flexibel eingesetzt werden.

Erwähnenswert ist, dass hier ein Simulator/SIMSYS-System „state of the art“ aufgebaut wurde – angefangen von der Nutzung von P2 Software und Hardware, Klimatisierung der Serverschränke mit Kaltgang-Einhausung, die die Energie-Effizienz deutlich erhöht, über die bereits geschilderte flexible Netzwerktopologie mit virtuellen LANs bis hin zum einfachen und wartungsfreundlichen Aufbau der CWP-Konsolen, einer DFS-Eigenentwicklung des Bereichs „Mechanische Fertigung“, siehe Abbildung 5.

Insgesamt stellt das System durch die gemeinsame Nutzung als Trainings- und Forschungssimulator eine Herausforderung an die Nutzungsplanung und Simulationsvorbereitung dar. Es gilt hier, die für den Forschungsbetrieb notwendige Flexibilität mit der für den Trainingsbetrieb notwendigen stabilen Umgebung und unter Berücksichtigung kurzer Umrüstzeiten zu vereinen.

2.4 Die Simulator-Nutzung

Der Ausbildungsbetrieb am neuen SIMSYS/AFS liegt im Bereich Center Langen. Die Simulationssysteme sollen hauptsächlich verwendet werden für:

- den Berechtigungserwerb: das Simulationssystem SIMSYS/AFS wird z.B. genutzt zum Training von Lufträumen und den entsprechenden Verfahren, zum Pre-OJT, zum individuellen Training, welches in Abhängigkeit des Trainingsfortschrittes eines Auszubildenden entsprechend geplant wird, oder auch zum Kennenlernen einzelner Systemkomponenten wie z.B. PSS, AMAN, ATCAS, RDPS/FDPS, PHOENIX, STCA, Sprachsysteme.
- den Berechtigungserhalt: das Simulationssystem SIMSYS/AFS wird im Rahmen des Berechtigungserhalts z.B. genutzt für das Trainieren von Maßnahmen im Umgang mit ungewöhnlichen und/oder Not- bzw. Sondersituationen.
- verschiedene Maßnahmen im Rahmen von Projekten: dabei wird das Simulationssystem unter anderem für das Testen und/oder die Einführung von neuen Systemkomponenten, Betriebsverfahren, Änderung der Luftraumstruktur und neuer Softwarestände im Bereich Flugverkehrskontrolle herangezogen. Diese Arbeiten erfolgen typischerweise zusammen mit dem Bereich F&E.

Die seitens des Bereichs Forschung & Entwicklung durchgeführten Echtzeitsimulationen dienen der Entwicklung und/oder Validierung von Konzepten, Verfahren oder Systemen. Sie stellen damit eine realitätsnahe Untersuchung sicher und erlauben weitgehende Schlüsse auf eine spätere Nutzung. Aufgrund der guten Prognosekraft der späteren betrieblichen Realität wird die Echtzeitsimulation als eine wesentliche Methodik im Bereich Forschung und Entwicklung in Zusammenarbeit mit anderen Bereichen der DFS angewendet. Derzeit werden Simulationen sowohl für Luft-

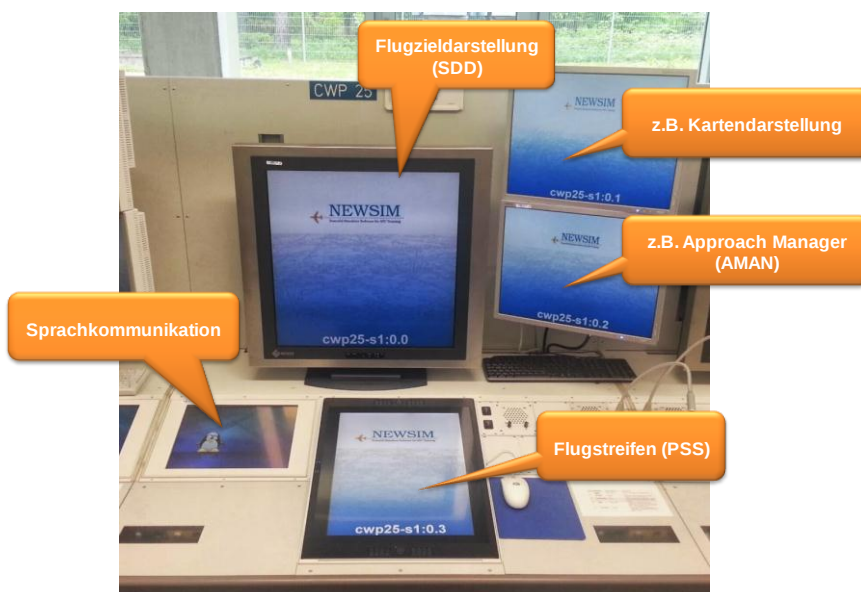


Abb. 5: CWP Layout

raumentwicklungen als auch für Arbeiten im Rahmen der europäischen Vorhaben FABEC und SESAR durchgeführt. Ein weiteres Novum der Simulator-Infrastruktur ist, dass bei den FABEC-Simulationen erstmals unterschiedliche Display-Systeme (NL Upper: VAFORIT-ähnliches Display, NL Mitte: P2-ähnliches Display) in einer Simulation gemeinsam genutzt wurden.

2.5 Der Nutzen für die DFS

Durch die Entscheidung, große Teile der Simulatorinfrastruktur des Center Langen zusammen mit dem Bereich F&E im Forschungszentrum zu nutzen, ergeben sich die folgenden Vorteile:

- Für Projekte steht ein P2-System (inkl. PSS) mit der Softwarefunktionalität zur Verfügung, wie sie im Center Langen zukünftig operativ genutzt werden wird.
- Realzeitsimulationen/Schulungen (z.B. Lufttraummaßnahmen im Rahmen von FABEC) mit bis zu 20 Lotsenarbeitsplätzen sind möglich.
- der kontinuierlichen Notwendigkeit von Maßnahmen zum Kompetenz- und Berechtigungserhalt für Lotsen kann im vollem Umfang Rechnung getragen werden
- P2-Projektaktivitäten können jetzt schon an diesem System vorgenommen werden.
- Einsparung beim Raumbedarf durch gemeinsame Nutzung und komprimierte Architektur der aufgebauten Systeme.

Das Projekt OT.127 kann nach heutiger Einschätzung Anfang 2014 mit der Übergabe an die Nutzer planmäßig beendet werden

3. Fazit

Mit dem geschaffenen Simulationssystem wurden eine Reihe von Alleinstellungsmerkmalen geschaffen. So wurde erstmalig ein P2/ATCAS-System installiert, das als Trainingssimulator z.B. zum Berechtigungserwerb oder zur frühen Heranführung der "Neu-Lotsen" an die Lufträume und ATS-Systeme, an denen sie später auch eingesetzt würden, verwendet werden kann. Auch Forschungssimulationen können auf P2 (inkl. PSS) mit der gleichen Softwarefunktionalität, wie sie im Center Langen operativ genutzt wird, zurückgreifen. Durch die große Flexibilität ist eine parallele Nutzung sowohl für Training als auch für Forschung möglich. Und nicht zuletzt sind Realzeitsimulationen oder Schulungen (z.B.

Lufttraummaßnahmen im Rahmen von FABEC) mit bis zu 20 Lotsenarbeitsplätzen möglich.

Referenzen

[1]	21.10.08	EUROCONTROL, Specification for the ATCO Common Core Content Initial Training, Edition 1.0, ISBN: 978-2-87497-055-9
[2]	12.12.05	Alexander Grimm, Dr. Ralph Leemüller, Dr. Thomas Bierwagen: Die SIMSYS Systeme und deren Nutzung für VAFORIT in Karlsruhe, TE im Fokus 2/05
[3]	20.05.09	Dr. Andreas Herber, Dr. Manfred Korn, Stefan Stanzel: Arbeiten des Bereichs F&E im Projekt „Data Link Center“, TE im Fokus 1/09

Abkürzungen

ADC	Adjacent Controller
Adj	Adjacent
AFS	Advanced Function Simulator
AMAN	Arrival Management System
APL	Arbeitsplatz
ATCAS	Air Traffic Control Automation System
ATM	Air Traffic Management
ATS	Air Traffic Service
CWP	Controller Working Position
EBG	Einsatz-Berechtigungsgruppe
FABEC	Functional Airspace Block Europe Central
FDB	Flugdatenbearbeiter
FDPS	Flight Plan Data Processing System
NEWSIM	New Simulator
OJT	On-the-job Training
Pre-OJT	Vorbereitung auf das OJT
PSP	Pseudo Pilot
PSS	Paperless Strip System
RDPS	Radar Data Processing System
SDD	Situation Data Display
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme
STCA	Short Term Conflict Alert
VAFORIT	Very Advanced Flight Data Processing Operational Requirement Implementation

Ein Mockup für die Anzeige von ACAS-Ausweichanweisungen am Lotsenarbeitsplatz

Dr. Andreas Herber, Andreas Udovic

Hintergrund

Falls im kontrollierten Luftraum Konflikte unabhängig voneinander von Bordsystemen (ACAS) und Bodensystemen (STCA) detektiert werden, kann es passieren, dass Piloten und Lotsen unterschiedliche Lösungswege wählen. Beispielsweise können Lotsen, falls sie keine Kenntnis von einer ACAS-Ausweichanweisung (sogenannte *Resolution Advisory* – RA) haben, Freigaben oder Anweisungen geben, die die Reaktion auf eine RA verzögern oder sogar mit ihr im Konflikt stehen können.

Mit dem Unfall von Überlingen ist leider deutlich geworden, dass die unvollständige, nicht einheitliche und sogar teilweise widersprüchliche Integration des ACAS-Systems in das System Luftfahrt eine systemische Ursache war [1]. Die BFU-Sicherheitsempfehlung 08/2004 war „Zur Verbesserung der Arbeit von ACAS sollte die ICAO die Entwicklung initiieren, RAs an die Flugsicherung unter Nutzung von Technologien wie SSR Mode S und ADS-B zu übermitteln“.

Situationen, in denen eine derartig unglückliche Verkettung von Umständen (Flugzeuge drohen sich nahe zu kommen, TCAS gibt eine Ausweichanweisung, Lotse erteilt in Unkenntnis dieser RA eine entgegengesetzte Freigabe, Pilot folgt nicht TCAS, sondern der Lotsenfreigabe) letztendlich zu einer gefährlichen Annäherung führt, sind glücklicherweise selten.

Am 10. Juni 2011 ereignete sich allerdings in der Schweiz ein schwerer Vorfall (AIRPROX Klasse A), der wiederum mehrere Parallelen zum Unglück in Überlingen zeigt [2]. Auch hier erfolgte von einem der Piloten keine Information über die RA an den Lotsen, die RA und eine vom Lotsen erteilte Freigabe standen im Widerspruch zueinander, und der Pilot folgte regelwidrig nicht der Ausweichanweisung seines TCAS. Dies führte dann zu der gefährlichen Annäherung, die durch ACAS allein so nicht zustande gekommen wäre. Vermutlich aber auch dann nicht, wenn der Lotse gewusst hätte, dass eine RA vorlag.

Einleitung

Mit dem DFS-Projekt AMOR (ACAS Monitor) wurde die technische Machbarkeit nachgewiesen, bundesweit Informationen über die an Bord von Luftfahrzeugen ausgegebenen Ausweichempfehlungen mit nur minimaler Verzögerung auch am Boden zu erhalten, s. Abb. 1 und [3]. Die gelben und blauen Bereiche zeigen die Überdeckung oberhalb FL100.

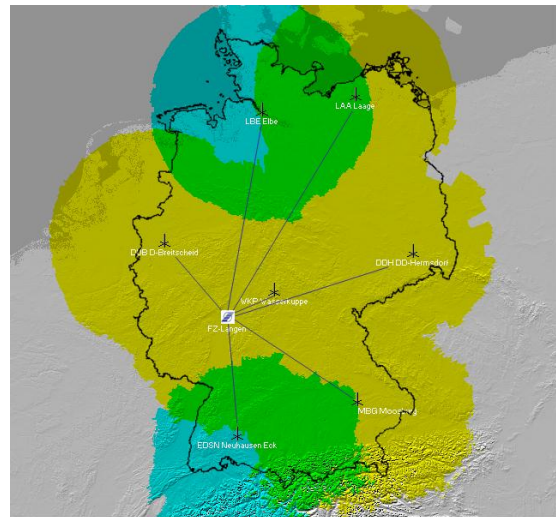


Abb. 1: Überdeckung des ACAS-Monitor-Netzes >FL100

Durch eine EUROCONTROL-Arbeitsgruppe (SPIN-SG) wurden unter Einbeziehung von ANSPs, Industrie, sowie Lotsen- und Pilotenverbände mehrere Workshops zu dem Thema „Anzeige von Ausweichanweisungen“ durchgeführt. Im Rahmen des SESAR-Projekts „Ground-Airborne Safety Nets Compatibility“ werden von der DFS die gesammelten und (technisch) analysierten Daten aus betrieblicher Sicht bewertet, ein europäisch gültiges Betriebskonzept erarbeitet und aus Nutzersicht überprüft [4]. Dazu wurde auch ein Mockup entwickelt, anhand dessen die betrieblichen Aspekte der rechtzeitigen Anzeige einer Ausweichempfehlung am Lotsenarbeitsplatz untersucht werden sollen (z.B. „was wird wann und wie dargestellt?“, „wie ist mit der Information umzugehen?“).

Der aus dem Englischen stammende Begriff **Mock-up** oder **Mockup** wird meist für ein maßstäblich gefertigtes Modell bzw. eine Nachbildung zu Demonstrationszwecken benutzt.

Es dient zur augenscheinlichen Nachbildung des Originals; es muss also so aussehen (eventuell skaliert), aber nicht unbedingt genauso funktionieren. In der Softwareentwicklung bezeichnet der Begriff einen rudimentären Wegwerfprototypen der Benutzerschnittstelle einer zu erstellenden Software. Mock-ups werden insbesondere in frühen Entwicklungsphasen eingesetzt, um Anforderungen an die Benutzeroberfläche in Zusammenarbeit mit Auftraggeber und Anwendern besser ermitteln zu können.

Quelle: Wikipedia

Mockup-Entwicklung

Der Mockup nutzt die SDD-Komponente (Situation Data Display, „Radardisplay“) des Echtzeitsimulators NEWSIM, genannt JARVIS. JARVIS basiert auf JAVA, nutzt diverse Datenquellen vom Simulatorkern und kann stand-alone genutzt werden, solange diese Datenquellen zur Verfügung gestellt werden. Entsprechende Input-Routinen lesen die Datenquellen ein, speichern sie in einer SQL-Datenbank und legen sie als Run-time-Daten im Speicher ab. Über ein Lau-

nch-Pad sind die Wiedergabe und die weitere Konfiguration steuerbar.

Das System verarbeitet Daten rekonstruierter, typischer Begegnungen oder auch realer Ereignisse mit ACAS-Alarmen und erlaubt eine weitgehend flexible Darstellung.

So sind Farbe, Art und Dauer der Anzeige für die einzelnen Meldungstypen ebenso wie Karteninformationen und generelles Layout weitestgehend konfigurierbar. Ferner kann das Szenario für eine genaue Analyse von Verkehrssituationen angehalten oder zurückgespult werden. Ein Transskript des Sprechfunks wie auch eingegebene CFL-Freigaben lassen sich zeitlich richtig einblenden, zusätzlich besteht die Möglichkeit, die Freigaben als nachgesprochene Audio-Datei zeitlich passend akustisch wiederzugeben, um nicht visuell abgelenkt zu werden.

Der Clou dieser Lösung ist, dass der Mockup auf jedem entsprechend ausgestatteten PC läuft, inklusive der DFS-Bürokommunikations-PCs.

Beispiel

Da die Daten des eingangs geschilderten Vorfalles in der Schweiz vorliegen und der Untersuchungsbericht auch den Sprechfunkverkehr mit den beteiligten Luftfahrzeugen enthält, liegt dieser Fall für den Mockup aufbereitet als Beispiel vor (s. Abb. 2). Im Hauptmenü unterhalb der Titelleiste finden sich die bekannten Tasten zur

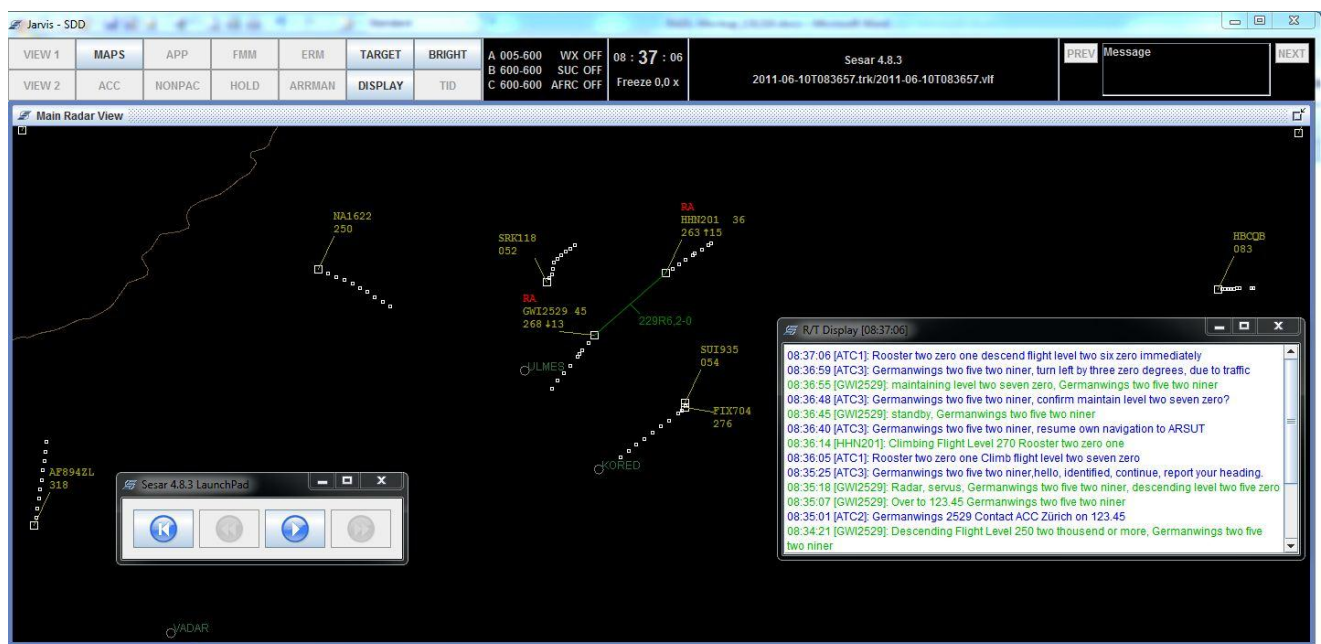


Abb. 2: Mockup-Ausschnitt mit Launch-Pad und Sprechfunk-Transskript

Änderung der Anzeige (z.B. Kartendarstellung, Höhenbandeinstellung, Anzeige im Label). Über das Launch-Pad kann die Wiedergabe gesteuert werden (reset, fast rewind, play/pause, fast forward). Im R/T Display werden die Freigaben und read-backs dargestellt. Sowohl HHN201 (Rufzeichen „Rooster“) als auch GWI2529 haben eine TCAS RA (siehe Label, Zeile 0). Im Fenster „R/T Display“ ist die neueste Meldung oben zu finden. Die Abbildung zeigt die Situation in dem Moment, als die HHN201 die Freigabe vom Lotsen auf FL260 bekommt, die aber bereits seit 6 Sekunden eine „Climb“-RA hatte.

Anmerkung: Leider sind im Mockup derzeit nur wenige Karteninformationen für die Schweiz verfügbar.

Fazit

Es wurde ein flexibles Software-Werkzeug erstellt, mit dem die unterschiedlichen Aspekte einer Darstellung von RA-Events am Lotsenarbeitsplatz untersucht werden können. Dabei können „typische“ Beispiele zum Einsatz kommen, die aus Analysen über einen langen Zeitraum identifiziert [4] und anonymisiert werden. Beispiele sind Begegnungen mit vertikaler In Einzelfällen wie dem hier geschilderten können auch reale Fälle untersucht werden kann.

Der Vorfall in der Schweiz macht noch einmal deutlich, wie durch die unterschiedliche Informationslage Widersprüche zwischen Konfliktlösungen von ACAS und Lotsen entstehen können. Zwar existieren klare Vorgaben zum Verhalten bei RAs für Lotsen und Piloten, hier zeigt sich aber leider erneut, dass sich nicht immer jeder regelkonform verhält, insbesondere in Stresssituationen, und das Vorliegen möglichst aller relevanten Informationen für die Entscheidungsfindung hilfreich ist.

Der entwickelte Mockup ist geeignet, die Diskussionen um eine mögliche Anzeige von RAs am Lotsenarbeitsplatz zu unterstützen. Dabei wird ein breites Spektrum geboten, von einem informativen Hinweis, dass es eine RA gegeben hat (hätte den Fall in der Schweiz vermutlich bereits weniger schwer werden lassen), bis zur genaueren Information der Art der ausgegebenen RA.

Referenzen

[1]	Mai 2004	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung: Untersuchungsbericht; AX0001-1-2/02
[2]	23.10.2013	Schlussbericht Nr. 2165 der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST
[3]	12.12.2007	Dr. Roland Mallwitz, Harald Fischer, „ACAS Broadcast“-Monitor – Stand der Arbeiten, TE im Fokus 2/07
[4]	28.05.2010	Harald Fischer, Dr. Andreas Herber, Yvonne Graner: Analyse von ACAS-Ausweichanweisungen am Boden, TE im Fokus 1/10

Abkürzungen

ACAS	Airborne Collision Avoidance System
AMOR	ACAS Monitor
CWP	Controller Working Position
CFL	Cleared Flight Level
HMI	Human Machine Interface
RA	Resolution Advisory
SPIN-SG	Safety nets: Planning, Implementation and enhancements - subgroup
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
JARVIS	JAVA Radar Visualizer
SDD	Situation Data Display
SQL	Structured Query Language

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 im Internet (www.dfs.de, Flugsicherung » Forschung & Entwicklung » Servicebereich » Forschungszeitschrift „TE im Fokus“) 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),
Oliver Haßa (oliver.hassa@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

Dieser Zeitschrift ist folgende ISSN (International Standard Serial Number) zugeteilt:

Printversion: ISSN 1861-6364 / Internet-Version: ISSN 1861-6372

DISCLAIMER

Alle hier erwähnten Warenzeichen sind Eigentum ihrer jeweiligen Besitzer. Warenzeichen werden nicht ausdrücklich als solche gekennzeichnet. Aus dem Fehlen von Urheber- oder Markenrechtskennzeichen darf jedoch nicht geschlossen werden, dass es sich um einen nicht geschützten Namen oder um eine nicht geschützte Marke handelt.

COPYRIGHT

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH unzulässig und wird zivil- und strafrechtlich verfolgt. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Copyright © 2014 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.